Retour au menu

Manuel d'agronomie tropicale

appliquée à l'agriculture haïtienne

Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire d'Haïti
Damien, Port au Prince, Haïti

Groupe de recherche et d'échanges technologiques
213 rue La Fayette, 75010 Paris, FRANCE

Photo de couverture : Damien Mermet

©GRET 1990
ISBN 2-86844-034-7

Ce Manuel d'Agriculture Haïtienne a été produit par le Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques sous la direction de Didier Pillot à la demande du Ministère Français de la Coopération et du Développement.

Michel Bonnefoy a assuré la rédaction définitive des parties 1 et 3 et Didier Pillot celle de la partie 2 ; ils ont ensemble revu la partie 4. Certains chapitres n'auraient pas vu le jour sans la contribution de leurs collègues. Que soient remerciés ici :

- Audalbert Bienaimé (chapitres 12 et 13)
- Marc Dufumier (chapitre 4)
- Hélène Massieu (chapitres 5 et 6)
- Philippe Mathieu (chapitre 10)
- François Monicat (chapitres 12, 13 et 14)
- Agnès Temple (chapitre 11)
- Philippe Vazeilles (chapitre 10)

Marie-Agnès Leplaideur a patiemment relu et corrigé les textes et suivi l'édition du manuel. Textimage a conçu la maquette et exécuté les dessins.

D'autres encore, spécialistes d'Haïti ou pédagogues, ont conseillé, amicalement critiqué, et en définitive toujours soutenu les auteurs par la permanence de leur intérêt. Les enseignants de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire d'Haïti ont su, chacun dans sa propre discipline, apporter d'utiles remarques. Ceux qui n'ont pu participer directement à la rédaction de cet ouvrage ont néanmoins fourni ses bases les plus originales par les travaux qu'ils ont conduits avec les paysans haïtiens.

Enfin, Lucien Cousin aura sans doute été l'un des premiers à croire en ce Manuel. Ses encouragements personnels auront été décisifs pour mener à terme sa publication.

A Sintilus Sintil,
paysan des mornes...

La compréhension du monde réel observé implique un travail incessant de la pensée théorique sur la multiplicité infinie des faits bruts. Sans cette discipline, l'effort de recherche reste à la surface des données empiriques ou s'y enlise. A l'inverse, si on laisse libre cours à la spéculation théorique, sans que celle-ci ne soit fermement guidée par des données réelles soigneusement établies, il peut en résulter une sorte de griserie intellectuelle, mais notre compréhension du monde réel ne sera pas avancée pour autant.

Wassily Léontieff
Prix Nobel d'Economie

PREFACE

L'agriculture est un secteur incontournable du développement économique d'Haïti. Les agronomes sont régulièrement invités à proposer des solutions pour augmenter la production agricole afin de mieux satisfaire les besoins du pays. Ceux-ci sont considérables. Produire davantage de vivres pour nourrir une population croissante, notamment dans les villes, et réduire les importations alimentaires, est le premier objectif. Disposer de denrées d'exportation en quantité et en qualité pour procurer des devises suffisantes à l'économie nationale est le second but visé.

Alors qu'on pourrait croire que le dénuement et la précarité des techniques agricoles traditionnelles rend leur amélioration aisée, l'expérience a montré que des solutions simples n'existaient pas.

La diversité des conditions écologiques dans lesquelles opèrent les paysans haïtiens est probablement la première difficulté. De la plaine de Jacmel aux sommets cultivés du morne La Selle, sur une distance de quelques dizaines de kilomètres à vol d'oiseau, la quantité annuelle de précipitations varie de 1 à 4. On passe des sols riches sur alluvions à des sols basaltiques profonds ou, au contraire, totalement érodés, en traversant les pentes calcaires et les plateaux à sols rouges. Chaque unité écologique pose des problèmes de développement agricole spécifiques qui méritent des solutions techniques particulières.

La diversité des conditions économiques des agriculteurs haïtiens constitue le second écueil auquel se heurte l'agronome. Du paysan «de mouatié» de l'Artibonite au grand planteur de canne à sucre de Léogane, l'éventail des situations économiques est large. Or, pour être véritablement prise en compte et appropriée par un agriculteur, il ne suffit pas qu'une amélioration technique soit efficace, il faut aussi qu'elle corresponde aux possibilités et aux moyens de celui qui doit la mettre en oeuvre : l'agriculteur.

Etre capable d'identifier puis de mettre en oeuvre des techniques agricoles plus productives, adaptées au milieu, préservant les ressources naturelles et compatibles avec les moyens des agriculteurs, telle est l'ambition proposée aux jeunes agronomes haïtiens. Ambition démesurée, objectif impossible, diront les pessimistes et les résignés. Pourtant, d'autres veulent relever le défi. Depuis quinze ans, la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire et la Coopération française se sont souvent associées pour montrer qu'il était possible de transformer l'agriculture d'une région pour qu'elle soit plus favorable à la fois aux agriculteurs et à l'ensemble de la collectivité nationale. D'autres ont également mené des actions exemplaires dont la leçon est toujours la même : pour réussir face à la complexité des situations, il faut de la durée dans l'action, et encore plus de compétence et de connaissance du milieu rural.

Donner la compétence, former aux techniques de production et d'analyse du milieu, est l'objectif de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire d'Haïti. Pour ce faire, la formation qu'elle entend donner passe par un rapport étroit avec le milieu rural, auquel les futurs agronomes doivent être systématiquement confrontés. La formation aux disciplines de base ne doit cependant pas être oubliée. Elle seule apporte les outils nécessaires pour bien observer et analyser une situation et intervenir au mieux.

La Coopération française a toujours soutenu cet effort pour lier la formation des agronomes à la recherche et aux actions de développement. Aujourd'hui, alors que les enjeux de développement se font toujours plus difficiles, c'est une contribution supplémentaire qu'apporte cet ouvrage. Nul doute que les nouvelles générations d'agronomes y trouveront

l'alliance équilibrée entre les nécessaires apports théoriques et leur adaptation aux contextes haïtiens. Nul doute également que les professeurs sauront s'en faire un précieux auxiliaire, pour donner à leurs élèves une formation plus complète et plus profonde. Souhaitons enfin que les techniciens en activité puissent y trouver matière à réactualiser leurs connaissances et améliorer leurs interventions.

Nous ne saurions terminer sans rappeler qu'une grande partie des références qui ont permis la préparation de ce manuel, notamment celles qui portent sur la réalité haïtienne, sont dues au travail des professeurs et des étudiants. Leurs savoirs sur l'agriculture du pays progressivement accumulés au cours de leurs sorties et leurs stages se trouvent utilement valorisés ici.

Souhaitons que l'exemple de ces anciens soit repris par leurs jeunes collègues pour que progresse la connaissance agronomique en Haïti.

Michel Fritz
Doyen de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire

Michel Monfort
Chef de la Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle

AVANT-PROPOS

Ceux qui ouvrent cet ouvrage pour y chercher des «recettes» - la variété de haricot ou la dose d'engrais à utiliser dans leur région, la formule idéale pour l'élevage de porcs ou la rentabilité d'un investissement en attelage et charrue - seront sans doute déçus. Ils ne les y trouveront pas, parce qu'elles n'existent pas.

En agriculture, rares sont les techniques dont la validité est indépendante du contexte écologique et économique dans lesquelles elles sont appliquées. Au contraire, dans leur très grande majorité, le succès de ces techniques est étroitement conditionné par les caractéristiques du milieu, l'organisation sociale ou l'environnement économique.

A la question de savoir par exemple, si le labour est un progrès technique ou non, la réponse est "ça dépend" (du type de labour, de l'objectif poursuivi et du milieu). Le même raisonnement peut être conduit à propos d'un investissement économique. Selon les conditions propres à la famille en question, et les objectifs qu'assigne en conséquence le paysan à son agriculture, l'achat d'un nouvel équipement sera ou non justifié. Faut-il maximiser le revenu agricole, la production agricole ou le taux de profit ?

Respecter une recommandation-type ne garantit nullement la réussite. L'agronome se trouve obligé d'analyser la situation sur laquelle il envisage d'intervenir. Aussi ne s'agit-il plus pour les étudiants en agronomie d'apprendre des modes d'emploi mais plutôt d'acquérir les moyens nécessaires pour obtenir un bon résultat.

L'agronome devra alors posséder une théorie agronomique (au sens large, c'est-à-dire incluant l'économie et la zootechnie) qui lui permette de dépasser la recette et de mettre en oeuvre des interventions adaptées. Cette théorie doit donner les outils pour interroger le réel, c'est-à-dire les techniques mises en oeuvre par les paysans et l'organisation économique et sociale qui structure le milieu rural. Elle permet de «lire» les faits, de les classer, de les hiérarchiser, de les relier entre eux.
Le savoir théorique dont il est question ici n'a rien à voir avec une collection de techniques, ni avec la mémorisation de formules d'engrais ou de valeurs fourragères, que trop d'étudiants considèrent à tort comme de la théorie.

Agronomie et agriculture se distinguent donc bien, la première se définissant comme la science qui a pour objet d'étude la seconde. En ce sens, ce manuel est davantage un manuel d'agronomie qu'un manuel d'agriculture, et plus précisément un manuel d'agronomie tropicale car il privilégie les situations des régions chaudes.

Cependant, la théorie agronomique se construit à partir de l'observation des faits et de leur classification en un ensemble ordonné et cohérent. Il faut éviter une connaissance théorique coupée des réalités de l'agriculture, et particulièrement des pratiques empiriques des paysans. C'est pourquoi ce manuel s'intitule «Manuel d'Agronomie Tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne».

Le choix d'Haïti n'est pas dû au hasard. En Haïti, sans doute plus qu'ailleurs, se sont développés depuis quinze ans des travaux de recherche sur la réalité agraire du pays, sur les pratiques paysannes, leur diversité, leur logique, leur efficacité, sur l'économie des exploitations agricoles ou celles de régions entières de production. De ce fourmillement ont émergé les résultats qui, patiemment collectionnés, ont fourni la matière de base à l'illustration du discours théorique. Certains secteurs fondamentaux, comme l'élevage des

ruminants, ont fait l'objet de très peu de travaux et les références haïtiennes y sont trop rares. Des références caribéennes ou, à défaut, africaines, ont alors été recherchées.
Puissent les lacunes qui paraissent ainsi susciter chez les jeunes agronomes le désir de les combler par des recherches qui, tout en portant sur les réalités agraires nationales - une paysannerie pauvre économiquement mais riche techniquement - et dans des conditions de travail difficiles, sauront ne faire aucune concession à la qualité scientifique de leurs travaux.

Sommaire général*

A LA DÉCOUVERTE DE CAMP-LOUISE 1

1 Camp-Louise, petite région agricole de la Plaine du Nord 3

LES CONDITIONS ÉCOLOGIQUES DE L'AGRICULTURE 25

2 La grande diversité des climats haïtiens 27

3 Nature et diversité des sols haïtiens 41

L'EXPLOITATION ET SON ENVIRONNEMENT ÉCONOMIQUE 91

4 Définir l'exploitation et la situer dans son environnement 93

5 Décrire le fonctionnement de l'exploitation et mesurer les résultats économiques 119

6 Etude régionale : la canne à sucre dans la Plaine du Nord 147

LES SYSTÈMES DE CULTURE 177

7 Le fonctionnement de la plante cultivée 179

8 La gestion de la lumière 223

9 La gestion de l'eau 237

10 La gestion de la fertilité 283

LES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE 381

11 L'élevage à la Vallée de Jacmel 383

12 La reproduction des animaux 393

13 Les besoins alimentaires et la digestion 413

14 Nourrir au mieux le troupeau 433

15 La santé animale 471

Pour en savoir plus 480

Glossaire 488

* Au début de chaque chapitre figure un sommaire détaillé.

À LA DÉCOUVERTE DE CAMP-LOUISE

CAMP-LOUISE, PETITE RÉGION AGRICOLE DE LA PLAINE DU NORD 3

Observer le paysage 4

- Première approche : une diversité des milieux et de la végétation 4
- L'observation détaillée : des cultures spécifiques à chaque zone 4
  - les mornes 6
  - la plaine 6

Comprendre l'agriculture 9

- Connaître les données physiques 9
  - le climat : des pluies abondantes mais irrégulières 9
  - de haut en bas : trois types de sols 9
- Comprendre la société paysanne 10
  - étudier les pratiques agricoles 10
  - analyser les exploitations agricoles 11

Expliquer la diversité 13

- Des structures d'exploitation et des stratégies paysannes diverses 13
  - les salariés agricoles 14
  - les métayers 14
  - les petits propriétaires 14
  - les moyens propriétaires 14
  - les autres métiers 15
- Des systèmes de culture adaptés à chaque milieu 15
  - systèmes de cultures à base de riz en plaine inondable 15
  - dans les mornes : des associations de cultures très diverses 18
  - systèmes de cultures et alimentation des animaux 20

Comment découvrir rapidement et comprendre l'agriculture d'une petite région 21

- Parcourir le terrain et observer le paysage 21
  - recueillir l'information et la classer 22
  - questionner des paysans et des personnes connaissant bien la région 23
  - utiliser les documents existants 24

Camp-Louise, petite région agricole de la Plaine-du-Nord

Comprendre l'agriculture d'une petite région, c'est comprendre comment une société paysanne utilise et transforme le milieu pour obtenir les produits végétaux et animaux dont elle a besoin.

Ces produits peuvent être soit consommés dans la région, soit vendus sur les marchés des régions voisines ou des villes. Inversement, certains produits nécessaires aux familles, à la production agricole ou à d'autres activités proviennent d'autres régions ou d'autres pays (vêtements, outils, vivres...). L'agriculture d'une petite région est donc économiquement dépendante de l'extérieur.

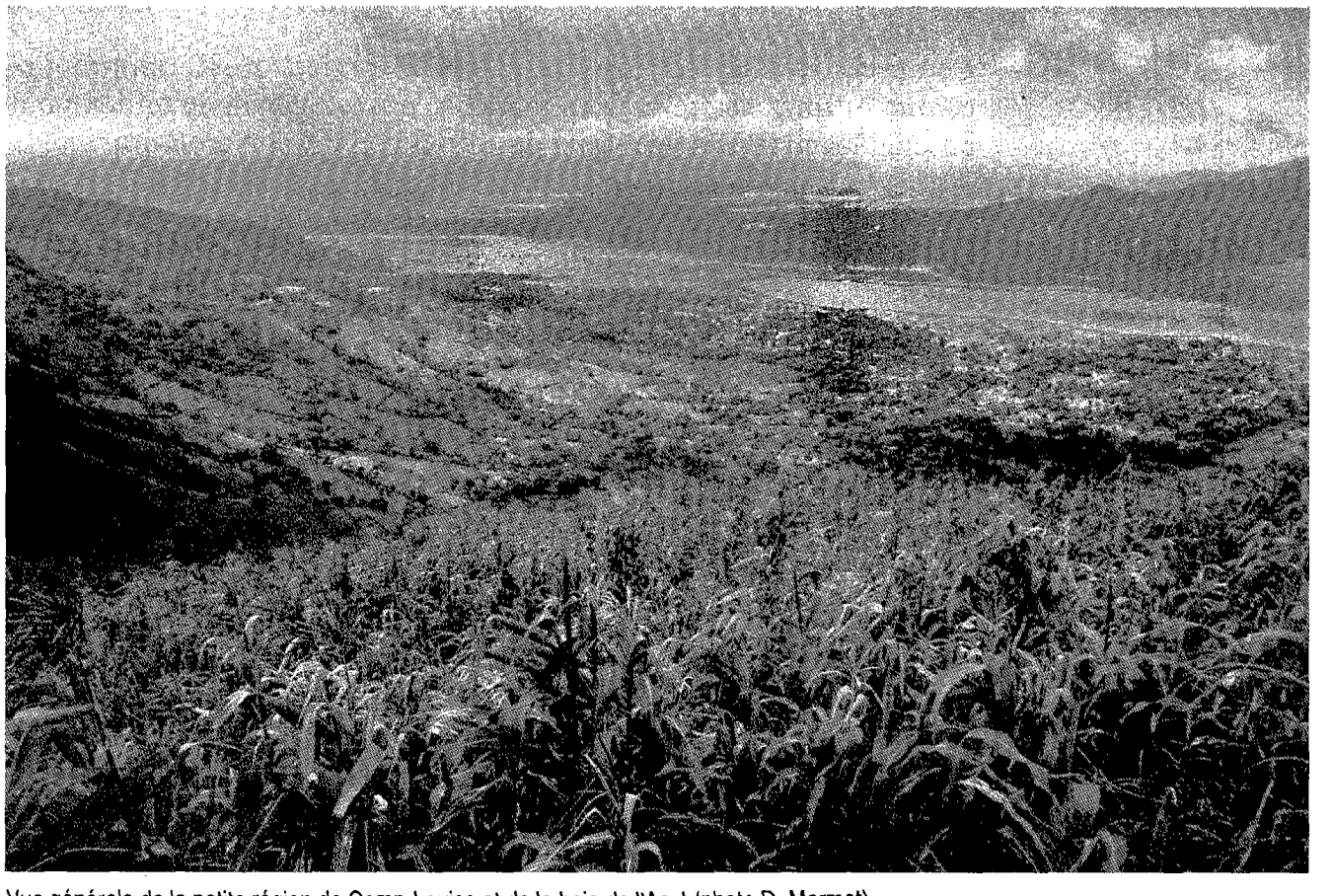
La découverte d'une agriculture régionale met ainsi en évidence sa complexité. Pour la comprendre, il est nécessaire d'acquérir des outils et des méthodes d'observation et d'analyse.

Observer le paysage

La région de Camp-Louise se présente comme une longue bande de terrain se déroulant du nord au sud sur une dizaine de kilomètres.
Elle est limitée à l'est par la mer (baie de l'Acul) et à l'ouest par un massif montagneux s'élevant de 200 à 400m d'altitude.

PREMIÈRE APPROCHE: UNE DIVERSITÉ DES MILIEUX ET DE LA VÉGÉTATION

L'observation visuelle du paysage permet une première appréhension de ses différentes composantes.



Vue générale de la petite région de Camp-Louise et de la baie de l'Acul (photo D. Mermet).

Sur la photo ci-dessus on peut ainsi distinguer trois milieux physiques très différents :
- les mornes, très déboisées sauf dans le fond des ravines ;
- la plaine, relativement boisée, où se trouve la plupart des habitations et la route ;
- une zone de marécage séparée de la mer par une mangrove.

En regardant de plus près chacun de ces milieux, on constate des différences au sein de chacun d'entre eux.

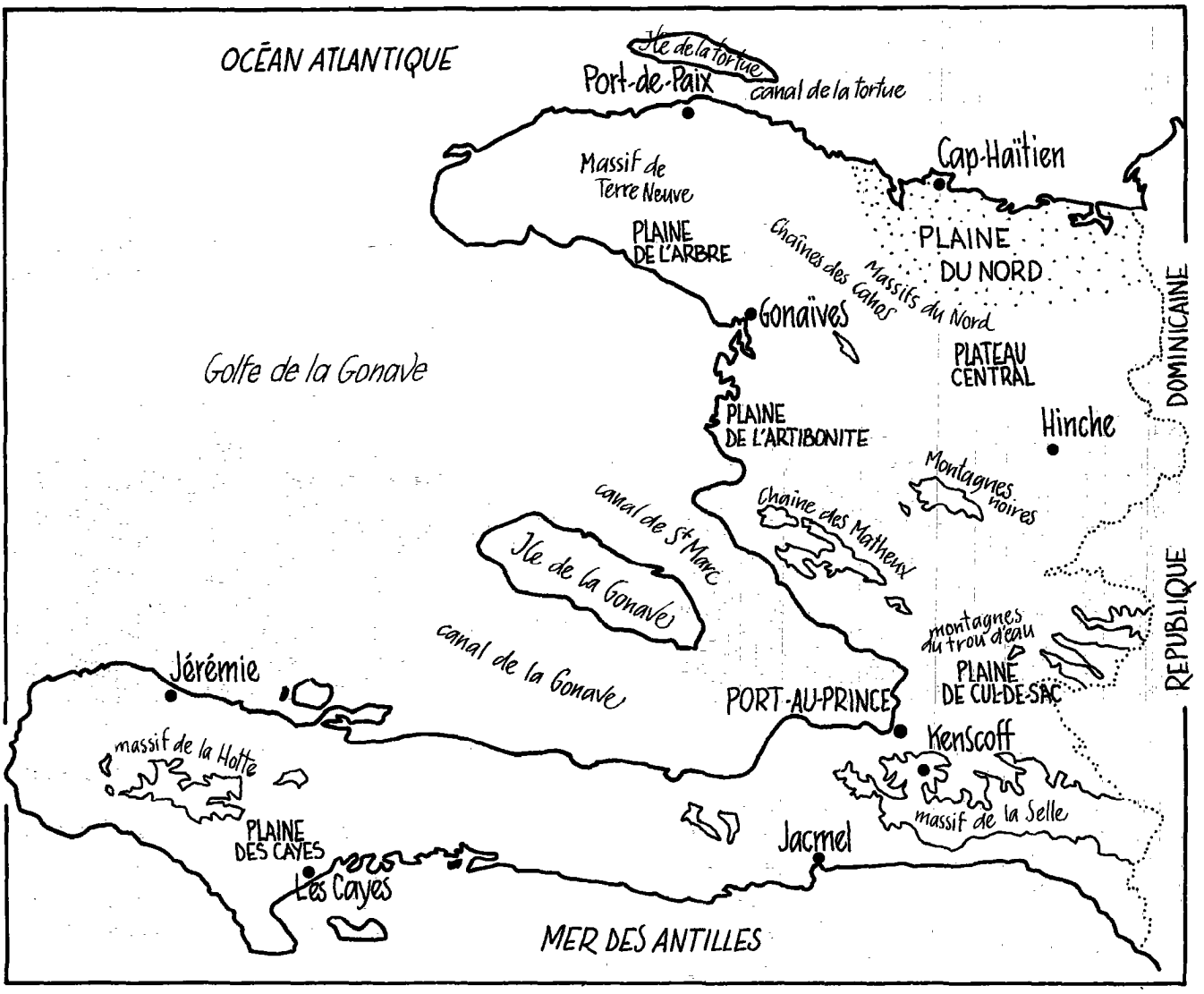


Figure 1 : la Plaine du Nord en Haïti.

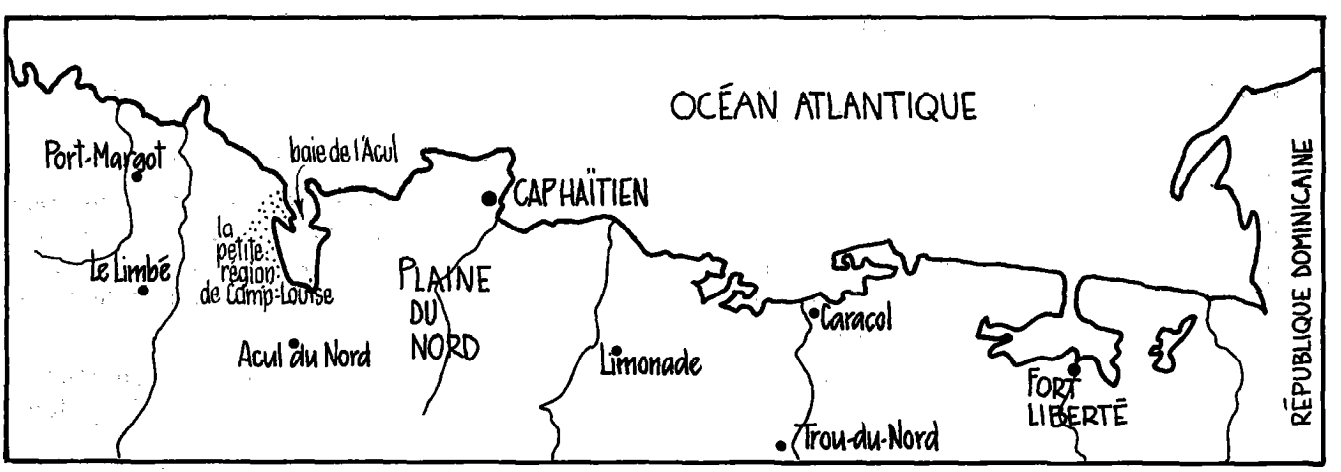


Figure 2 : la région de Camp-Louise dans la Plaine du Nord.

L'OBSERVATION DÉTAILLÉE : DES CULTURES SPÉCIFIQUES À CHAQUE ZONE

LES MORNES

• Les mornes, au sud, n'ont pas du tout le même aspect qu'au nord ; d'altitude plus faible, elles sont plus boisées et plus rocailleuses.
On observe, entre ces deux zones, de grandes différences de morphologie (relief), de végétation et de type de sol. Ces différences sont essentiellement dues à la nature différente des sous-sols (géologie), basaltiques au sud, calcaires au nord.





A gauche, au sud de la région, les mornes basaltiques sont très déboisées, sauf dans le fond des ravines.
A droite, au nord les mornes sont moins élevées, plus rocailleuses et boisées (photos M. Bonnefoy).

• Les cultures qui y sont pratiquées sont aussi différentes :
. maïs, manioc, patate, haricot (*pois*) dominent sur les versants déboisés des mornes basaltiques ;
. café, banane, igname, taro, couvrent les pentes boisées des mornes calcaires (et le long des ravines des mornes basaltiques).

En bas des pentes des mornes, quelles qu'elles soient, on observe des parcelles de terrain très boisées. La plupart des arbres sont des fruitiers : des bananiers, des ignames, des taros, des caféiers et cacaoyers.

Cette observation plus fine du paysage révèle finalement trois zones distinctes :
• les versants des mornes basaltiques ;
• les versants des mornes calcaires ;
• les pieds mornes (bas des pentes).

LA PLAINE

De la même manière, la plaine présente une grande diversité de cultures regroupées en trois zones.
En partant du pied des mornes et en allant vers la mer, on distingue :

• **la plaine sèche** : une zone relativement boisée, surtout d'arbres fruitiers, et dont les cultures principales sont le bananier, le manioc, la patate douce, le maïs, le *pois inconnu* (vigna). C'est dans cette zone traversée par la route que se trouvent la plupart des habitations. Ce morceau de plaine est plus étroit au nord, au niveau des mornes calcaires (cf. fig. 3).

• **la plaine inondable** : une zone de marécage où certains terrains sont inondés. Plus on se dirige vers la mer, plus la proportion de terre inondée est importante.
Les cultures pratiquées sont :
. surtout le riz et la patate douce, mais aussi la banane, le taro, la canne à sucre.
. lorsque l'on approche de la mer, on ne trouve plus qu'une seule culture : le riz.

• **la mangrove**, couverte de mangliers (arbustes supportant l'eau de mer), sépare cette plaine de la mer.

Une simple observation du paysage et quelques discussions avec les paysans sur leurs connaissances du milieu ont permis de reconnaître six zones distinctes dans cette petite région: les mornes basaltiques, les mornes calcaires, les pieds-mornes, la plaine sèche, la plaine inondable, la mangrove.

Nous avons ainsi réalisé un **zonage** de la région en y distinguant des «unités de paysage». Chacune de ces unités se caractérise par son milieu physique et des pratiques agricoles spécifiques.
L'observation visuelle des paysages permet de distinguer leur variété et de repérer les différences d'occupation des sols. Cette première approche n'est cependant pas suffisante pour expliquer l'agriculture de la région et sa diversité.



Au premier plan, la plaine inondable où l'on distingue une parcelle de maïs, manioc et patates douces et une parcelle de riz plus basse et régulièrement inondée. Au fond la zone boisée correspond à la plaine sèche (photo Ph. Vazeille).

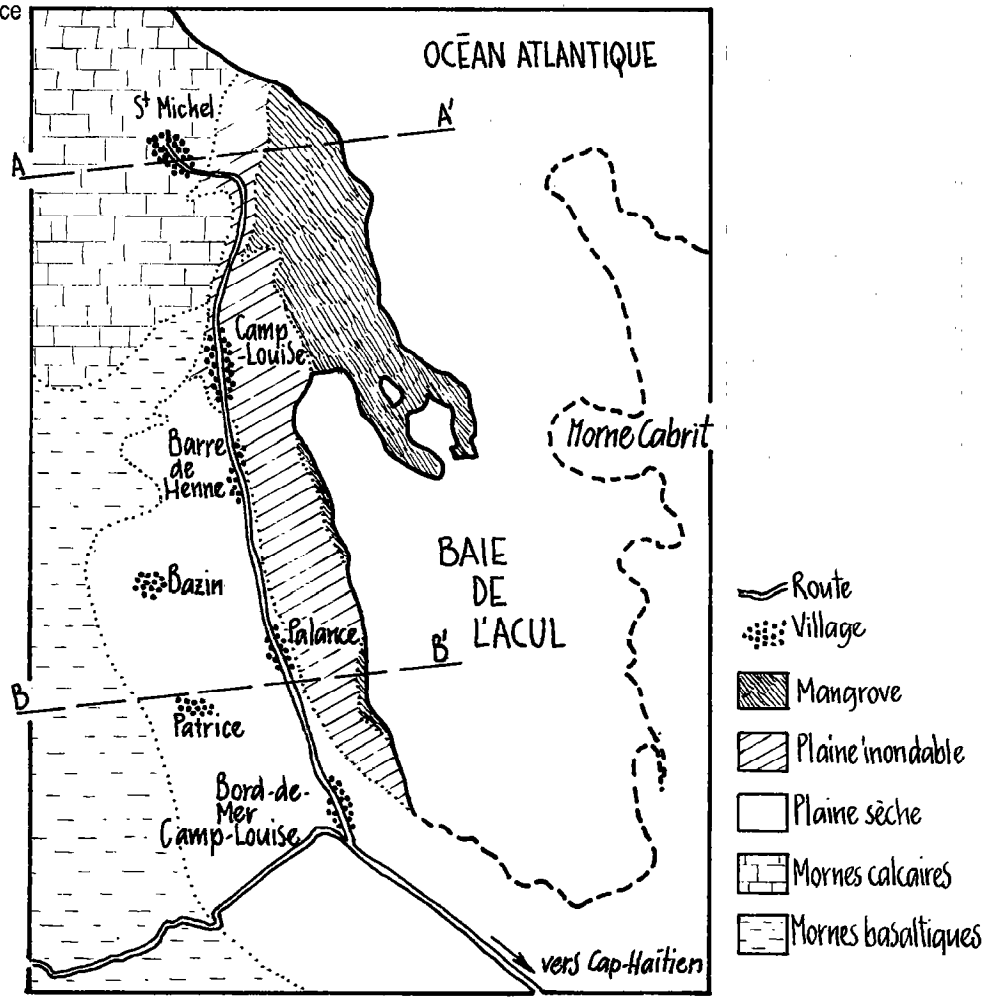


Figure 3 : répartition dans l'espace des unités de paysage.

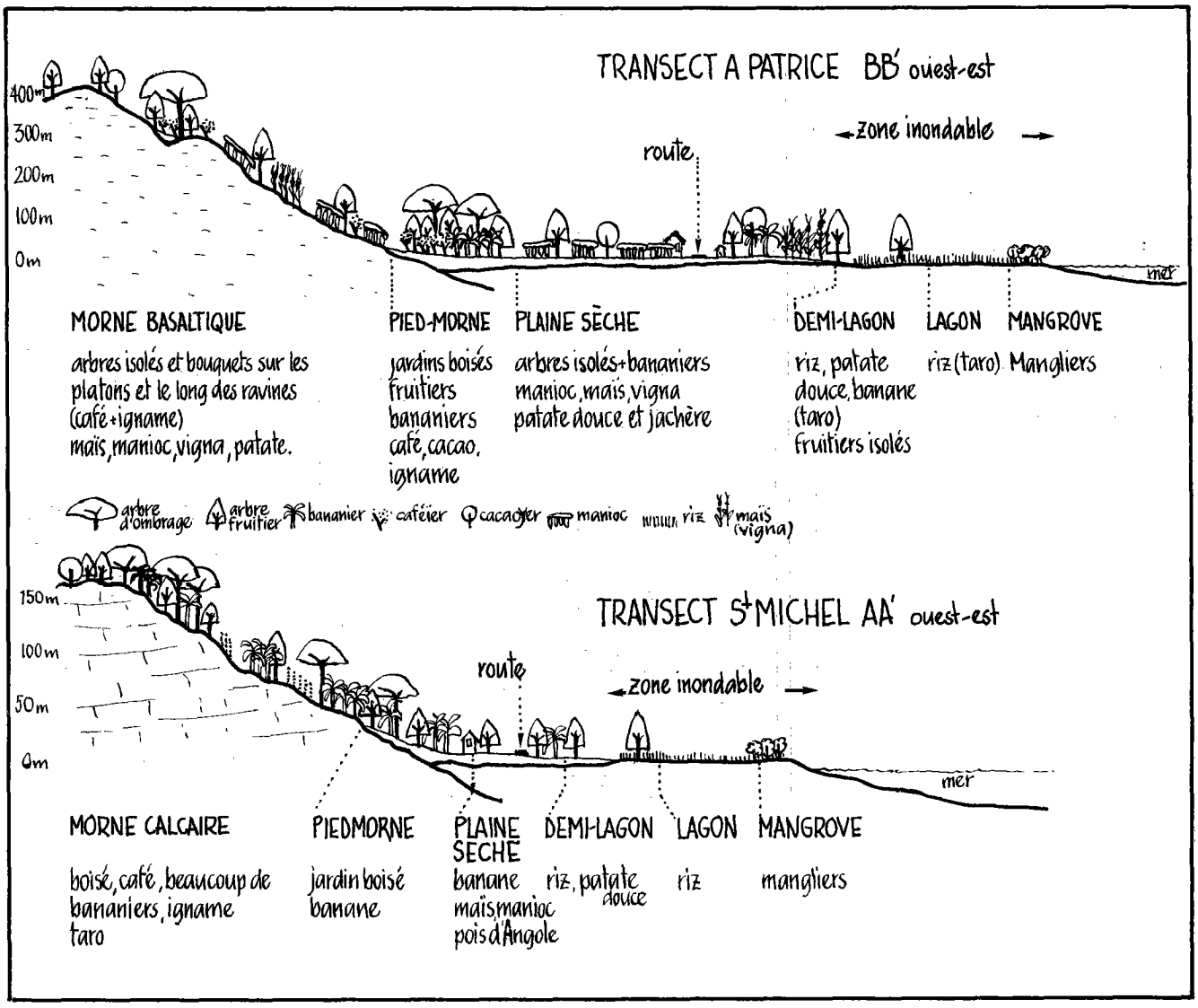
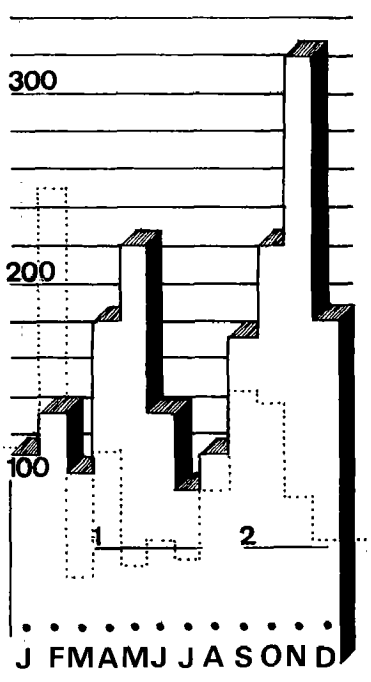


Figure 4 : ces schémas sont des coupes topographiques correspondant aux lignes AA' et BB' sur la carte (perpendiculaires à la pente). La répartition de la végétation, des cultures dans les différentes unités de paysages y est présentée.

Figure 5 : pluviométrie mensuelle, station de Limbe (alt. 25 m).
moyenne sur 30 ans
année très sèche (1929)

Pluviométrie annuelle :
- moyenne sur 30 ans : 2010 mm
- année la plus sèche (1929) : 1227 mm
- année la plus humide (1931) : 3999 mm

(1) saison pluvieuse de printemps.
(2) saison pluvieuse d'automne.



Comprendre l'agriculture

Comprendre et expliquer l'agriculture de Camp Louise nécessite de connaître à la fois le milieu physique qui détermine les possibilités agricoles et leur mise en valeur par les paysans, mais aussi les contraintes sociales, économiques et techniques qui pèsent sur eux.

CONNAÎTRE LES DONNÉES PHYSIQUES

La lecture des documents et des cartes, ainsi qu'une étude encore plus fine du paysage, va expliquer en grande partie les différences observées.

LE CLIMAT: DES PLUIES ABONDANTES MAIS IRRÉGULIÈRES

Au sein de la petite région de Camp Louise, le principal facteur de variation du climat est l'altitude. La pluviométrie moyenne annuelle au niveau de la plaine avoisine les 2.000 mm (cf.fig. 5). Elle augmente avec l'altitude alors que la température moyenne diminue ainsi que l'éclairement.
Le climat est caractérisé par deux saisons pluvieuses, la plus importante se situe à l'automne et l'autre au printemps. Ces deux saisons permettent deux périodes de mise en culture par an, l'une en octobre-novembre et l'autre en mars-avril.

L'histogramme ci-contre représente la hauteur d'eau reçue par mois, en moyenne, depuis 30 ans. Mais en réalité, les précipitations annuelles et leur répartition dans le temps varient fortement d'une année sur l'autre. Ainsi, la courbe en pointillés représente la pluviométrie de 1929, année particulièrement sèche.

La grande variabilité inter-annuelle de la pluviométrie, caractéristique des climats tropicaux, est une contrainte pour l'agriculture. Les agriculteurs gèrent généralement leurs cultures de manière à réaliser une production quelque soit la pluviométrie. Cela se traduit notamment par la recherche de terres dans différents milieux (à des altitudes différentes par exemple) et par la pratique des associations de cultures.

DE HAUT EN BAS : TROIS TYPES DE SOLS

Le sol, élément déterminant du milieu et de sa fertilité, doit être pris en compte dans la réalisation d'un zonage régional tel que celui réalisé à Camp-Louise.
A première vue, la végétation est déjà révélatrice de la répartition des différents types de sol dans le paysage.
Pour l'agriculteur chaque type de sol a des caractéristiques particulières dont il tient compte autant pour le choix des espèces et des variétés que pour le choix des techniques à appliquer et leurs dates de mise en oeuvre.
A Camp-Louise, nous pouvons distinguer en fonction de leur mode de formation trois grands types de sol.

Les sols des mornes

Ils sont issus de la décomposition de la roche sous-jacente. Leur profondeur est limitée par les phénomènes d'érosion ; les fortes pluies arrachent aux pentes déboisées des particules de sol, qui sont ensuite entraînées par les eaux de

ruissellement. Leur profondeur et leur fertilité dépendent de leur situation topographique (forte ou faible pente) et de la nature de la roche sous-jacente.
Les sols des mornes basaltiques sont plus sensibles à l'érosion que ceux des mornes calcaires, car ils sont formés sur une roche plus tendre. Ce phénomène est accentué par le déboisement.

Les sols de piedmornes et de la plaine drainée

Ils sont issus de l'accumulation des particules de terre arrachées aux mornes. Ces colluvions déposées sur des sables marins ont des caractéristiques différentes selon qu'elles proviennent des mornes calcaires ou basaltiques.
La moindre intensité de l'érosion sur le calcaire dur explique l'étroitesse de la plaine littorale au pied des mornes calcaires.

Les sols de la plaine inondable

Ils sont constitués de particules fines transportées par l'eau de ruissellement descendant des mornes et déposées sur les sables.
Plus on s'approche de la mer, plus les sols sont argileux, les particules les plus fines étant déposées les dernières, quand l'eau a perdu sa vitesse.

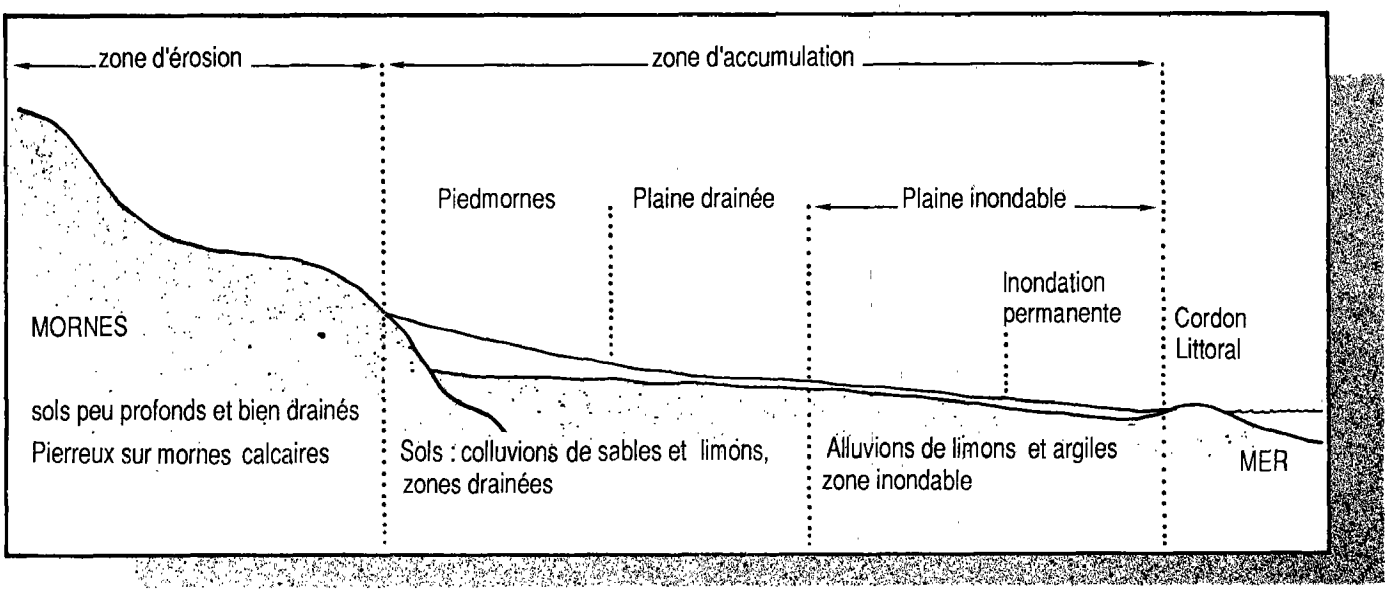


Figure 6 : phénomènes d'érosion représentés sur une coupe topographique.

Sur le graphique ci-dessus, on distingue une zone d'accumulation et une zone d'érosion. Les éléments constitutifs du sol se déplacent avec l'eau de pluie qui ruisselle. Ce phénomène est relativement rapide et continu, il entraîne une évolution du paysage et des modifications du milieu, ainsi :

- certaines parcelles des mornes ne sont plus cultivées car le sol a complètement disparu ;
- certaines parcelles ne sont plus inondées (alors qu'elles l'étaient avant) car elles ont fait l'objet d'une forte accumulation d'éléments. Les cultures pratiquées changent.

COMPRENDRE LA SOCIETE PAYSANNE

L'agriculture d'une région est déterminée par son milieu physique, mais aussi par son milieu économique et social. En effet, face à des données physiques semblables, le type d'agriculture adopté varie avec la population qui en a la charge.

ETUDIER LES PRATIQUES AGRICOLES

Etudier l'agriculture, c'est donc aussi étudier les pratiques agricoles mises en oeuvre par la société. Ces pratiques peuvent être sociales, économiques ou techniques. Leur très grande diversité au sein d'une région comme dans l'ensemble du pays explique la grande variété des situations rencontrées.
Voici quelques exemples de ce qu'il faut étudier :

• **pratiques sociales** : les modalités d'accès au foncier ; les formes d'organisation du travail comme les «*ramponneaux*» ;
• **pratiques économiques** : les prix pratiqués pour la location de terre, la vente de produits ; la nature des échanges et leur forme (ventes, trocs) ;
• **pratiqueš techniques** : le choix des cultures ; le choix des dates de semis.

Ces pratiques sont le résultat de décisions prises individuellement ou collectivement (comme le parcours d'animaux, la gestion de l'eau d'irrigation, la mise en culture de terres en indivision). Le pouvoir de chaque individu de prendre une décision varie selon son statut social et ses ressources économiques.

La société qui vit dans une petite région comme Camp-Louise est composée essentiellement d'agriculteurs mais aussi d'artisans, de commerçants et éventuellement de pêcheurs. Ils contribuent tous à la vie économique de la région. **La manière dont l'ensemble de ces personnes (qui ont entre elles de multiples relations) exploite le milieu, représente ce qu'on appelle un «système agraire».**

ANALYSER LES EXPLOITATIONS AGRICOLES

C'est l'étude du fonctionnement des exploitations agricoles qui permet de bien comprendre le fonctionnement de l'agriculture d'une région. Les enquêtes auprès des agriculteurs sont donc à la base de ce travail.
Une exploitation agricole est une **unité de production** que l'on étudie en tant que telle. Elle est constituée d'un ensemble de facteurs de production gérés par un agriculteur et sa famille en fonction de leurs objectifs.
Ces objectifs sont multiples mais visent essentiellement à satisfaire les besoins familiaux par l'auto-consommation, la recherche d'un revenu monétaire et d'une certaine sécurité.
Les facteurs de production constitutifs de l'exploitation à étudier sont :

• **La terre** (le foncier) : qui se caractérise par une surface (taille de l'exploitation) et sa répartition en parcelles (jardins) dans les différents écosystèmes de la région (parcellaire). La valeur de chacun de ces jardins dépend de ses caractéristiques physiques (type de sol - pente) et de sa capacité à produire telle ou telle plante (fertilité). Une parcelle cultivée par un agriculteur est aussi définie par son mode de faire-valoir (propriété, fermage, indivision).

• **Les animaux** : ils peuvent être en propriété ou pris en *gardiennage*. Leurs rôles sont multiples dans le fonctionnement de l'exploitation.

• **Les plantes** : aux plantes présentes dans les différents jardins, il faut ajouter les plantes «stockées», c'est-à-dire les récoltes destinées à la vente ou à l'auto-consommation et les semences gardées pour les prochaines cultures.

• **La main-d'oeuvre** : elle peut être familiale (l'agriculteur, sa femme et ses enfants) ou salariée, temporaire ou permanente. On parlera souvent de main-d'oeuvre extérieure à l'exploitation. La santé est un élément déterminant de la disponibilité de la main-d'oeuvre familiale.

• **La maison d'habitation ou *kay*** : c'est le centre de l'exploitation où vit la famille. Elle peut faire l'objet d'investissements intéressant directement la production agricole : citerne, glacis de séchage, grenier de stockage.

• **Les outils** : ils peuvent être fabriqués par l'agriculteur, achetés ou empruntés. Ils concernent le travail du sol et les techniques culturales, la transformation des produits et leur transport.

• **L'argent** : les disponibilités financières de l'agriculteur lui permettent, au moment voulu, d'acheter les semences dont il a besoin (éventuellement de l'engrais ou des produits de traitement), mais aussi de louer une parcelle ou de faire appel à la main-d'oeuvre extérieure.

Le nombre des parcelles cultivées par un agriculteur, leur taille, leur répartition dans les différents écosystèmes, leur situation par rapport à la *kay* et leur mode de faire-valoir définissent la structure d'une exploitation.
Cette structure est déterminante pour les choix que va faire l'agriculteur notam-

ment pour la mise en place de son système de production (voir encadré).

Le plus souvent, l'agriculteur cherche à cultiver dans la plupart des milieux (unités de paysage), ce qui lui permet de diversifier ses systèmes de culture et ainsi de:
- subvenir à la plupart des besoins de sa famille ;
- étaler ses périodes de travail dans le temps ;
- limiter les risques face aux aléas climatiques ;
- avoir des ressources fourragères toute l'année.

La structure d'une exploitation agricole est également liée à son histoire, à son évolution passée. Il est nécessaire de la connaître afin de mieux évaluer les contraintes que rencontre aujourd'hui l'agriculteur pour réaliser ses objectifs et les voies d'évolution qui lui sont permises.

L'exploitation est considérée aussi comme un système dont nous venons de décrire rapidement les principaux éléments.
L'ensemble de ces facteurs de production mis en oeuvre par l'agriculteur afin d'obtenir différentes productions animales ou végétales définit un système de production.
A chaque exploitation agricole correspond un système de production composé d'un ou plusieurs systèmes de culture et systèmes d'élévage dépendant les uns des autres.
Les activités de transformation des produits, de transport, de commercialisation doivent être aussi prises en compte dans l'étude d'une exploitation ainsi que toute activité réalisée par l'agriculteur ou un membre de la famille à l'extérieur du système considéré. Le fonctionnement de l'exploitation agricole dépend aussi de son environnement. Cet environnement physique, économique et social se présente comme une série de contraintes qui gênent l'agriculteur dans la réalisation de ses objectifs, ou d'atouts qui, au contraire, favorisent sa réussite.

Quelques définitions

• **Système de production** : c'est la combinaison des moyens de production mis en oeuvre par l'agriculteur afin d'obtenir différentes productions animales ou végétales. A chaque exploitation agricole correspond, à un moment donné, un système de production que l'on considère comme un ensemble de sous-systèmes interdépendants :
. les systèmes de culture au niveau de chacune des parcelles,
. les systèmes d'élevage au niveau de chacun des troupeaux,
. les systèmes de transformation et de commercialisation des produits.

• **Système d'élevage** : c'est l'ensemble des pratiques et techniques mises en oeuvre par un paysan ou une communauté pour faire exploiter les ressources végétales par des animaux et ainsi obtenir une production animale. Cette notion s'applique en Haïti surtout à l'échelle de l'exploitation agricole et du troupeau. Pour mieux comprendre ces concepts, relisez leurs définitions au fur et à mesure qu'ils seront utilisés dans les chapitres suivants, notamment dans les études de cas.

• **Système de culture** : c'est l'ensemble des successions de cultures et des techniques mises en oeuvre sur une même parcelle pour obtenir une ou plusieurs productions végétales.
Un système de culture est caractérisé par le niveau de production qu'il permet et par son influence sur la fertilité du milieu. Dans une exploitation, plusieurs systèmes de culture coexistent généralement (parfois en concurrence entre eux).

• **Succession de cultures** : c'est l'ensemble des cultures apparues sur une parcelle, en association ou non, durant une période donnée avec leur ordre de succession. Exemple, les rotations des mornes à base de manioc décrites précédemment.

• **Itinéraire technique** : c'est une combinaison logique et ordonnée de techniques appliquées à une culture ou une association de cultures. Ces techniques «culturales» vont de la préparation du sol à la récolte en passant par toutes les techniques d'entretien telles que le sarclage, l'irrigation ou la lutte contre un parasite. Elles sont mises en oeuvre par l'agriculteur dans le but de tirer le meilleur parti des espèces qu'il cultive, compte tenu des caractéristiques du milieu.

• **L'assolement** est la répartition des différentes associations de cultures pratiquées sur l'ensemble des parcelles d'un agriculteur à un moment donné.

• **La rotation** est la succession des espèces ou associations sur la même parcelle durant un temps donné.

Expliquer la diversité

La prise en compte des conditions écologiques et socio-économiques permet de mieux comprendre les comportements des agriculteurs et d'expliquer les raisons de la diversité des systèmes de production rencontrés.
Dans cette région fortement peuplée, une des principales contraintes que rencontrent la plupart des agriculteurs est la difficulté d'accéder au foncier.

La proximité du Cap-Haïtien, la piste qui traverse toute la région et les nombreux circuits de commercialisation poussent les agriculteurs à produire des marchandises destinées à la vente, quitte à devoir acheter une grande partie de leur nourriture sur les marchés. Ainsi, aucune exploitation paysanne n'est orientée uniquement vers des cultures vivrières d'auto-subsistance. Les échanges entre les exploitations et entre les exploitations et leur environnement économique sont denses et très monétarisés.

Face à un même environnement économique, les exploitants agricoles ne font pas tous les mêmes choix. Leur attitude dépend des ressources dont ils disposent (terres, main d'oeuvre, capital...). Ainsi, les petits agriculteurs disposant de très peu de terre en propriété ont tendance à la cultiver intensivement et sont contraints pour faire vivre la famille soit d'exploiter des surfaces en faire valoir indirect soit de travailler à l'extérieur de de l'exploitation. Au contraire, les moyens et grands propriétaires fonciers ne peuvent pas exploiter eux-mêmes la totalité de leur exploitation et ont donc recours à de la main d'œuvre extérieure, ils ont intérêt à rentabiliser au mieux le capital-argent investi.

DES STRUCTURES D'EXPLOITATION ET DES STRATÉGIES PAYSANNES DIVERSES

L'analyse qui a été faite dans cette région à partir d'enquêtes a permis de classer les exploitations en fonction des critères qui paraissaient déterminer le plus leur mode de fonctionnement. Les principaux critères qui ont été retenus sont :

• **la structure des exploitations**
. la surface totale travaillée par l'agriculteur et sa famille ; elle varie à Camp-Louise entre 0,25 et 4 carreaux (un carreau = 1,29 ha) ;
. la localisation des parcelles travaillées dans les différentes zones écologiques ;
. le mode de tenure ou mode de faire-valoir de ces différentes parcelles.

• **la possibilité de travailler à l'extérieur** et d'avoir ainsi un revenu monétaire, en distinguant les niveaux de rémunération de ce travail (certains travaux non agricoles peuvent être très rémunérateurs).

La surface minimale permettant d'utiliser toute la main-d'oeuvre familiale sans avoir besoin de vendre son travail à l'extérieur est voisine d'un carreau.

Sur la base de ces deux critères, on a pu regrouper les agriculteurs de la région en quatre classes. Au sein de chacune de ces classes, il existe en fait une diversité d'exploitations qui n'est pas prise ici en considération.

LES SALARIÉS AGRICOLES

Ils ne possèdent qu'un petit jardin de 0,25 à 0,30 carreau cultivé d'une manière intensive près de leur *kaye*, en plaine ou en piedmorne. Ils ne cultivent jamais de parcelles de lagon. La moitié de leur production est vendue (surtout du manioc). Le manque de ressources fourragères ne leur permet pas de pratiquer l'élevage. Ils travaillent entre 150 et 300 jours par an hors de leur exploitation chez des pêcheurs, des artisans ou d'autres agriculteurs. Les femmes et les enfants adultes vendent également de nombreux jours de travail.
La journée de travail est rémunérée 5 à 10 gourdes, soit 1 à 2 dollars selon le type de travail (1988). Leur principal problème est bien sûr le manque de terre et autres moyens de production. Ils n'ont reçu qu'une petite parcelle en héritage et il leur est impossible d'en acquérir davantage étant donné le coût élevé du foncier et leurs faibles revenus.

LES MÉTAYERS

Ils cultivent une surface de 0,6 à 0,8 carreau dont la moitié est prise en métayage. Ils ne cultivent que des cultures annuelles (surtout manioc) sur les terres de morne et de plaine les moins fertiles. Ils n'ont jamais accès au lagon. La possibilité de cultiver sur des terres en métayage leur permet de laisser, de temps à autre, leur jardin en jachère. Certains disposant de meilleures terres les plantent en bananiers.
Les métayers vendent environ 50 journées de travail par an et prennent parfois une vache en gardiennage. Leur problème est aussi le manque de terre, certains d'entre eux parviennent parfois à en acheter (mais jamais en lagon).

LES PETITS PROPRIÉTAIRES

Ils cultivent 1 à 2 carreaux, dont plus de la moitié est en propriété, mais ne possèdent en général aucune parcelle en lagon. Ils ont acquis leur foncier par héritage et rarement par achat. Ils cultivent une gamme de cultures plus large que les métayers, notament du riz et du café, car leur situation financière leur permet de prendre des parcelles de lagon ou de plantation de café en fermage. Ils ont souvent une vache en gardiennage.
Toute la main-d'oeuvre familiale travaille sur l'exploitation et des salariés agricoles peuvent être employés occasionnellement.
L'objectif principal des petits propriétaires est l'accès à des terres de lagon car la culture du riz est une des plus rémunératrices et permet donc de valoriser au mieux le travail familial investi dans l'exploitation.

LES MOYENS PROPRIÉTAIRES

Ils possèdent 2 à 4 carreaux, souvent dans les meilleures terres, les lagons et les sols les plus profonds de la plaine. Ils ne peuvent pas tout cultiver avec la main-d'oeuvre familiale disponible sur l'exploitation. Ils cèdent les moins bonnes terres ou les plus éloignées de leur *kaye* à des métayers et/ou utilisent de la main-d'oeuvre salariée extérieure à leur exploitation.

On distingue deux catégories de moyens propriétaires :
• ceux dont le système de production est basé sur le café et le cacao dans les jardins boisés de plaine et de piedmornes. Ils exercent pour la plupart un autre métier qui leur a permis l'achat de ces terres. Leur objectif est l'achat de terres de lagon ;
• ceux dont le système de production est basé essentiellement sur le riz de lagon sont les plus nombreux. Ils achètent beaucoup de main-d'oeuvre à l'extérieur de l'exploitation. Leurs systèmes de culture sont diversifiés (accès aux terres de plaine et de piedmornes). Ils pratiquent l'élevage et sont aussi parfois commerçants.

Les moyens propriétaires disposant de surfaces importantes peuvent pratiquer couramment la jachère, ce qui leur permet d'avoir du fourrage pour leurs animaux tout en maintenant une certaine fertilité de leur terre.
Ils possèdent souvent un glacis devant leur maison d'habitation et peuvent faire sécher leurs produits pour mieux les conserver. Ainsi, ils pourront attendre pour vendre que les prix soient élevés.

LES AUTRES MÉTIERS

La société rurale comprend aussi des pêcheurs, des artisans, des commerçants dont les activités sont plus ou moins liées à la production agricole. A Camp-Louise, ces individus investissent peu dans la terre mais ont presque tous quelques parcelles de café, banane ou autres cultures vivrières. Les plus aisés (gros commerçants) emploient de la main-d'oeuvre salariée, mais beaucoup d'entre eux s'occupent eux-mêmes de leurs terres et de leurs animaux.

Cette description rapide des types d'exploitations agricoles identifiés à Camp-Louise nous montre la diversité des problèmes qui se posent aux agriculteurs.

DES SYSTÈMES DE CULTURE ADAPTÉS À CHAQUE MILIEU

Pour aller plus loin dans l'analyse, il est nécessaire d'étudier avec précision les systèmes de culture adoptés par les paysans en fonction des contraintes du milieu. Deux cas nous serviront d'exemples: la plaine inondable et les mornes.

SYSTÈMES DE CULTURES À BASE DE RIZ EN PLAINE INONDABLE

Au moment des grosses pluies d'automne, une partie de l'eau pénètre dans le sol, une autre partie ruisselle sur les pentes érodées des mornes et se concentre dans les ravines. Ces ravines traversent la plaine littorale (drainée) et débouchent sur la plaine inondable. Ici, la pente étant pratiquement nulle et le sol moins perméable, l'eau ralentit et s'étale, couvrant la surface du sol.
Cependant, il existe un micro-relief et seules certaines parcelles sont inondées en fonction de la hauteur de l'eau.

Cette dynamique de l'eau dans la plaine amène les paysans à distinguer trois types de situations, visibles sur la photo ci-dessous.



Arrivée de l'eau en provenance des mornes, dans la plaine inondable dont la partie basse est cultivée exclusivement en riz : c'est le lagon (photo Ph. Vazeille).

• **les terrains** les plus hauts ne sont (pratiquement) jamais inondés. Ils sont plantés en bananiers, en canne à sucre, voire dans certains cas en arbres fruitiers. Ils correspondent entre autres aux débouchés des ravines où s'accumulent les alluvions ;
• **les lagons** sont les terrains les plus bas, inondés ou boueux toute l'année. Ils sont cultivés exclusivement en riz ;
• **les demi-lagons** se situent à un niveau intermédiaire. Ils ne sont inondés qu'une partie de l'année et généralement secs durant l'été. Le riz et la patate y sont cultivés en alternance.

L'eau commence à monter après le début de la grande saison des pluies en novembre/décembre et atteint son niveau maximum en janvier/février. A la fin de la petite saison des pluies, en mai/juin, les demi-lagons s'assèchent.



Au premier plan, le demi-lagon, cultivé en riz ou en patate douce sur billon. Au fond, des terrains qui ne sont jamais inondés, plantés en bananiers, canne à sucre, arbres fruitiers (photo Ph. Vazeille).

Des mises en cultures différentes sur lagon ou sur demi-lagon

La répartition des pluies étant très variable d'une année sur l'autre, l'agriculteur ne sait jamais précisément à quel moment ses parcelles seront inondées et donc prêtes à être repiquées. Certaines années, cela peut se traduire par de très faibles rendements.

Aussi, pour limiter les risques, l'agriculteur qui posséde une parcelle en lagon et une autre en demi-lagon a-t-il mis au point des systèmes de culture parfaitement adaptés à ces deux situations.
Il prépare deux pépinières, l'une en novembre et l'autre en décembre. Les plants de la pépinière de décembre seront repiqués en premier dans la parcelle de demi-lagon (janvier-février), et les plants de la pépinière de novembre, un peu plus tard dans la parcelle de lagon.

A première vue, ce choix peut paraître incohérent aux yeux de l'agronome. En réalité, il est fondé sur une bonne connaissance du milieu et répond à une certaine logique de l'agriculteur face à **des contraintes précises** :
• en demi-lagon, le risque qui guette le riz est le manque d'eau en fin de cycle; le repiquage doit donc être réalisé sur ces parcelles le plus tôt possible. On utilise des plants jeunes que l'on repique dans la boue avant que l'eau ne soit à son niveau maximum ;
• le principal risque sur les parcelles de lagon est que l'eau monte trop vite et noie les jeunes plants. On attend donc que l'eau atteigne son niveau maximum et on y repique des plants plus âgés (donc plus grands).

Jusqu'à la récolte, les parcelles de riz ne sont plus travaillées. Dans les parcelles de lagon, l'eau ralentit la reprise des *adventices*. En revanche, pour certaines parcelles de demi-lagon qui sont repiquées avant l'inondation, des mauvaises herbes ont le temps de se développer et entrent en compétition avec le riz dont le rendement pâtit.
Un mois avant la récolte, une surveillance est nécessaire pour empêcher les oiseaux («Madam Sara») de manger le riz. Il faut rester toute la journée sur la parcelle et l'agriculteur est aidé pour cela par ses enfants.

La récolte doit souvent se faire en deux passages car la venue à maturité des épis

s'étale sur un période pouvant dépasser un mois. Cet échelonnement est dû essentiellement à l'utilisation de semences de différentes variétés mélangées. Attendre que tous les épis soient mûrs entraînerait des pertes par égrenage (chute des grains trop mûrs) et à cause des oiseaux. Le premier passage a lieu en mai/juin et le deuxième en juillet.
Les parcelles de demi-lagon sont récoltées avant celles de lagon. La récolte se fait manuellement ; on coupe les épis avec un petit couteau spécial et on laisse la tige et les feuilles en place. Cette technique permet de choisir les épis à récolter.

Figure 7 : les contraintes agronomiques rencontrées en lagon et demi-lagon.

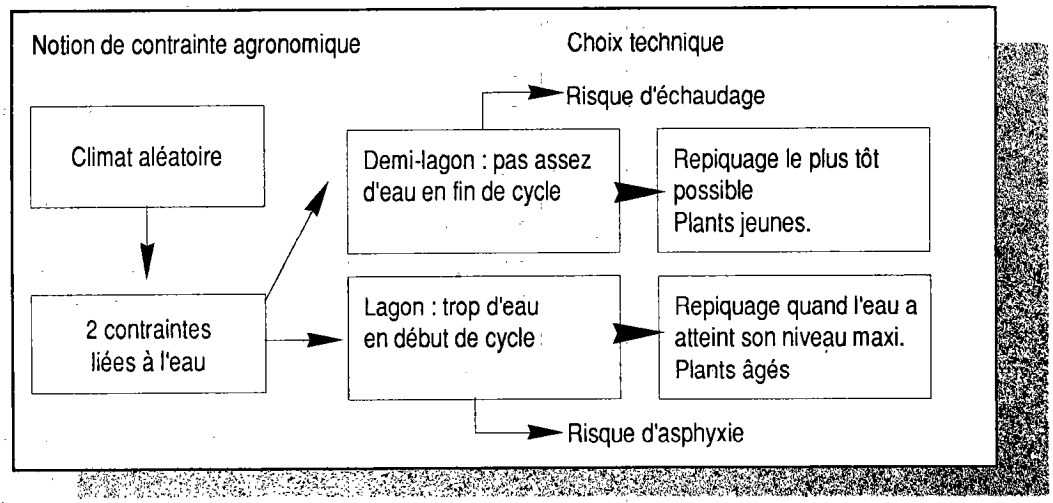
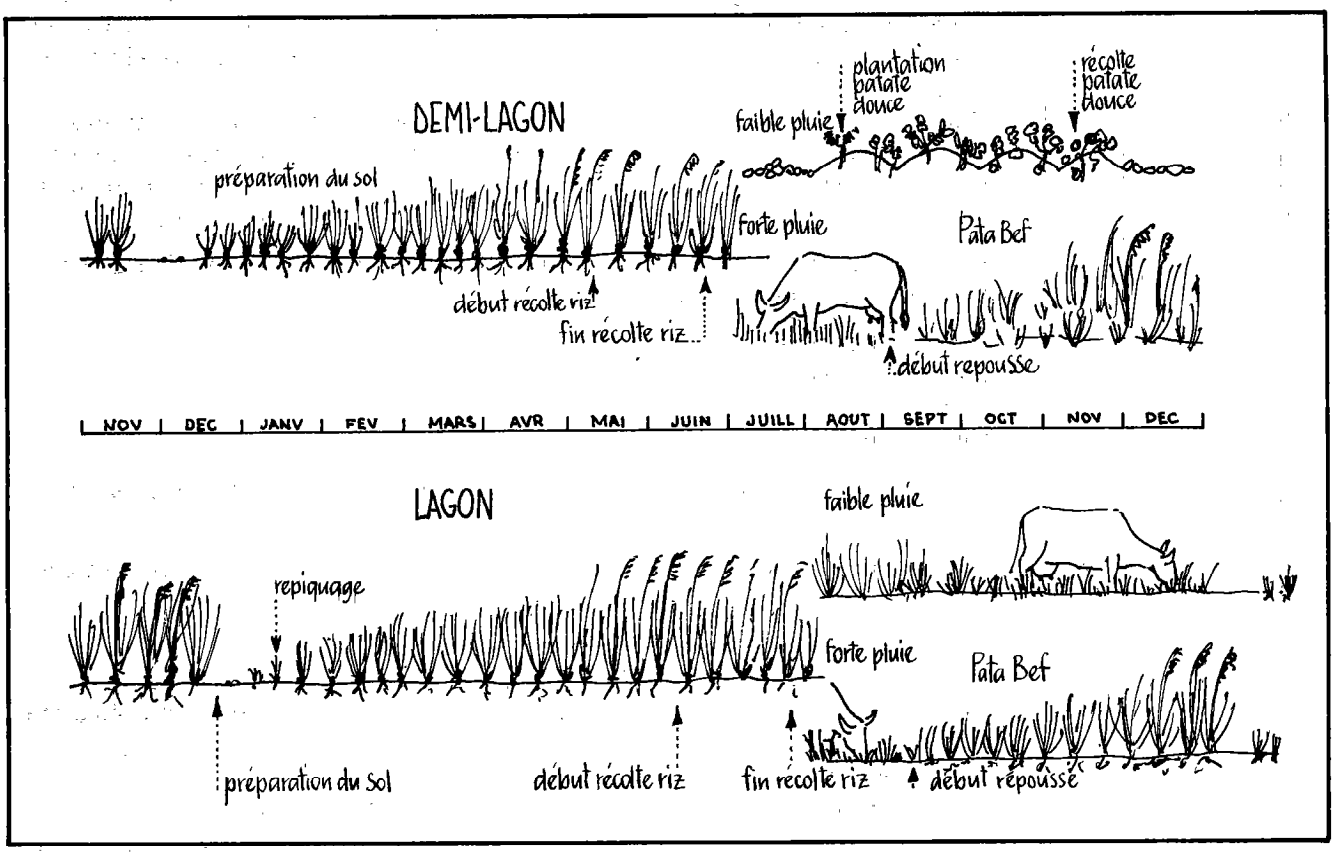


Figure 8 : rotation sur lagon et demi-lagon.



Après la récolte du riz : une utilisation variable de la parcelle en fonction de sa situation et de la pluviométrie

Selon l'abondance des pluies durant les mois de juin, juillet et août, l'état des parcelles varie. Les lagons et les demi-lagons sont alors conduits de manière différente.

Lagon

Dès la fin de la récolte, les animaux (attachés à un piquet que l'on déplace) sont mis

à pâturer dans les pailles de riz :
• si les pluies sont suffisantes, il reste dans les rizières assez d'eau pour permettre une repousse de riz. Les bêtes sont retirées de la parcelle vers la fin août. Les touffes de riz non pâturées sont coupées à la machette à 10-15 cm au-dessus du sol pour faciliter la *repousse*. La récolte aura lieu en novembre/décembre juste avant la nouvelle saison. Cette deuxième pousse s'appelle le *«patabef»*.
• si les pluies sont jugées insuffisantes, les animaux sont laissés à pâturer jusqu'à la prochaine culture (décembre).
La variabilité du climat est telle que la production de *patabef* n'est réalisable qu'un an sur deux en moyenne.

Demi-lagon
Les bêtes ne sont mises à pâturer que pendant un temps très court après la récolte du riz :
• si les pluies sont très abondantes, les paysans font une récolte de *patabef* comme sur les lagons. Mais cela arrive seulement une année sur dix, en année exceptionnellement humide ;
• généralement, ces parcelles sont asséchées en été, ce qui permet une culture de patates douces dont la récolte aura lieu en décembre;

Le sol est travaillé à la houe; l'agriculteur confectionne de grosses buttes sous lesquelles il enfouit les pailles de riz et les adventices. Les boutures de patate douce sont alors plantées au sommet de la butte.
Le principal rôle de ces buttes est de maintenir les tubercules hors de l'eau pour éviter leur pourrissement en cas de grosses pluies.
Dans les parcelles régulièrement inondées, le choix d'espèces cultivées est très limité: riz en lagon, riz et patate douce en demi-lagon et taro en bordure des parcelles. Les agriculteurs y pratiquent des *rotations annuelles* : les mêmes cultures reviennent tous les ans avec des variantes selon le climat de l'année.

DANS LES MORNES: DES ASSOCIATIONS DE CULTURES TRÈS DIVERSES

Dans les autres zones de la région (plaine drainée, piedmornes, mornes), les systèmes de culture sont plus variés et complexes. Les deux espèces qui dominent sont le manioc amer pour la vente et la banane plantain essentiellement pour l'autoconsommation, mais toujours en *association* avec d'autres espèces.

Dans les diverses associations de cultures pratiquées dans la région de Camp-Louise on rencontre un grand nombre d'espèces.

• **Les cultures annuelles:**
céréales : maïs, riz ;
tubercules : manioc, igname, taro ;
légumineuses : *pois congo*, haricot, arachide, vigna.

• **Les cultures pluri-annuelles** (restant en place plusieurs années) sont représentées essentiellement par la canne à sucre et le bananier.

• **Les arbres** : caféiers, cacaoyers, arbres fruitiers, arbres fourragers et d'ombrage.

Ces différentes espèces se différencient surtout par :
. la durée de leur cycle ;
. leurs besoins spécifiques en facteurs de croissance (lumière, eau, éléments minéraux...) ;
. leur place dans le système de culture ;
. leurs rôles dans l'économie de l'exploitation agricole et de la région.

Un agriculteur choisit ses productions et son assolement de manière à obtenir des résultats économiques optimum par rapport aux critères qu'il privilégie: nombre de calories produites, revenu monétaire par carreau ou par journée de travail...
Ainsi l'assolement choisi dépendra:

• des caractères structurels de l'exploitation agricole:
. foncier disponible,
. localisation des parcelles dans les différents écosystèmes et distance par rapport

à l'habitation,
. mode de faire-valoir des différentes parcelles,
. disponibilité en main d'oeuvre,
. disponibilités financières,

• du climat à la période de mise en culture,

• des prix du marché l'année considérée :
. prix des semences et des produits,
. prix de la journée de travail,

• du fonctionnement de l'exploitation :
. relations entre les cultures et l'élevage (fourrages, fertilité),
. cultures présentes sur les parcelles l'année précédente (rotations).

Les bananiers sont cultivés en priorité dans les parcelles abritées et proches des habitations (photo Ph. Vazeille).



Nous avons vu précédemment comment étaient réparties les cultures dans les différents milieux situés le long de deux transects à Patrice et à St Michel.
Les jardins boisés sont situés sur les piedmornes, les mornes calcaires et près des habitations en plaines (*«jardins pré-kaye»*). Les principales cultures qui y sont pratiquées sont la banane plantain, le taro et l'igname en association ou le caféier et le cacaoyer.
La localisation des systèmes de culture à base de bananier est déterminée par les exigences de celui-ci : sol profond, riche en matière organique et bien drainant. De plus, le bananier étant sensible au vent qui découpe ses feuilles, il sera particulièrement présent dans les zones abritées. L'agriculteur évite de planter en bananier les parcelles trop éloignées de sa maison (par crainte des voleurs) de même que les parcelles en location (car il n'est jamais sûr de pouvoir les garder l'année suivante). Ainsi, bien que la banane plantain soit à la base du régime alimentaire de la plupart des paysans de Camp-Louise, elle n'est cultivée ni dans les zones inondables précédemment décrites, ni sur les mornes basaltiques érodés qui représentent pourtant une part importante des surfaces cultivées.

Les rotations à base de manioc

Le manioc est la culture dominante sur les sols érodés des mornes basaltiques. On le trouve aussi en plaine et en piedmorne, sur les sols les moins fertiles et impropres à la culture du bananier. Dans tous les cas, il est cultivé en association avec d'autres espèces.
Il est planté à deux périodes de l'année correspondant au début de chaque saison des pluies. S'il est planté en mars-avril, il sera plutôt associé à du maïs et du vigna. S'il est planté en novembre, c'est de préférence avec de la patate douce.

Le manioc est toujours planté sur de larges buttes, parfois sur billon en plaine.
La butte a plusieurs rôles essentiels :
• éviter les excès d'eau, surtout en plaine, ce qui provoquerait le pourrissement des tubercules ;
• augmenter le volume de terre meuble exploitable par les racines ;
• concentrer la matière organique sous la butte lors de son enfouissement ;
• limiter l'érosion sur les fortes pentes.

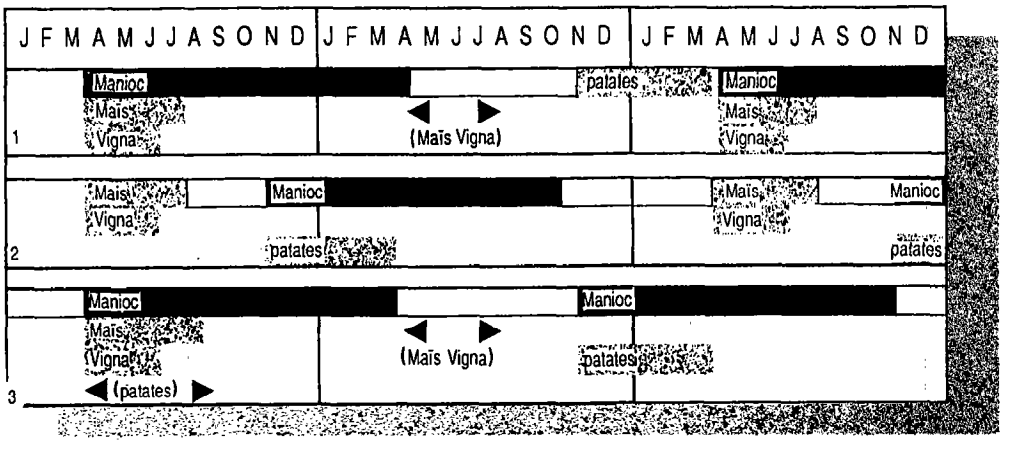


Figure 9 : représentation graphique des différentes rotations à bases de manioc pratiquées à Camp-Louise.
1. Association de manioc, maïs, et vigna de printemps et de patates douces d'automne.
2. Maïs et vigna au printemps et manioc et patates à l'automne.
3. Manioc, maïs et vigna au printemps et manioc-patates douces à l'automne.

La figure 9 présente les différentes associations à base de manioc pratiquées à Camp-Louise :
• les rotations 1 et 2 sont biennales (la même association de culture revient sur la parcelle tous les deux ans) ;
• dans la rotation 3, la même association ne revient que tous les 3 ans (rotation triennale).

Pour chacune de ces rotations, il existe des périodes de jachère. Leur durée est plus ou moins longue (3 à 7 mois) et elles interviennent à différentes époques de l'année. Ce sont des rotations-types auxquelles correspondent dans la réalité de multiples variantes.
En fonction de leurs ressources en surface et en main-d'oeuvre, les agriculteurs peuvent certaines années soit réaliser une culture supplémentaire (indiquée entre parenthèses dans le tableau), soit laisser une de leurs parcelles une année de plus en jachère pour y faire pâturer leurs animaux.
Dans les associations à base de manioc, ce dernier reste seul sur la parcelle durant la longue période qui suit la récolte du maïs, du vigna ou de la patate douce. Cela permet un développement des mauvaises herbes qui serviront de fourrage.

SYSTÈMES DE CULTURES ET ALIMENTATION DES ANIMAUX

Les paysans de Camp-Louise essayent, dans la mesure du possible, de cultiver des parcelles situées dans les différents milieux. Cela leur permet de diversifier leurs productions, de réduire les risques face aux aléas climatiques mais aussi de faciliter l'affouragement des animaux en disposant de ressources échelonnées sur l'année.
Quelques paysans exploitent de grandes surfaces et ainsi peuvent laisser régulièrement certaines parcelles en jachère pour y faire pâturer leurs animaux. Mais la plupart rencontrent des problèmes dans l'alimentation de leurs bêtes.

• **En juin**, après la récolte du riz, les animaux sont mis à pâturer sur les lagons et les demis-lagons. A cette époque, les parcelles des mornes sont en culture.

• **En août**, les animaux doivent quitter les demis-lagons pour la plantation des patates douces, mais aussi les lagons si une repousse du riz est possible. Ils sont alors mis à pâturer dans les mornes les résidus de culture du maïs récolté en juillet. Ceci jusqu'en novembre, époque de mise en culture (patates-manioc).

• **De novembre à mars**, les animaux restent obligatoirement dans les mornes car toutes les parcelles de lagons et demi-lagons sont en culture. Les paysans qui ne disposent pas de jachère font alors pâturer leurs animaux sur le bord des chemins où l'herbe est relativement abondante durant la saison pluvieuse.

• **De mars à juin**, la disponibilité en fourrage est très faible pour les paysans qui n'ont pas de parcelle en jachère. L'herbe des bords des chemins est rare, elle est complétée par des apports tels que : fleurs de maïs ; branches d'arbres, fourragers (orme, gommier...) ; feuilles de bananiers.

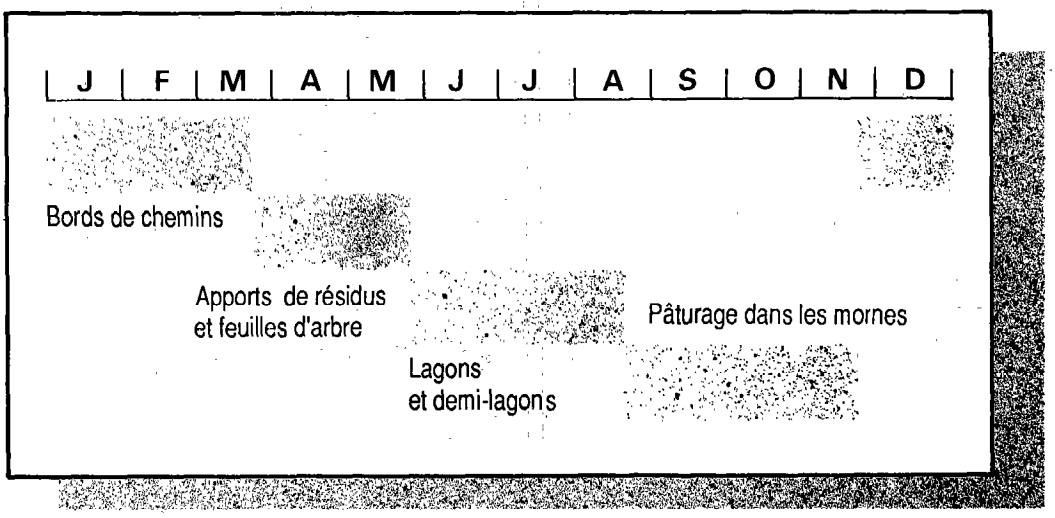


Figure 10 : calendrier des disponibilités fourragères à Camp-Louise.

Comment découvrir rapidement et comprendre l'agriculture d'une petite région

L'objectif de la méthode présentée ici est d'arriver, en quelques jours, à décrire et comprendre l'agriculture d'une petite région comme nous venons de le faire pour Camp-Louise.
Les sources d'informations que l'on peut utiliser sont de quatre types :
- l'observation du paysage ;
- les discussions avec les paysans ;
- les entretiens avec des informateurs privilégiés : personnes connaissant particulièrement bien la région et son histoire ;
- la lecture des documents existants.

PARCOURIR LE TERRAIN ET OBSERVER LE PAYSAGE

Les parcours d'observation ne sont pas réalisés au hasard, on les choisira selon les critères suivants :
- **l'époque** : le paysage est très différent selon qu'on se situe en saison sèche ou pluvieuse, en période de début ou de fin de cultures. Des parcours réalisés à différentes périodes de l'année apporteront des informations complémentaires notamment sur les rotations pratiquées dans les différents milieux.
- **les trajets** : on passera en priorité sur les points hauts et dégagés pour avoir différentes vues d'ensemble de la région.
On repérera les principales particularités (zones érodées, bâtiments, végétation différente), ce qui permettra d'organiser le parcours de manière à passer dans les endroits ainsi repérés.

On cherchera à traverser le maximum de situations différentes en tenant compte des variations de milieu (relief, végétation, rivières) et de l'organisation de l'espace (villages, routes, limites de parcelles).

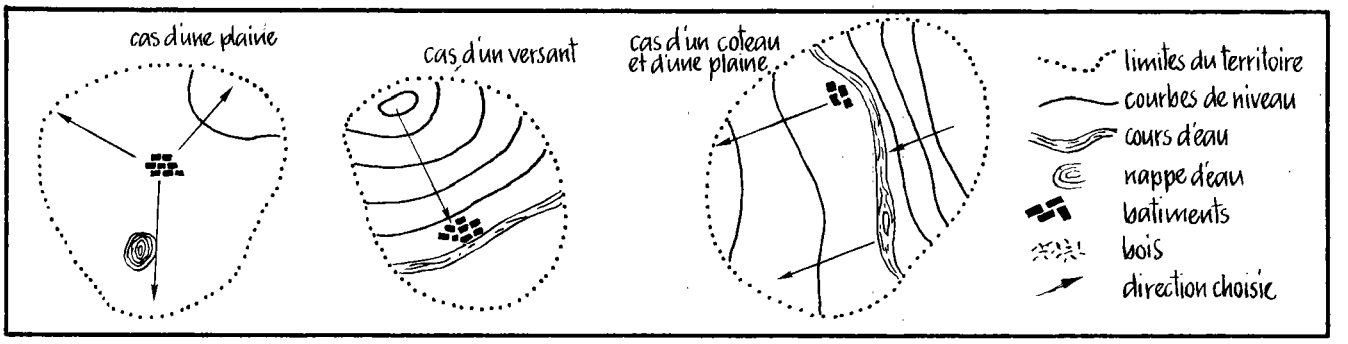


Figure 11 : choix des directions de transect

Un parcours réalisé de cette façon est appelé un transect. Il est réalisé dans le sens de la pente car l'altitude est un facteur important de variabilité du milieu, on parle alors de transect altitudinal.
Dans le cas d'une plaine, les transects seront choisis, à partir d'un village, dans différentes directions en s'arrangeant pour traverser les zones particulières observées sur la carte : zones hydromorphes, rivières, zones plus arborées par exemple.

Les parcours sont effectués à pied, mais un véhicule peut-être utile dans le cas de vastes zones à traverser.
Les observations permettent de caractériser par exemple :
• les différents types de sol rencontrés, leur nature, leur profondeur, leur localisation et leur importance en superficie ;
• les problèmes d'érosion et leur localisation ;
• la végétation naturelle, la répartition des espèces ;
• la faune ;
• les associations de cultures pratiquées par les paysans dans ces différentes situations et certaines des techniques utilisées ;
• les animaux domestiques et les lieux de pâturages ;
• les équipements agricoles.

La réalisation de croquis permet de compléter la prise de note et aide à mieux observer.
L'intérêt est d'alterner l'étude globale du paysage et l'analyse de détails des éléments le composant. On définit ainsi différents niveaux d'observation qui peuvent être: le jardin, un groupe de jardins, le versant d'une colline ou le fond d'une vallée, la petite région.

Quant au matériel utile, les seuls objets indispensables sont un bloc-notes et un crayon pour relever, au fur et à mesure du cheminement, les informations que l'on recueille, faire des dessins et des schémas. Mais d'autres objets peuvent rendre service tels qu'une boussole, une paire de jumelle, un mètre...
Les cartes sont très utiles et on les emportera toujours sur le terrain. Elles aideront à définir les trajets, à se repérer et à resituer les observations.

RECUEILLIR L'INFORMATION ET LA CLASSER

Sur le terrain, il est important de recueillir toutes ces informations avec méthode. Pour cela, il est nécessaire de s'arrêter régulièrement pour :
• prendre des notes, écrire les questions que l'on se pose, les hypothèses qu'il faudra vérifier ;
• rapporter des échantillons de plantes pour ultérieurement les déterminer ou déterminer une maladie ;
• resituer les informations recueillies sur une carte de la région.
Très rapidement, il est possible de réaliser un zonage, de découper la région en différentes unités de paysages.
Une fois les limites entre ces zones reportées sur une carte, chacune d'elles sera décrite, ce qui permet de faire une première synthèse des informations recueillies et d'élaborer de nouvelles hypothèses.

QUESTIONNER DES PAYSANS ET DES PERSONNES CONNAISSANT BIEN LA RÉGION

En observant le paysage, on se pose une multitude de questions et on émet des hypothèses sur les pratiques agricoles de la région et leur évolution.
C'est lors d'entretiens avec les paysans rencontrés durant la réalisation de ces transects, puis dans les villages avec les personnes connaissant bien la région et son histoire que l'on répondra à ces questions.
L'encadré ci-dessous donne une idée des informations que l'on peut recueillir lors de discussions avec les habitants.

Types d'informations que l'on peut recueillir sur le terrain

En observant le paysage

• Topographie :
altitude, forme du relief, mesure de pente.

• Géologie-pédologie :
. nature des sous-sols ;
. nature des sols, profondeur ;
. structure, texture ;
. phénomènes d'érosion ;

• Végétation :
. densité des différentes zones arborées et continuité ;
. identification des espèces spontanées et répartition par strates (indication sur la fertilité du milieu) ;
. effets de l'action de l'homme.

• Utilisation du milieu :
. utilisation des forêts ;
. forme et dimension des parcelles, nature de leurs limites ;
. identification des cultures, répartition ;
. localisation des friches, des animaux ;
. état des cultures et des animaux ;
. types d'habitat et localisation.

En questionnant les paysans

• Foncier :
. mode de faire valoir, prix de la terre, mode de transmission ;
. parcellaire des exploitations ;
. mode d'utilisation des terres collectives.

• Cultures :
. assolements et rotations pratiqués ;
. association de cultures ; techniques utilisées ;
. utilisation d'engrais, d'outils, de l'irrigation.

• Elevage :
. taille des troupeaux ;
. modes de gestion, reproduction, gardiennage ;
. alimentation: types de fourrages utilisés.

• Forêt :
. mode d'exploitation : par qui ; parcours d'animaux ; bois de chauffage, de constructions ; charbon de bois.

• Outillage :
. pour les cultures ;
. pour la récolte ;
. pour le transport (lieu de fabrication).

• Environnement socio-économique :
. marché : prix des produits, de la journée de travail, de la terre, destination des produits, types de commercialisation, approvisionnement ;
. unités de transformation ;
. artisanat .

• La famille et l'exploitation agricole :
. répartition des activités entre les membres ;
. répartition des activités dans l'année ;
. transmission du patrimoine.

Pour tous ces thèmes, il est important d'aborder l'aspect historique :

. nouvelle culture, disparition d'une autre,
. nouvel outil, depuis quand ?
. zone en friche, depuis quand ?
. évolution des prix.

Lors de la réalisation du transect, les questions posées sont surtout relatives à ce que l'on observe. Cela peut-être, par exemple, reconstituer avec un paysan sur sa parcelle les itinéraires techniques qu'il met en oeuvre; essayer d'expliquer l'origine d'une pratique comme la construction de murets; ou bien encore essayer de comprendre l'importance économique d'une production comme le charbon de bois.
Des entretiens plus longs peuvent être réalisés ensuite avec certaines personnes. Il est alors nécessaire de préparer une liste de questions à poser ou d'informations à recueillir.
On cherchera à rencontrer des personnes différentes de manière à confronter les informations car, selon leur situation sociale et familiale, les gens n'ont pas les mêmes points de vue (il faut donc connaître la personne à qui on s'adresse).
De la même manière que le parcours des transects a suscité des questions à poser lors des entretiens, les réponses fournies par les gens peuvent inciter à retourner sur certaines zones.
Il y a donc alternance entre l'observation et l'enquête.

UTILISER LES DOCUMENTS EXISTANTS

Il existe différents types de **cartes** : topographiques, géologiques, climatiques. Elles fournissent de nombreuses indications sur le relief, la localisation des routes, des rivières et la répartition de l'habitat.
La comparaison de cartes réalisées à des époques différentes met en évidence les transformations qui ont affecté le paysage.
La comparaison d'une carte de végétation assez ancienne avec la réalité permet par exemple de voir l'évolution de certains milieux. Il faudra alors rechercher les causes possibles de cette évolution, qu'elles soient techniques, sociales ou économiques.

Les **photos aériennes** sont aussi une source très riche d'informations, mais elles sont onéreuses, difficiles à interpréter et nécessitent l'utilisation d'un stéréoscope.

Les **documents écrits** complétent la connaissance de la région. Ils sont plus ou moins nombreux selon les régions et il n'est pas toujours facile de se les procurer. On peut trouver sur certaines régions des études historiques, des études économiques, des résultats d'enquêtes ou des rapports administratifs. La comparaison des informations recueillies et des études anciennes permet de confirmer ou d'infirmer les hypothèses que l'on avait faites sur l'évolution de l'agriculture.
En règle générale, il ne faut jamais se contenter d'une seule information sur un sujet mais chercher à recouper des informations de sources différentes.

LES CONDITIONS ECOLOGIQUES DE L'AGRICULTURE

LA GRANDE DIVERSITÉ DES CLIMATS HAÏTIENS 27

Les pluies et les saisons 28

- Les alizés et la zone intertropicale de convergence 28
- Les mécanismes des pluies et leur répartition 29
  - les pluies orographiques ou effet de foehn 29
  - les orages liés aux vents locaux, aux brises de mer 30
  - les pluies de "nordé" 30
  - les dépressions tropicales et les cyclones 30
- De grandes variations dans le temps et l'espace 31
  - les pluies sont très variables d'une année à l'autre 31
  - les trois grands types de distribution saisonnière 32
- Des températures stables 33

Les régions climatiques 34

- La répartition spatiale des pluies 34
- Les huit régions climatiques 34
  - la région du nord 34
  - la région du nord-ouest 34
  - la Haute-Artibonite et le plateau central 35
  - la Basse-Artibonite 35
  - la région de Port-au-Prince et du cul de sac 35
  - la région du sud-est 35
  - le Sud-Ouest caraïbe 36
  - le Sud-Ouest jérémien 36

L'étude des composantes climatiques 37

- la température 37
- les précipitations 37
- l'humidité relative 38
- l'insolation 38
- le vent 38
- l'évaporation 38
- utilisation des données climatiques 39

NATURE ET DIVERSITÉ DES SOLS HAÏTIENS 41

Constitution physique, propriétés et comportement des sols 43

- Etudier la fraction minérale du sol 44
  - l'analyse granulométrique 44
  - propriétés des différents constituants minéraux du sol 44
  - la texture d'un sol 48
- Etudier la fraction organique du sol 52
  - origine et évolution de la matière organique d'un sol 52
  - propriétés de la fraction organique du sol 55
- Analyser le comportement physique d'un sol, étudier sa structure 56
  - qu'est-ce que la structure d'un sol 57
  - les différentes formes de structure 58
  - état et comportement d'un sol 60

La fertilité chimique d'un sol 64

- origine et nature des éléments minéraux 64
- Les échanges d'ions entre le complexe adsorbant et la solution du sol 65
  - des échanges permanents 65
  - maintien d'un équilibre entre le complexe adsorbant et la solution du sol 66
  - mesure de la CEC et du taux de saturation 66
  - le pH du sol et ses variations : échanges d'ions H^+ 67
- La dynamique des éléments nutritifs de base dans le sol 68
  - le pool alimentaire 68
  - les cycles des élements minéraux 69

Les sols haïtiens et l'agriculture 73

- La formation des sols et leur évolution 73
  - origine et évolution de la fraction minérale 75
  - condition de formation des argiles 76
- Les grands types de sols haïtiens dans le paysage 77

La grande diversité des climats haïtiens

Le climat est l'état de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Les *composantes climatiques* qui le caractérisent sont : la température, les précipitations, l'insolation, le vent, l'évaporation, l'hygrométrie...

Le climat agit directement sur la croissance et le développement des plantes tout au long de leur vie; ainsi chaque espèce ou variété a ses propres exigences climatiques. Nous verrons, en particulier dans le chapitre 7, comment les différentes composantes climatiques conditionnent la vie des plantes et les rendements des cultures.

Le climat agit aussi indirectement sur les plantes en modifiant l'état du sol et l'environnement biologique constitué des êtres vivants du sol et de l'atmosphère: micro-organismes, champignons, insectes, plantes... favorables ou défavorables aux cultures.

Le rôle important que joue le climat dans la formation et l'évolution des sols sera étudié dans le chapitre suivant portant sur la nature et la diversité des sols haïtiens.

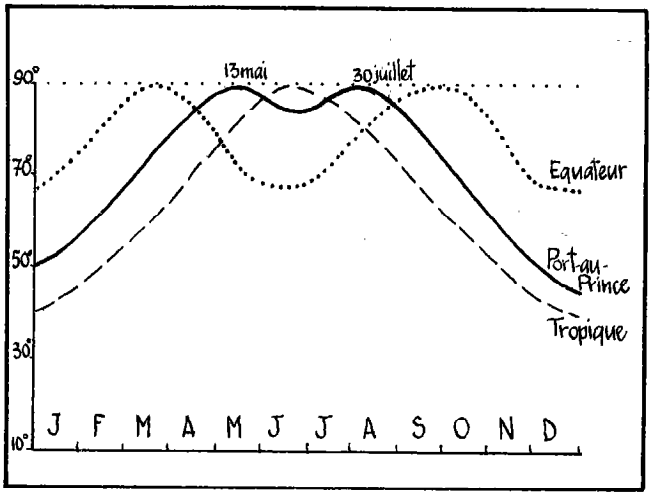
Comme nous l'avons observé à Camp-Louise, les conditions climatiques et, en particulier, la répartition des pluies déterminent en grande partie le rythme des semis, des sarclages, des récoltes.

*Nous verrons dans le chapitre 7 son influence sur les plantes cultivées.

Figure 12 : évolution de la hauteur du soleil à midi au cours de l'année, à Port-au-Prince, sous le tropique du Cancer et sous l'équateur.

Les habitants des régions comprises entre le tropique du Cancer (23° 27'N) et celui du Capricorne (23° 27'S) voient le soleil tantôt au sud, tantôt au nord, suivant la saison. Et, deux fois par an, le soleil passe exactement à la verticale (au zénith). A l'équateur, ces passages ont lieu aux équinoxes, les 21 mars et 23 septembre.

En Haïti, situé entre 18° et 20° de latitude nord, on voit le soleil environ 10 mois au sud et deux mois au nord (en juin et juillet). A Port-au-Prince, le soleil passe au zénith le 13 mai et le 30 juillet.
La longueur du jour* est beaucoup moins variable que dans les régions tempérées, elle varie de 10 h 54 à 13 h 12 à 19° de latitude nord (St Marc).



J	F	M	A	M	J
11h00	11h24	12h00	12h30	12h54	13h12

J	A	S	O	N	D
13h00	12h36	12h12	11h36	11h12	10h54

Figure 13 : durée théorique du jour à 19° de latitude Nord (position de la pointe Nord de l'île de la Gonave).

Les pluies et les saisons

Haïti est un pays tropical aux climats extrêmement variés : la pluviométrie moyenne est de 550 mm par an à Gonaïves et de 2000 mm aux Cayes, soit près de quatre fois plus. Certaines régions sont très marquées par la sécheresse, caractère parfois accentué par le déboisement de vastes zones et l'érosion.

LES ALIZÉS ET LA ZONE INTERTROPICALE DE CONVERGENCE

Plus ou moins à la verticale du soleil, se trouve une zone pluvieuse correspondant au point de rencontre des *alizés*, vents caractéristiques des régions tropicales qui se chargent d'humidité en parcourant les surfaces maritimes. Cette zone, appelée front intertropical (FIT), ou zone intertropicale de convergence (ZIC), suit le soleil dans son voyage aller et retour entre les deux tropiques.

Ainsi à Port-au-Prince, comme le montre la figure 14, les deux périodes les plus pluvieuses correspondent approximativement aux passages du soleil au zénith. Ceci explique le découpage de l'année en quatre saisons, courant dans toutes les

Antilles et particulièrement marqué à Port-au-Prince et dans le sud du pays :
• une grande saison sèche du mois de novembre au mois de mars; la zone intertropicale de convergence étant dans l'hémisphère sud ;
• une première saison des pluies du mois d'avril à la mi-juin correspondant au passage du soleil au zénith ;
• une petite saison sèche centrée sur le mois de juillet; la ZIC remontant vers le nord jusqu'au tropique du Cancer ;
• une seconde saison des pluies qui s'étale entre août et octobre, correspondant au retour de la ZIC vers l'équateur.

Figure 14 : chutes de pluies mensuelles et dates de passage du soleil au zénith à Port-au-Prince.

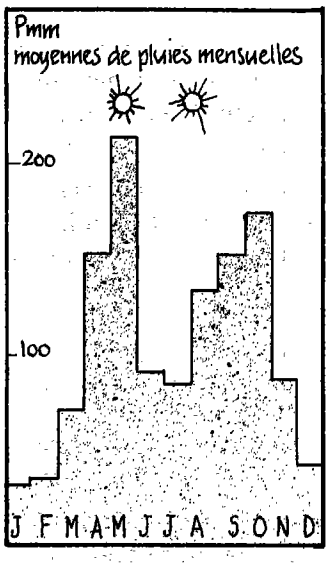
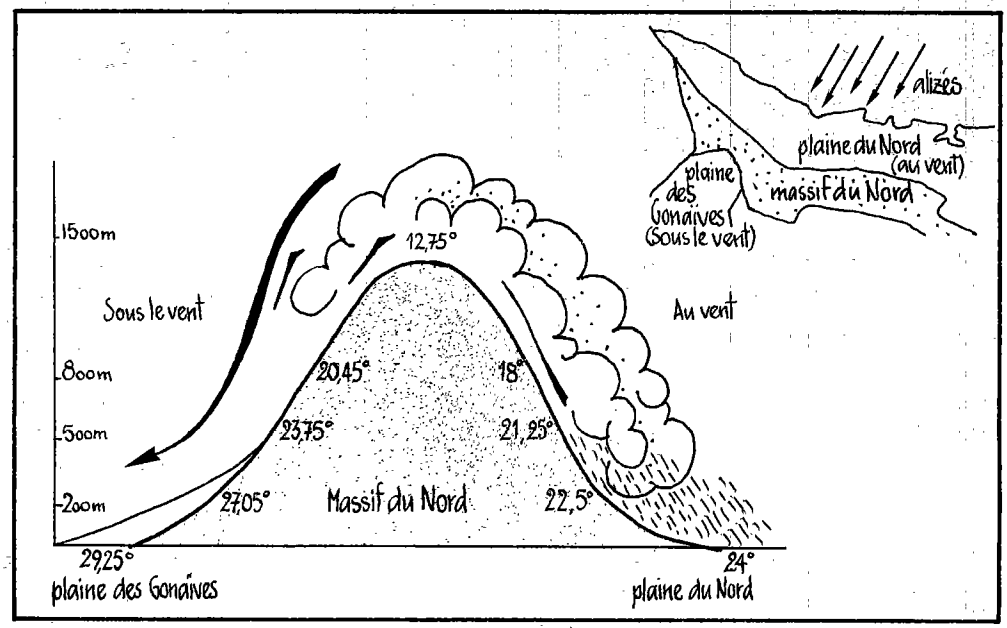


Figure 15 : l'effet de foehn, exemple du massif du Nord, entre la plaine du Nord (humide) et la plaine des Gonaïves (sèche) .



LES MÉCANISMES DES PLUIES ET DE LEUR RÉPARTITION

LES PLUIES OROGRAPHIQUES OU EFFET DE FOEHN

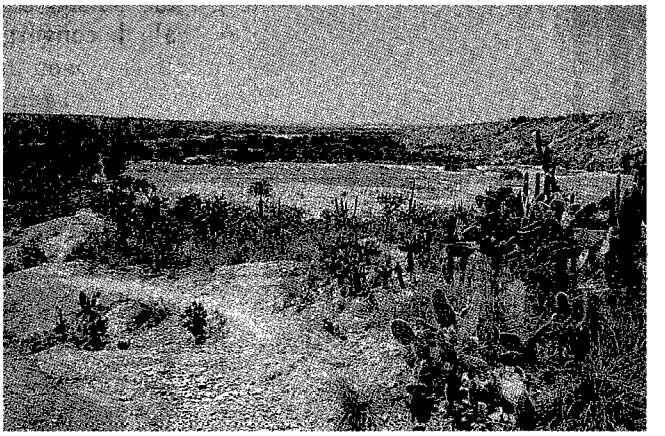
Explication du phénomène : les vents véhiculent des masses d'air humide souvent à la limite de l'instabilité. Lorsqu'elles rencontrent un relief suffisamment élevé, ces masses d'air subissent un refroidissement par élévation, ce qui provoque des précipitations sur le versant "au vent". A l'inverse, la descente de l'air sous le vent entraîne son réchauffement et donc la disparition rapide de la nébulosité et des précipitations (voir figure 15).

Les chaînes de montagne du pays sont globalement perpendiculaires à la direction des vents et ainsi les empêchent d'atteindre de la même manière toute les régions:
• les versants exposés *au vent* et les sommets des massifs sont les plus pluvieux,
• inversement, les versants *sous le vent* et les dépressions (vallées, bassins) représentent les zones les plus sèches.

Cette opposition est certainement la caractéristique majeure du climat haïtien. Elle explique par exemple que la pluviométrie annuelle soit de 2000 mm à Grison-Garde dans la plaine du Nord et seulement de 550 mm à Gonaïves, ces deux plaines étant séparées par un haut massif montagneux (le Massif du Nord).

Sur le versant *au vent* de la plaine du Nord, les masses d'air subissent une ascension forcée qui provoque une chute de température, des accumulations de nuages et de la pluie. Sur le versant *sous le vent* de la plaine des Gonaïves, les masses d'air subissent une descente forcée qui provoque une élévation de la température, la disparition plus ou moins complète des nuages et l'absence de pluies.





Paysage de plaine au vent, la plaine du Nord (2000 mm/an).

Paysage de plaine aride sous le vent, la plaine de Larbre (400 à 500 mm/an) (photos Michel Bonnefoy).

Quand il n'existe pas de montagnes suffisamment élevées pour contraindre les vents à s'élever, il n'y a plus d'*effet de foehn* et les faibles précipitations enregistrées ne créent pas d'opposition entre versants au vent et sous le vent. C'est le cas, par exemple, de la presqu'île du Nord-Ouest et de l'île de la Gonâve.

Le cas de la péninsule du Sud est original par le fait qu'il existe un équilibre, au long de l'année, entre les vents de nord-est et les vents de sud-est. Cet équilibre entraîne une symétrie de la pluviométrie moyenne annuelle de part et d'autre du relief orienté est-ouest.

LES ORAGES LIÉS AUX VENTS LOCAUX, AUX BRISES DE MER

Le jour, la terre se réchauffe plus vite que la mer. L'air chaud s'élève, créant un appel d'air en provenance de l'Océan : c'est la *brise de mer* qui a une intensité maximale dans l'après-midi. Ces brises, chargées d'humidité, provoquent dans les régions montagneuses de l'intérieur du pays des *orages locaux*. Ces orages se déclenchent en fin de journée, surtout durant les mois les plus chauds : juillet et août.

Ces pluies d'été font le lien entre la saison pluvieuse d'avril-juin et celle d'août-novembre. Ainsi, dans la région du Plateau-Central (en altitude) on n'observe que deux saisons, très contrastées:

- une grande saison pluvieuse du mois d'avril au mois d'octobre,
- une saison sèche très marquée de cinq mois, de novembre à mars.

LES PLUIES DE "NORDÉ"

De décembre à février, un vent de secteur nord appelé "nordé" (norte en espagnol, norther en anglais) souffle du continent nord-américain vers l'Amérique centrale et les Antilles.
Ce vent qui traduit l'intervention de l'air polaire se fait sentir essentiellement dans la région Nord d'Haïti. Son approche donne lieu à des brouillards et des pluies fines; son arrivée est marquée par le passage de lignes de grains (perturbations pluvieuses).
Ainsi, dans les régions du Nord et du Nord-Ouest, les mois de novembre, décembre et janvier sont les plus pluvieux alors qu'ils correspondent à la saison sèche dans le reste du pays (voir les graphiques pluviométriques de la figure 16).

LES DÉPRESSIONS TROPICALES ET LES CYCLONES

Les dépressions tropicales sont des zones perturbées et classées selon la vitesse des vents en *dépression, tempêtes* ou *cyclones*. Leur passage en quelques heures provoque des précipitations dont l'importance n'est pas liée directement à la vitesse des vents.
Les cyclones sont des événements plutôt accidentels. En Haïti, il en passe à peu près un tous les cinq ans. Leurs effets sont dévastateurs et certains d'entre eux, comme Allen qui a ravagé le Sud-Ouest d'Haïti en août 1980, atteignent une intensité exceptionnelle avec des vents de plus de 250 km/h. Les plus célèbres sont Hazel (octobre 1954), Flora (octobre 1963) et Ines (septembre 1966). La période des cyclones s'étend du mois d'août au mois d'octobre. Ils ne touchent en général que le sud du pays.

DE GRANDES VARIATIONS DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

LES PLUIES SONT TRÈS VARIABLES D'UNE ANNÉE À L'AUTRE

Les données pluviométriques présentées dans les graphiques de la figure 16 sont des moyennes établies sur plusieurs dizaines d'années. Ces moyennes cachent en fait des variations importantes d'une année à l'autre.

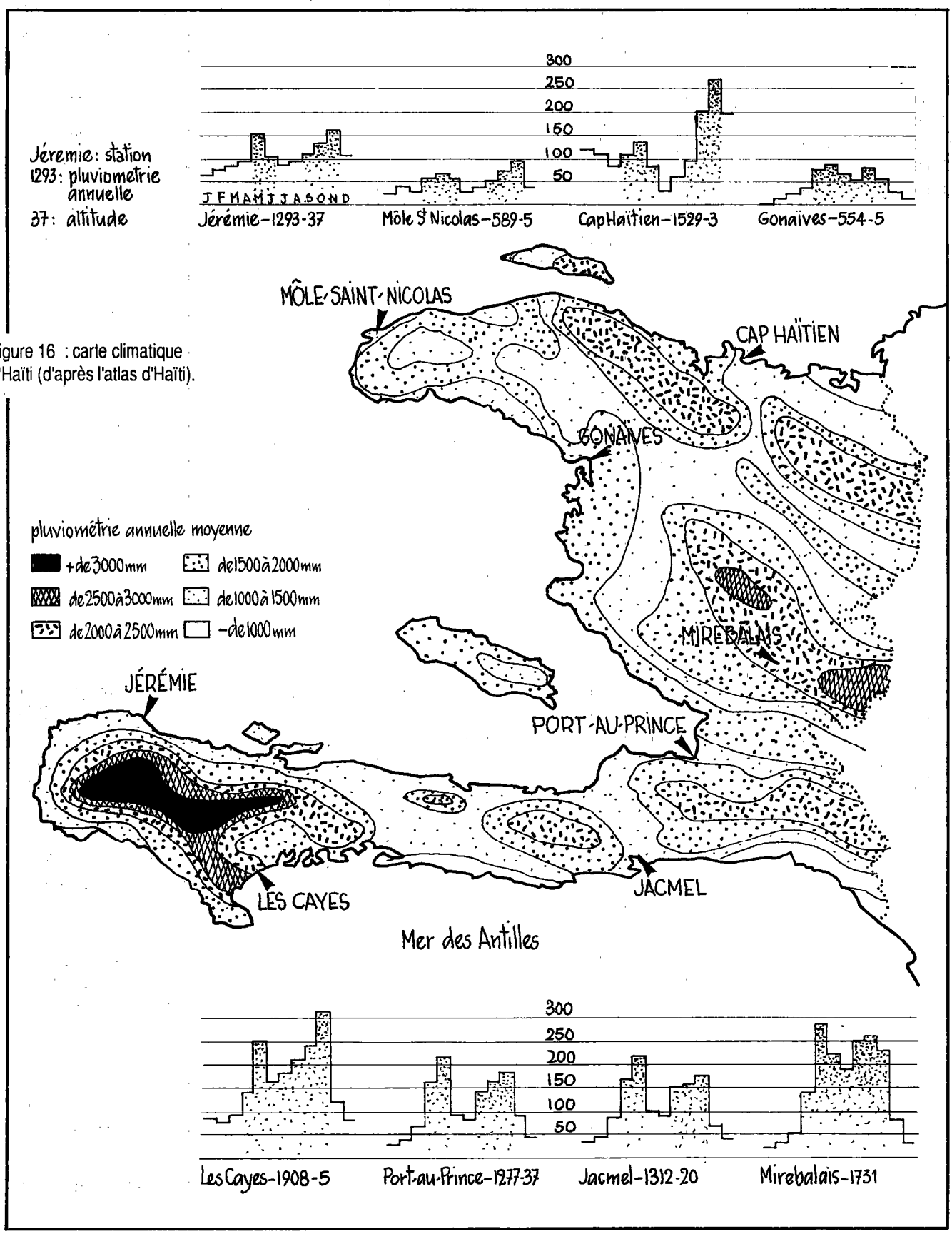


Figure 16 : carte climatique d'Haïti (d'après l'atlas d'Haïti).

Haïti est affecté par la sécheresse à peu près une année sur cinq. Les secteurs les moins pluvieux sont naturellement les plus touchés.
Deux sécheresses successives particulièrement catastrophiques ont été enregistrées en 1975 et 1976. Le Nord et le Nord-Ouest ont été frappés par la famine qui en a résulté. Cap-Haïtien n'a reçu en 1976 que 805 mm soit 53 % de la normale. La situation était pire à Port-de-Paix où la pluviométrie a été 50 % inférieure à la moyenne annuelle déjà faible.
Inversement, les années exceptionnellement pluvieuses sont très rares. Elles sont cependant plus fréquentes au Cap-Haïtien, ce qui traduit une plus grande variabilité pluviométrique pour les régions bien exposées *au vent.*

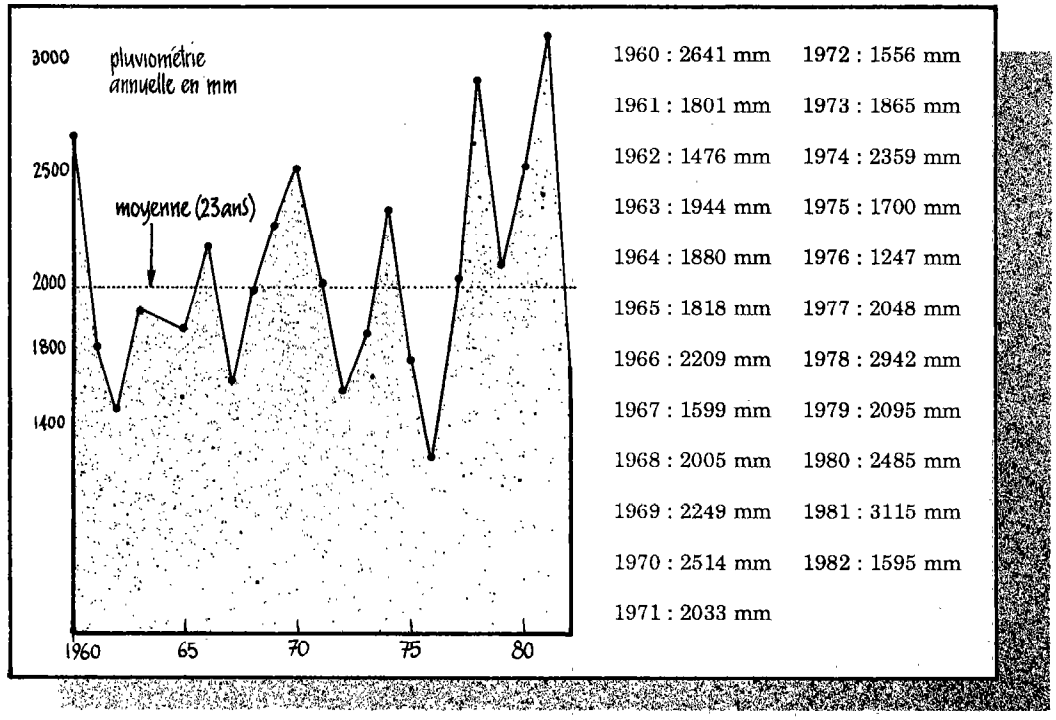


Figure 17 : variabilité inter-annuelle de la pluviométrie, exemple de la Plaine du Nord (Station de Grison-Garde).

LES TROIS GRANDS TYPES DE DISTRIBUTION SAISONNIÈRE

En Haïti comme souvent dans le monde tropical, les saisons se présentent sous la forme d'une *alternance* de périodes sèches et de périodes pluvieuses avec de faibles variations de température annuelle.
Selon les régions l'influence des alizés, des vents locaux et des fronts froids est plus ou moins marquée. La répartition des pluies dans l'année y est donc différente. On distingue ainsi trois grands types de distribution des saisons.

• **Dans tout le sud du pays,** en remontant jusqu'à la plaine du Cul-de-Sac, l'année se partage en quatre saisons pluviométriques : une première saison des pluies allant de mars-avril-mai à début juin, une petite saison sèche en juin-juillet et enfin une seconde saison pluvieuse entre août et octobre, cette dernière étant la plus arrosée de l'année (cf. pluviométrie de Port-au-Prince, Jacmel, Jérémie).

• **Dans les régions du Plateau Central et de l'Artibonite,** règne un climat à deux saisons très contrastées (voir les pluviométries de Mirebalais et des Gonaïves): une saison pluvieuse centrée sur l'été, d'avril-mai à octobre, et une saison sèche coïncidant avec l'hiver, de novembre à mars. On observe cependant une légère récession des pluies au milieu de la saison pluvieuse, au mois de juillet.

• **Dans le nord,** on observe une relative inversion des saisons par rapport à celles du type précédent. A Cap-Haïtien la période pluvieuse s'étend de septembre à juin avec un maximum pluviométrique en novembre-décembre et une récession en février-mars. Elle est suivie d'une courte saison sèche en juillet-août.

On observe un décalage des pluies entre le nord, le sud et le centre du pays. Les

mois les plus humides à Cap-Haïtien (novembre-décembre-janvier) correspondent à la saison sèche sur la plus grande partie du pays. Inversement, l'été qui est la saison sèche dans le Nord regroupe les mois les plus pluvieux dans la partie centrale.

Il faut souligner que le rythme des saisons est fortement perturbé certaines années. Une saison sèche peut avoir une durée anormale et réduire la saison pluvieuse qui la suit.
Cela arrive une fois sur deux entre la sécheresse hivernale (décembre à février) et les pluies de printemps qui sont alors plus tardives (mai). Dans ce cas les semis doivent être aussi retardés. S'ils sont réalisés trop tôt, à l'occasion d'une petite pluie précoce, ils échouent à cause de la sécheresse qui suit et il faut alors les refaire.
Il est en revanche plus rare que la sécheresse de juillet-août déborde sur la saison pluvieuse d'automne (septembre à novembre).

DES TEMPÉRATURES STABLES

En Haïti les températures varient très peu d'une saison à l'autre. La différence de température entre le jour et la nuit (*amplitude diurne*, de 10°C à 12°C) est bien plus grande que la différence entre le mois le plus chaud et le mois le moins chaud (*amplitude annuelle*, de 3°C à 4°C).

En revanche, les températures présentent de nombreuses et importantes variations dans l'espace en raison surtout des changements d'altitude. Ainsi, la température s'abaisse de un degré à chaque fois qu'on s'élève de 150 à 200 m.
La figure 18 résume bien l'ensemble des possibilités qu'on peut trouver en Haïti. La température annuelle moyenne varie entre 12°5 C à Seguin (Massif de la Selle) et 28°2 C aux Gonaïves, mais pour la plupart des stations elle oscille entre 23° et 27°C.
En gros, l'année comprend deux saisons thermiques : une saison très chaude de mars à novembre culminant en juillet-août et une saison moins chaude de décembre à février.

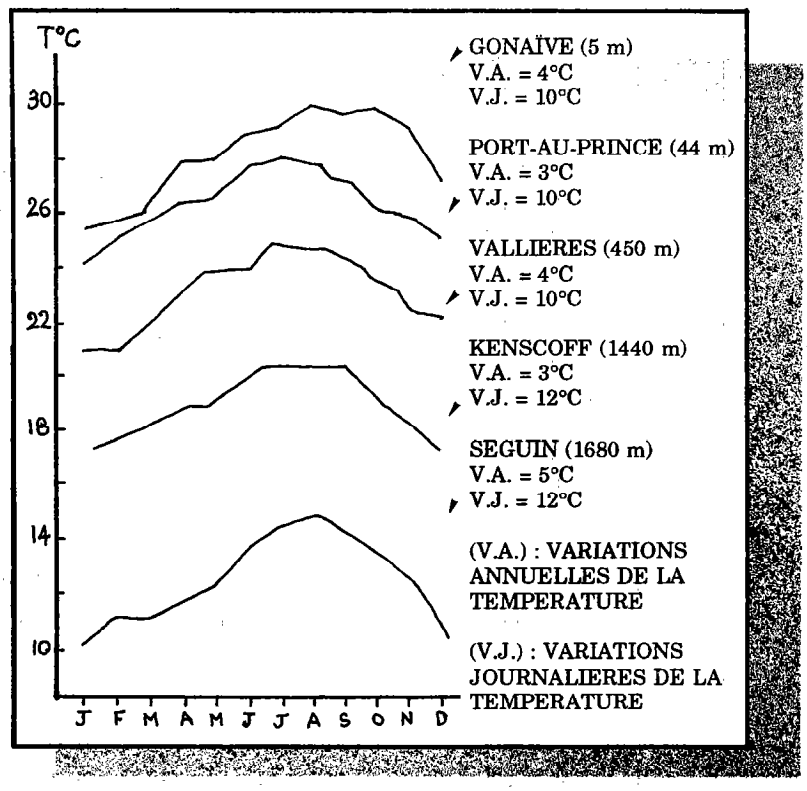


Figure 18 : courbes de températures moyennes mensuelles pour cinq stations d'altitudes différentes (d'après G. Anglade, Espace Haïtien).

Les régions climatiques

LA RÉPARTITION SPATIALE DES PLUIES

La carte pluviométrique (voir figure 16) montre du nord au sud une succession de bandes bien arrosées correspondant aux côtes et aux massifs montagneux exposés aux vents pluvieux, et de bandes sèches constituées par les dépressions et les côtes sous le vent.

Les zones les plus sèches sont la presqu'île du Nord-Ouest, la plaine des Gonaïves, la Basse-Artibonite et l'intérieur de la plaine de Cul-de-Sac qui forment une grande diagonale, mais aussi l'île de la Gonave, la région de Belle-Anse et la bande côtière d'Aquin/Côtes-de-Fer. Pour l'ensemble de ces régions les précipitations moyennes annuelles sont inférieures à 1000 mm. Environ le quart de la superficie d'Haïti reçoit moins de 1200 mm.
Les zones les plus arrosées (>1500 mm) correspondent aux massifs montagneux, puisque la pluviosité augmente avec l'altitude, et en particulier les versants exposés au vent. On peut citer du nord au sud: le massif du Nord et la plaine du Nord, les montagnes et le plateau du centre du pays, le massif de la Selle et l'ouest de la presqu'île du Sud.

LES HUIT RÉGIONS CLIMATIQUES

On peut diviser le pays en huit régions climatiques. Ce découpage traduit l'influence des différents facteurs climatiques qui viennent d'être présentés mais, au sein de chacune de ces régions, il existe de multiples nuances locales liées surtout à l'altitude et à l'exposition.

LA RÉGION DU NORD

Elle est délimitée vers l'intérieur par une ligne passant par Port-de-Paix, Plaisance, St-Raphaël et Mont-Organisé. Elle inclut la plaine du Nord, le massif du Nord et l'île de la Tortue.
L'année y est découpée en quatre saisons comme nous l'avons vu à Camp-Louise, avec une petite saison des pluies en avril-mai et une grande saison des pluies de septembre à décembre. Le mois le plus sec est le mois de juillet.
Les pluies sont plus abondantes à l'ouest de Cap-Haïtien et en particulier sur les sommets des massifs du Nord où on observe des orages l'été. La partie Est de la plaine du Nord est plus sèche (1120 mm à Ouanaminthe) car abritée des vents par les massifs montagneux de la République Dominicaine.
Il faut souligner enfin que cette région est l'une des moins touchées par les cyclones.

LA RÉGION DU NORD-OUEST

Elle est l'une des plus sèches du pays car elle est à l'abri des massifs du Nord et est de faible altitude. La pluviométrie moyenne est de 800 mm par an mais diminue

vers l'ouest jusqu'à 590 mm au Môle St-Nicolas où certaines années elle est inférieure à 300 mm. Il est difficile d'y distinguer des saisons en raison des faibles précipitations tout au long de l'année.

Figure 19 : précipitations moyennes mensuelles dans les huit régions climatiques

PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES

Région climatique	Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Région du Nord	Cap-Haïtien	123	115	88	106	139	88	32	62	97	206	278	195	1529
Région du Nord-Ouest	Môle-saint Nicolas	21	40	27	52	63	57	26	38	51	71	100	43	589
Basse-Artibonite	Gonaïves	3	12	14	33	87	89	75	63	84	63	23	8	554
Haute-Artibonite et Plateau central	Mirebalais	17	26	50	136	280	215	187	244	256	223	74	23	1731
Région de Port-au-Prince et du Cul-de-sac	Port-au-Prince	33	35	69	155	215	91	83	137	155	176	87	41	1277
Sud-Ouest jérémien	Jérémie	68	73	80	94	159	111	92	95	109	139	165	108	1293
Sud-Ouest caraïbe	Les Cayes	76	72	90	139	254	161	180	205	235	310	117	69	1908
Sud-Est	Jacmel	35	42	82	168	220	98	92	147	152	170	66	40	1312

LA HAUTE-ARTIBONITE ET LE PLATEAU CENTRAL

Cette région est entourée de massifs montagneux: les massifs du Nord au nord, les montagnes du Trou d'Eau au sud, la chaîne des Cahos à l'ouest et la Cordillère centrale dominicaine à l'est. On pourrait, du fait de cette situation, s'attendre à un climat sec. Pourtant, la pluviométrie moyenne est de 1500 mm par an et dépasse 2 m dans certains secteurs comme celui de Mirebalais par exemple. Le climat se caractérise par deux saisons très contrastées.
C'est la région la plus "continentale" du pays, peu marquée par les variations interannuelles et où l'amplitude thermique annuelle est la plus élevée.

LA BASSE-ARTIBONITE

La Basse-Artibonite, abritée des alizés par les massifs du Nord et les Montagnes Noires, est une région presqu'aussi sèche que le Nord-Ouest. La pluviométrie décroit d'est en ouest avec une moyenne de 520 mm par an à Gonaïves. Comme dans la Haute-Artibonite l'année comprend deux saisons.

LA RÉGION DE PORT-AU-PRINCE ET DU CUL-DE-SAC

Cette région, située entre les deux précédentes d'une part et le massif de la Selle d'autre part, englobe l'île de la Gonave. On y trouve la distribution classique en quatre saisons pluviométriques. Si les pluies d'avril sont liées à l'action de la brise de mer, celles d'automne découlent plutôt de l'arrivée des vents du sud-est.
De nombreuses nuances sont à souligner. Ainsi par exemple, la région de l'Etang Saumâtre ne reçoit en moyenne que 500 à 600 mm par an alors qu'on enregistre près de 3 m de pluies sur certains sommets du Massif de la Selle.

LA RÉGION DU SUD-EST

Située au sud de la région précédente, le Sud-Est est une région assez pluvieuse sauf dans la partie à l'Est de Belle-Anse. L'influence de la topographie y est décisive car, en dehors d'une mince plaine côtière, l'ensemble de la région est constitué par le versant sud du massif de la Selle qui reçoit uniquement les vents provenant de la Mer des Antilles.

On retrouve ici un climat à quatre saisons, les pluies tombant en avril-mai d'une part et en août-septembre-octobre d'autre part. La sécheresse d'été est peu marquée et la pluviométrie des mois d'hiver est assez médiocre. Les maxima pluviométriques s'observent sur les sommets où les totaux dépassent souvent 2 m. Enfin cette région est souvent touchée par les cyclones comme tout le sud d'Haïti.

LE SUD-OUEST CARAIBE

Le climat de cette région est assez confus. On peut y distinguer quatre saisons mais on s'accorde en général pour n'en retenir que deux : une période pluvieuse s'étalant d'avril à novembre avec une légère baisse des pluies en juin-juillet, et quatre mois secs (décembre à mars).
Le relief et la situation par rapport aux vents introduisent de nombreuses nuances dans le climat de cette région. La station typique est celle des Cayes où la pluviométrie moyenne est de 2010 mm par an avec des records de plus de 3 m certaines années.

LE SUD-OUEST JÉRÉMIEN

Cette région, légèrement abritée des vents pluvieux, a un rythme pluviométrique qui rappelle celui de la région de Port-au-Prince, mais avec des saisons moins contrastées. De nombreuses nuances climatiques locales pourraient être également soulignées ici.

L'étude des composantes climatiques

L'étude du climat d'une région est indispensable à l'agronome pour comprendre les systèmes de culture mis en place par les paysans, pour mettre en évidence les principaux problèmes qu'ils rencontrent et pouvoir proposer des améliorations techniques adaptées aux conditions locales.

Pour étudier le climat d'une région, on mesure régulièrement les valeurs de chacune des composantes climatiques en un lieu donné (enregistrements). On s'intéresse ensuite aux moyennes de ces valeurs sur des périodes de différentes durées, à leurs fréquences et leurs gammes de variation.
On cherche aussi à estimer la probabilité de réalisation d'un événement climatique et le comportement probable des cultures. Par exemple, combien de fois sur 10 ans la pluviométrie sera-t-elle favorable à un semis du riz pluvial entre le 1er et le 15 avril dans telle région ?

LA TEMPÉRATURE

La température météorologique est la température de l'air mesurée à 2 m de hauteur dans un abri météorologique.
La température moyenne journalière est estimée à partir des maxima et des minima enregistrés chaque jour à l'aide de thermomètres spécifiques :

• température moyenne journalière = $t = \frac{\hat{tx} + \hat{tn}}{2}$,

tx : température maximale journalière, tn : température minimale journalière.

• température moyenne mensuelle = $\frac{\hat{tx} + \hat{tn}}{2}$,

tx et tn étant les moyennes des températures minimas et maximas du mois.

LES PRÉCIPITATIONS

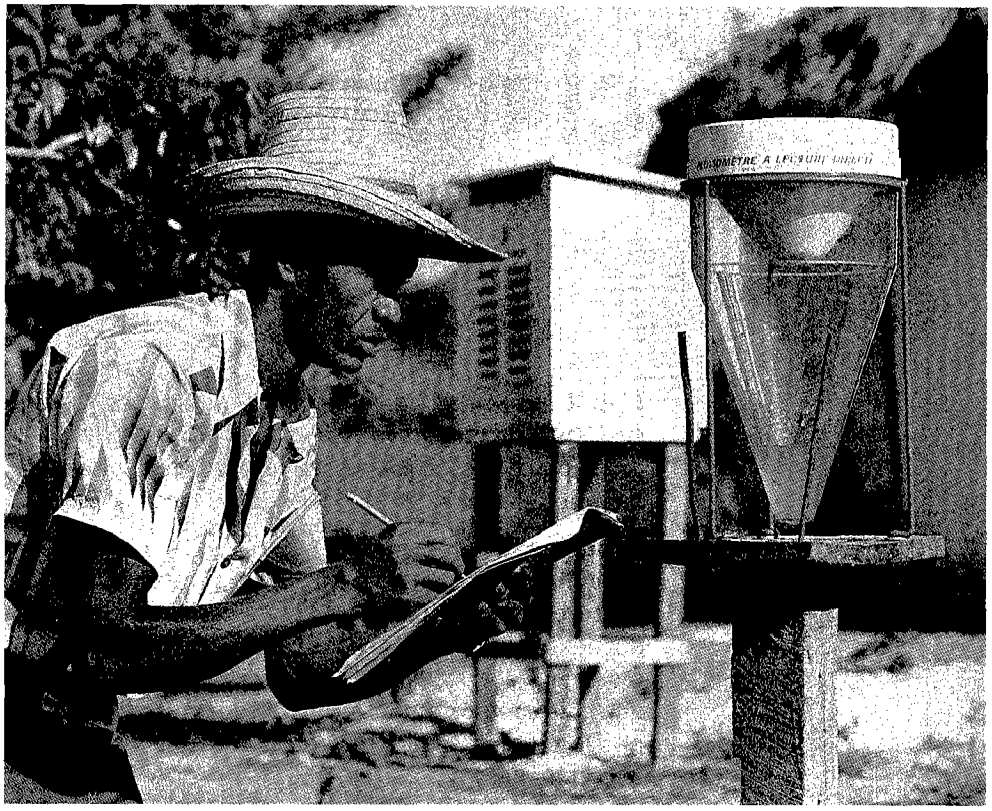
On mesure à l'aide d'un pluviomètre le volume d'eau tombé par unité de surface, traduit en hauteur d'eau (1000 m^3/ha = 100 mm).
• Le pluviomètre ne permet de mesurer que les hauteurs d'eau journalière.
• Le pluviographe enregistre la durée, l'intensité et la fréquence journalière des pluies.
La pluviométrie, c'est-à-dire les chutes de pluie, n'est qu'un élément des précipitations. La condensation (la rosée du matin), si elle demeure d'une importance quantitative très limitée, peut-être essentielle pour les plantes s'il n'y a pas d'autres sources d'eau. Ainsi, dans le sud du pays pendant les mois d'hiver froids et peu pluvieux, sur certains terrains, la condensation peut atteindre 3 mm par nuit claire, soit la moitié des besoins quotidiens de la plante.

La répartition des précipitations dans le temps est une caractéristique climatique

très importante. Les variations des quantités et des dates de pluies dans l'espace sont considérables de même que les variations inter-annuelles de la pluviométrie en un même point.
L'analyse de la pluviométrie dans une région (moyennes et fréquences) nécessite des données sur une longue période d'observation (20 à 30 ans).*

* Un exemple détaillé d'analyse fréquentielle est présenté à la fin du chapitre 9 p. 266.

Relevé de la pluviométrie journalière à l'aide d'un pluviomètre (photo G. de Laubier).



L'HUMIDITÉ RELATIVE

L'humidité relative de l'air (hygrométrie) est le pourcentage de vapeur d'eau qu'il contient par rapport à celle qu'il contiendrait à saturation à la même température. On la mesure à l'aide d'un hygromètre ou d'un psychromètre.

L'INSOLATION

* voir chapitre 7.

La radiation globale a une action directe par sa durée et son intensité sur les végétaux* .
On mesure la *durée d'insolation journalière* à l'aide d'un héliographe. On peut compléter cette information par l'estimation de la *nébulosité* (évaluation de la fraction du ciel couverte de nuages plusieurs fois par jour).

LE VENT

On mesure sa direction et sa vitesse à 2 m au dessus du sol. La vitesse en m/s est relevée plusieurs fois par jour à l'anémomètre instantané, ou de façon continue à l'anémomètre totaliseur.
Le vent a une importance considérable en agriculture : il augmente l'évaporation; il peut provoquer des dégâts aux cultures; il est responsable de l'érosion éolienne; il transporte du pollen, mais aussi des spores de parasites.

L'ÉVAPORATION

L'évaporation s'estime par différentes méthodes utilisant divers types d'appareil:
• les bacs d'évaporation (bac Colorado) permettent la mesure de la perte en eau d'une nappe d'eau libre,
• l'évaporomètre de Piche mesure la perte en eau d'une colonne d'eau obturée par une pastille de buvard,
• la mesure des variations de l'humidité du sol en l'absence de drainage et sur sol nu.
L'évapotranspiration potentielle (ETP) est étudiée dans le chapitre 9.

UTILISATION DES DONNÉES CLIMATIQUES

Il importe d'abord de définir l'échelle d'étude: pays, région, parcelle (micro-climat). Et il faut s'assurer de la représentativité du poste météorologique par rapport à la région que l'on étudie (relief, exposition, altitude). Il ne faut jamais oublier que certaines données (pluviométrie, température) varient très rapidement dans l'espace.

Les composantes climatiques sont ensuite analysées une par une ou de manière plus synthétique par l'étude d'indices tels que les sommes de températures ou les bilans hydriques*.

* voir chapitre 9.

On peut comparer les caractéristiques du climat d'une région avec ce que l'on connaît des exigences des cultures, ou avec le climat d'une autre région.
On distingue dans les effets du climat ce qui est favorable ou défavorable directement aux plantes et ce qui joue indirectement à travers les techniques culturales employées.

Pour interpréter des observations sur les cultures et les mesures de rendements, il est nécessaire d'avoir les valeurs des principales composantes climatiques (au minimum la pluviométrie locale) au cours de l'année considérée. Ces valeurs ne pourront être interprétées (année favorable ou défavorable pour la culture étudiée) que si l'on dispose de données sur un grand nombre d'années.

Nature et diversité des sols haïtiens

Qu'est-ce qu'un paysan attend de sa "terre"? Quand il y cultive du riz pluvial, par exemple, il attend :

- que le sol permette aux graines de bien germer,
- que l'état du sol favorise l'enracinement des jeunes plants,
- que le sol fournisse aux plantes la chaleur, l'eau et les éléments nutritifs dont elles ont besoin tout au long de leur cycle, du semis à la récolte.

L'état du sol évolue dans le temps sous l'action du climat, des plantes et des outils de travail utilisés par le paysan.
Dans les exemples d'itinéraires techniques décrits à Camp-Louise, nous avons remarqué que la plupart des techniques employées par les paysans, que ce soit pour une culture de riz ou de manioc, s'appliquaient directement au sol : préparation du sol à la houe - buttage - enfouissement de la matière organique, ou indirectement par le sarclage des mauvaises herbes.

Nous avons vu aussi que l'agriculteur, dans la mesure de ses possibilités, organise son *assolement* de façon à cultiver les différentes espèces dans les sols qui leur conviennent le mieux. Par exemple, il réserve ses terres les plus profondes et les plus fertiles aux bananiers et cultive les associations à base de manioc sur les pentes érodées des mornes.
La même association de cultures ne fournit pas le même montant de production selon qu'elle est pratiquée sur tel ou tel type de sol.
Chaque type de sol possède des contraintes et des atouts qui permettent des niveaux de rendement plus ou moins élevés selon les exigences des cultures ; on parle alors des *potentialités agronomiques* d'un sol.

Qu'est-ce qui détermine la potentialité agronomique d'un sol et comment peut-on l'apprécier ?
La diversité des sols en Haïti est grande et l'agronome doit être capable de s'adapter rapidement aux différentes situations. Sur une courte distance parcourue à pied, on peut rencontrer des types de sols très différents.

On peut caractériser le sol par :

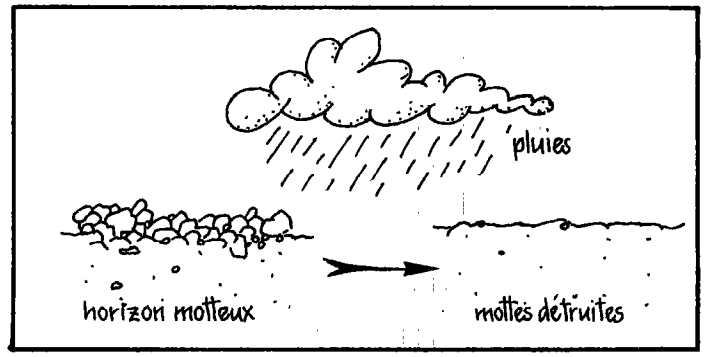


Profil pédologique, d'un vertisol peu profond sur calcaire (photo J. Cavalié).

- **sa situation** : sa topographie et son exposition (dans le fond d'une vallée, sur un plateau, au milieu d'une pente) ;
- **son aspect de surface** : sa couleur, la sensation qu'il produit au toucher (rugueux, farineux, collant...), la taille et la forme des mottes de terre ;
- **sa profondeur** : celle-ci peut varier de quelques centimètres à plusieurs mètres. Au sein d'un même champ, des variations du simple au double sont très courantes ;
- **son organisation spatiale** : l'observation d'une coupe de sol (sur le bord d'une route, en creusant une tranchée dans un champ) permet de distinguer les différentes couches (*horizons*) superposées qui le constituent. La nature et la répartition de ces différents horizons définissent ce qu'on appelle le *profil* du sol ;
- **la composition** physique et chimique de chacune de ces couches et l'activité biologique qui y règne ;
- **son comportement** sous l'action de facteurs tels que le climat ou les outils.

Par exemple : après un travail du sol à la houe, l'aspect de la surface du champ est motteux. Après quelques jours de pluie, son état a changé. Les mottes ont été détruites par les gouttes de pluie. Le comportement d'un sol dépend de sa composition physique et chimique. Ses caractéristiques déterminent son aptitude à produire et s'étudient de façon complémentaire par des observations de terrain et des analyses en laboratoire.

Figure 20 : destruction des mottes par la pluie.



Constitution physique, propriétés et comportement des sols

• Le sol est un milieu poreux de composition très complexe.
Si l'on pétrit de la terre humide dans sa main, on se rend vite compte que sa composition est complexe. En comparant ainsi des échantillons de terre pris à différents endroits ou différentes profondeurs, on s'aperçoit que leur composition est extrêmement variable. On y trouve, en proportions différentes, des particules de taille variable dont les plus fines, non visibles à l'oeil nu, forment une sorte de pâte plus ou moins collante et plus ou moins plastique.
Si l'on prend un peu de terre sèche, on remarque qu'elle se présente sous forme de mottes de tailles et de formes différentes. La difficulté d'écraser ces mottes entre ses doigts varie d'un échantillon à l'autre.
Quand on plonge une motte de terre dans l'eau, il s'en échappe des bulles. Le sol peut donc contenir de l'air ou de l'eau.

• Le sol est un milieu poreux dans lequel on distingue trois phases :

. une phase solide : constituée de particules minérales provenant de la dégradation des roches et de particules organiques provenant de la décomposition des végétaux ;

. une phase liquide : l'eau qui circule dans le sol y dissout les éléments solubles; c'est *la solution du sol* ;

. une phase gazeuse : l'air circule dans le sol et permet aux racines et à certains micro-organismes de respirer. Les gaz dégagés par les activités biologiques modifient la composition de l'atmosphère du sol.

L'importance relative de ces trois phases varie constamment (dans le cas par exemple d'un sol complètement sec, la phase liquide est nulle).
Le mode d'assemblage des constituants de la phase solide crée un milieu poreux dont les pores sont plus ou moins comblés d'eau ou d'air.

• La nature des constituants solides du sol permet de faire une première classification:
. la fraction minérale du sol, issue de la dégradation des roches en particules plus ou moins fines et de leur altération (modification chimique).
. la fraction organique, qui provient de la décomposition des végétaux par les micro-organismes. Elle peut représenter entre 1% et 20% du poids de terre sèche.
Nous étudierons successivement ces deux fractions.

ETUDIER LA FRACTION MINERALE DU SOL

L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

L'analyse granulométrique sert à classer les différentes particules de la fraction minérale du sol selon leur *taille* et à déterminer le pourcentage de chaque fraction. Elle permet ainsi de déterminer, à partir d'un échantillon de terre, sa *composition granulométrique.*

Après avoir séché la terre et écrasé les mottes, on passe l'échantillon au travers d'un tamis à trous ronds de 2 mm. On élimine ainsi les cailloux, graviers et gros débris végétaux et on obtient la *terre fine* sur laquelle porte l'analyse.

La matière organique est ensuite détruite par de l'eau oxygénée.
Les différentes particules constituant la terre fine sont classées selon leur taille.

Figure 21 : classes granulométriques retenues par les méthodes internationales (1 micron = 1/1000 mm).

Appellation	Diamètre limite des particules	
Argile	0 à 2 microns	TERRE FINE
Limons totaux : • fins • grossiers (ou sable très fin)	 2 à 20 microns 20 à 50 microns	
Sables : • fins • grossiers	 50 à 200 microns 200 microns à 2 mm	
Graviers	2 - 20 mm	ELEMENTS GROSSIERS
Pierres	> 2 cm	

Mais les particules se trouvant dans une même classe peuvent être de *nature minéralogique* différente, car d'origine différente, selon :
- les roches dont elles sont issues,
- le mode d'altération qu'elles ont subi (décomposition chimique).

Il sera donc important, en plus de l'analyse granulométrique, de connaître la nature de ces particules et notamment leur comportement chimique d'où découlent certaines propriétés du sol.

PROPRIÉTÉS DES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS MINÉRAUX DU SOL

Les constituants solides du sol ont des propriétés qui dépendent en grande partie de leur *taille,* mais aussi de leur nature (comportement physico-chimique).
Ainsi par exemple, les sables grossiers n'adhèrent pas facilement les uns aux autres et, s'il y en a beaucoup, le sol est perméable ou "filtrant". Si, en revanche, les éléments fins sont majoritaires, ils constituent lorsqu'ils sont humides une masse plus ou moins continue, le sol est alors moins perméable.

On distingue les argiles de l'ensemble des autres constituants du sol :
- les argiles forment la *partie active* d'un sol,
- les limons et les sables forment sa *partie inerte* ou encore son "*squelette*"

Cette distinction s'explique par les particularités des argiles et les propriétés qu'elles confèrent au sol.

Propriétés spécifiques des argiles

A l'appellation "argile" correspondent dans la pratique plusieurs définitions qu'il est important de bien distinguer :

argiles granulométriques : c'est l'ensemble des particules minérales du sol dont la taille est inférieure à 2 µm et donc classées dans les "argiles" par l'analyse granulométrique ; mais elles peuvent être de natures très différentes :

- minéraux provenant de la *fragmentation* des roches, appelés minéraux primaires(silice-quartz-calcaire...),
- minéraux provenant de l'altération chimique des roches : argiles minéralogiques (montmorillonite, illite, kaolinite); oxydes de fer et d'aluminium.

argiles minéralogiques : ce sont aussi des particules de taille inférieure à 2 µm mais de nature spécifique. Elles sont issues de la transformation chimique (altération) des minéraux constitutifs des roches. C'est leur composition chimique (silicates d'alumine hydratés) et leur structure en feuillet qui leur donnent des propriétés particulières (cf. encadré).



Fentes de retrait en saison sèche dans les vertisols riches en argiles gonflantes (photo G. de Laubier)

Propriétés des argiles minéralogiques

- **Propriétés hydriques :** rétention d'eau, variation de volume.

La structure en feuillets extrêmement fins donne à l'argile la capacité de stocker une importante quantité d'eau. Selon leur teneur en eau, ces minéraux présentent des variations de volume :

- en phase *d'humectation* (augmentation de la teneur en eau), l'argile gonfle,
- en phase de *dessiccation* (diminution de la teneur en eau), l'argile se rétracte.

Au niveau d'un sol, cela se traduit par la formation de fissures en période sèche. Cette propriété concerne surtout les argiles de type montmorillonite (argiles gonflantes). Elle concerne très peu la kaolinite (celle-ci sert à la fabrication des poteries et si elle changeait de volume, les poteries se fissureraient à la cuisson). Une terre riche en argile pourra stocker une grande quantité d'eau.

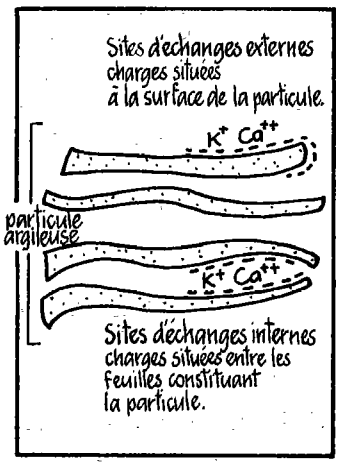
- **Propriétés physico-chimiques :** rétention d'ions, dispersion et floculation.

Les particules argileuses, de par leur composition, possèdent des charges électriques capables de retenir les ions présents dans le sol.

Ces charges sont essentiellement négatives et retiennent donc principalement les ions positifs ou cations (par ex. K^+, Ca^{++}, H^+).

Les argiles jouent ainsi un rôle essentiel de stockage d'éléments minéraux nécessaires à la plante. (Cf. fig. 22).

Figure 22 : rétention des cations par une particule d'argile



Pour être disponibles pour les plantes, ces éléments minéraux (cations) doivent être libérés et passer sous forme dissoute dans la solution du sol (eau).

Le nombre de cations que peut retenir (adsorber) une particule d'argile représente sa *Capacité d'Echange Cationique,* notée CEC. Celle-ci dépend du nombre de charges électronégatives que présente la particule. Elle varie selon le type d'argile et est particulièrement importante pour la montmorillonite.

Les particules d'argiles possèdent aussi quelques charges positives leur permettant de retenir des anions, en particulier PO_4^{---}, mais en très faible quantité.

Les particules d'argile étant toutes chargées négativement, elles ont tendance, dans l'eau, à se repousser entre elles. Elles seront donc à l'état *dispersé* en suspension dans l'eau. Si l'on introduit dans cette suspension d'argile un acide qui libère des ions H^+ ou un sel de calcium libérant des ions Ca^{++}, ceux-ci s'accolent aux particules d'argile et les neutralisent. Les micelles d'argiles s'agglutinent alors entre elles : c'est la *floculation.*

L'argile floculée maintient soudés les différents constituants d'un sol sous forme d'agrégats (mottes).

Au contraire, l'argile dispersée se mélange à l'eau et peut être entraînée par le ruissellement ; elle rend le sol compact et asphyxiant pour les racines.

Un sol dont l'argile est floculée est relativement perméable ; il devient imperméable lorsqu'elle est dispersée (problème d'érosion).

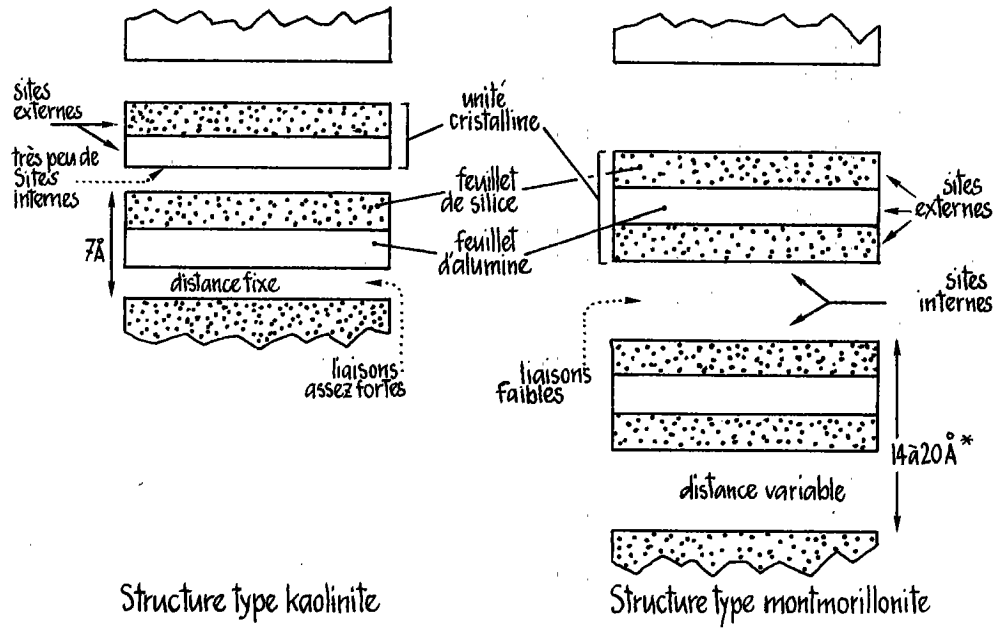
LES PROPRIETES DES ARGILES MINERALOGIQUES SONT DUES A LEUR CONSTITUTION

Les argiles sont des *silicates d'alumine hydratés*, cristallisés en forme de feuillets. Certains feuillets sont constitués de *silice* (atomes de silicium entourés d'atomes d'oxygène), d'autres d'*alumine* (atomes d'aluminium entourés d'atomes d'oxygène et de groupements OH). Une particule d'argile est constituée de plusieurs feuillets superposés et s'appelle une *micelle*.

Une classification de ces minéraux est réalisée en considérant la constitution des feuillets (surtout le rapport Si/Al) et leur mode d'association (distance entre les feuillets). Les trois principaux types d'argiles couramment rencontrés dans les sols sont la *kaolinite*, *l'illite* et la *montmorillonite* (cette dernière faisant partie des *smectiques*).

Les propriétés des argiles s'expriment de façon plus ou moins importantes selon leurs structures.

Structure des feuillets de 2 types d'argile



Angström : unité de mesure de longueur d'onde et des distances atomiques et valant 10^{-10} mètre.

Comparaison des propriétés de trois types d'argile.

type d'argile minéralogique	rétention des cations (CEC)	rétention d'eau	variation de volume humide/sec
kaolinite	faible	moyenne	faible
illite	moyenne	moyenne	moyenne
montmorillonite	forte	forte	forte

• **Propriétés mécaniques** : plasticité-adhésivité-cohésion

Plasticité : c'est l'aptitude à être modelé, à recevoir une déformation permanente. C'est cette propriété qui est utilisée en poterie (kaolinite). Un sol contenant de l'argile devient plastique à partir d'une certaine teneur en eau.

Adhésivité : c'est l'aptitude d'une terre à rester collée aux doigts ou aux outils. L'adhésivité de l'argile est forte; *elle augmente avec l'humidité,* jusqu'à un maximum au delà duquel elle décroît. On parle aussi parfois d'adhérence.

Cohésion : elle correspond à la force qu'il est nécessaire d'appliquer sur une motte

pour provoquer son fractionnement. La cohésion entre les particules d'argile est forte. Plus une terre est riche en argile, plus il est difficile d'en casser les agrégats. *La cohésion diminue quand l'humidité augmente.*

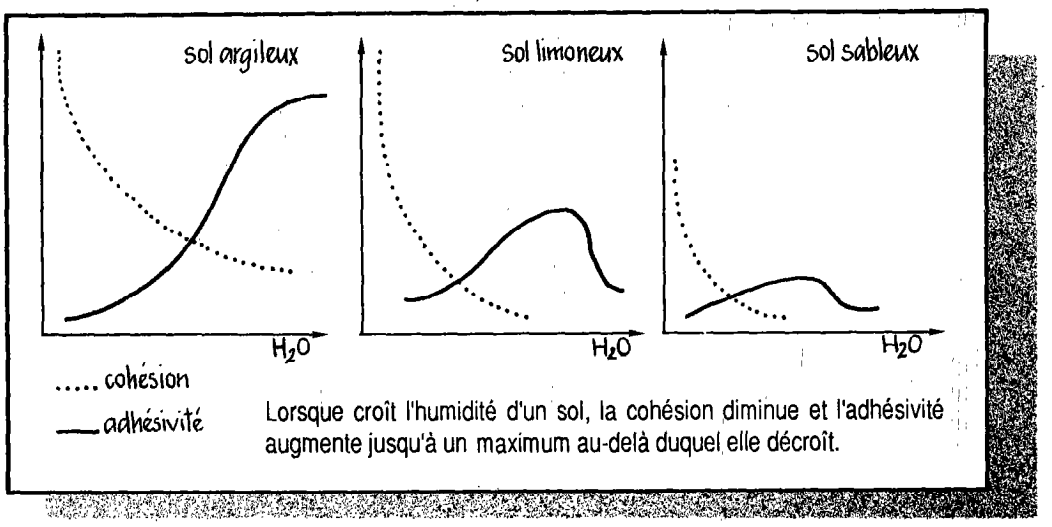


Figure 23 : la cohésion et l'adhésivité dépendent de l'humidité du sol (d'après Henin. Le profil cultural, Masson 1970).

Propriétés des argiles granulométriques

• Les minéraux provenant de la fragmentation des roches se comportent comme des limons très fins (voir plus loin).
• Les hydroxydes de fer et d'aluminium sont chargés positivement et peuvent ainsi retenir les anions (PO_4^{---} par exemple). Ils jouent donc aussi un rôle dans le stockage des éléments nutritifs de la plante. Ils existent en quantité importante dans certains types de sols haïtiens. Comme l'argile, ils peuvent être floculés ou dispersés.

Propriétés des limons et des sables

Les limons, les sables et les éléments grossiers proviennent de la désagrégation des roches. Ce sont donc soit des fragments de roches (pierres, graviers), soit des minéraux qui constituaient ces roches (limons et sables). Ils constituent ce qu'on appelle le squelette du sol.
Les limons et les sables ne représentent pas de phénomène de gonflement ou de retrait et ne sont pas plastiques à l'état humide.
Seuls les limons fins peuvent présenter une certaine capacité de rétention d'eau et éventuellement d'ions (mais beaucoup plus faible que celle de l'argile).

Les limons
Les limons sont peu perméables : ces éléments fins n'étant pas capables de floculer, ils sont facilement mélangés à l'eau de pluie et peuvent être entraînés par le ruissellement.
Dans un sol constitué essentiellement de limons, les mottes de terre sont très facilement détruites par la pluie. La surface du sol devient alors compacte et imperméable, ce qui peut poser des problèmes de germination des grains, d'enracinement et d'asphyxie des plantes : c'est la *battance*. On dit d'un sol sensible à ce phénomène qu'il est *battant*. Lorsqu'ensuite il sèche, il devient très dur et compact, c'est la *prise en masse*.
Un sol limoneux (riche en limons) peut présenter une cohésion très forte à l'état sec mais elle diminue très vite dès que l'humidité augmente. Son adhésivité est faible. (voir figure 23)

Les sables
Les sables sont très perméables. Leur capacité de rétention d'eau est très faible, sauf pour certains sables calcaires poreux. Ils sont rugueux et peuvent user les outils de travail du sol. Ils n'ont aucune cohésion, ni adhésivité, ni plasticité.
Dans les sols basaltiques, ils peuvent jouer un rôle important : lorsqu'ils s'altèrent

(se décomposent chimiquement), ils sont source d'éléments minéraux assimilables par les plantes.

Particularité des éléments calcaires

Ils peuvent faire partie des différentes classes granulométriques. Certaines méthodes d'analyse utilisent l'acide chlorhydrique pour disperser les éléments fins. Les particules calcaires sont alors dissoutes. D'autres méthodes utilisent le KCl qui ne les dissout pas. Leur comparaison permettra de connaître la répartition de particules calcaires dans les différentes classes granulométriques.
Le calcaire joue un rôle important dans les propriétés physiques et chimiques d'un sol. Les ions Calcium (Ca^{++}) provoquent la floculation des argiles, au point qu'en excès il devient très difficile de faire une analyse granulométrique. Ils ont aussi pour effet de réduire fortement la disponibilité du phosphore (P_2O_5).
Certains limons ou sables calcaires poreux peuvent jouer un rôle dans la capacité d'un sol à retenir l'eau.

Figure 24 : récapitulatif des propriétés des différentes fractions granulométriques.

Propriétés	**Argiles** (1) (0 -2 µ)	**Limons** (0 - 20 µ)	**Sables** (50 - 200 µ)
Rétention d'eau	Forte	Moyenne	Faible à nulle
Variation de volume à l'humectation dessication	Forte à faible	Nulle	Nulle
Plasticité et adhésivité à l'état humide	Très forte	Faible	Nulle
Cohésion à sec	Très forte	Nulle à faible	Nulle
Cohésion à l'état humide	Assez forte	Nulle à très faible	Nulle
Rugosité	Nulle	Nulle	Forte
Rétention	Forte	Très faible	Nulle

(1) Variable selon la nature minéralogique des argiles

LA TEXTURE D'UN SOL

Les propriétés d'un sol résultent de celles de ses différents constituants et de leur importance relative, elles dépendent donc en grande partie de sa composition granulométrique.
La texture est l'ensemble des propriétés qui résultent d'une composition granulométrique donnée. Elle permet de porter un jugement global sur un sol. Dans la pratique, on assimile souvent la *texture* d'un sol à sa *composition granulométrique*, mais il faut se rappeler qu'à une même texture correspond de nombreuses compositions granulométriques.

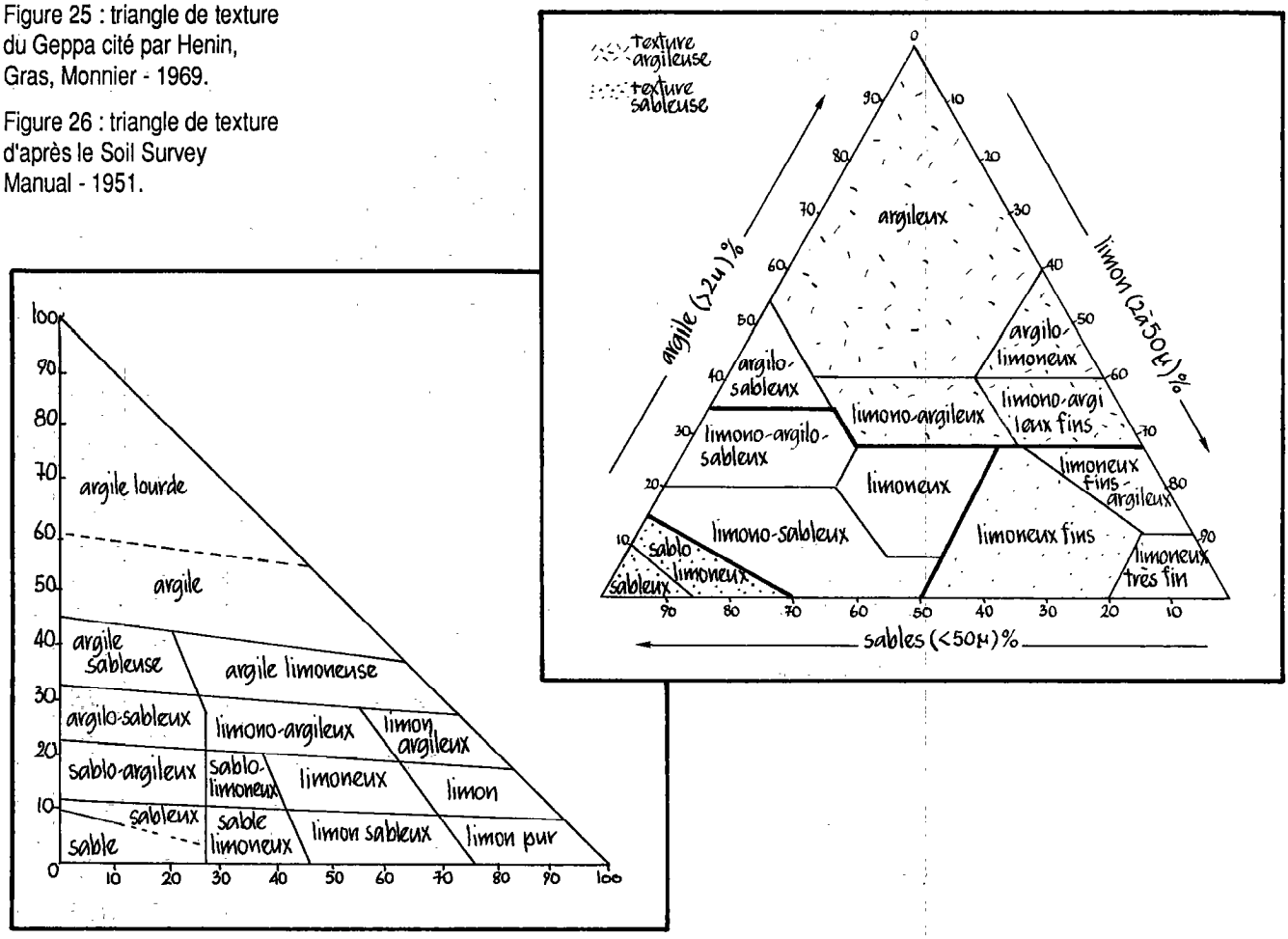
Le triangle textural

Le triangle textural permet une identification graphique des textures issues des compositions granulométriques possibles des sols. Elle est basée sur la proportion de : sables (de 50 µ à 2 mm); limons totaux (de 2 µ à 50 µ) ; argiles (< 2 µ).
La somme de leurs pourcentages respectifs pour un sol est égale à 100%. Le triangle est construit de telle façon qu'à chacun de ses points correspond une

composition granulométrique précise (cf. figures 25 et 26). Il est divisé en *"classes de texture"* auxquelles correspondent une appellation. Par exemple, un sol qui est constitué de plus de 60% d'argile correspond à une *"texture d'argile"*. Un sol composé de 25% d'agile, 40% de limons et 35% de sable a une *"texture limono-argilo-sableuse"*.
Les limites entre ces classes et les appellations sont légèrement différentes entre les triangles français et américains. Le mode de représentation graphique est aussi différent.

Figure 25 : triangle de texture du Geppa cité par Henin, Gras, Monnier - 1969.

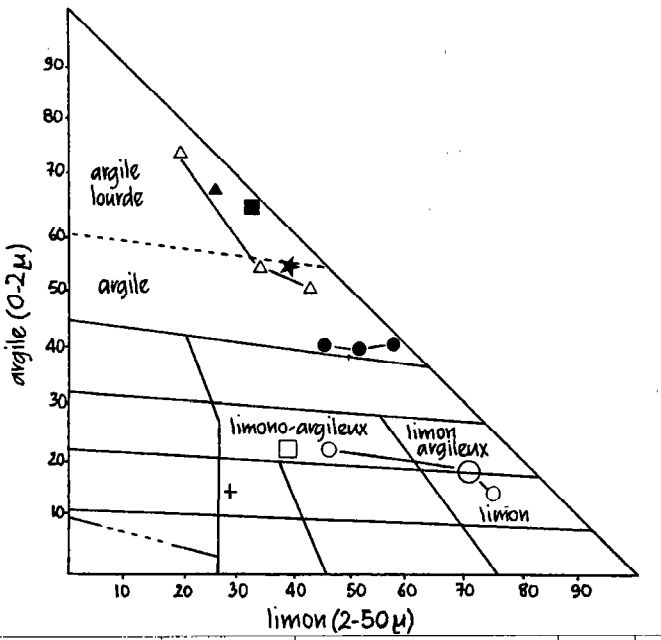
Figure 26 : triangle de texture d'après le Soil Survey Manual - 1951.



Utilisation et limites

- Le triangle textural permet de prévoir le comportement global d'un sol grâce à sa composition granulométrique, mais cela ne doit être qu'un élément complémentaire aux observations réalisées sur le terrain.
- Il permet de comparer des sols entre-eux de manière plus objective que par des observations de terrain.
- Les rôles de la matière organique et du taux de calcaire (voir plus loin) ne sont pas pris en compte.
- Il n'est pas tenu compte de la nature minéralogique des divers constituants du sol, notamment des argiles.

Figure 27 : exemple d'utilisation du triangle textural pour quelques sols haïtiens ; échantillons de terre prélevés entre 0 et 10 cm.



	type de sol	situation topographique	argile	limon	sable	M.O	
Sols du versant Nord de la presqu'île Sud (transect Madian-Salagnac)	Sols rouges bauxitiques	Colluvions sur piedmont calcaire	39	54	7	5,8	●
			39	48	13	2,5	●
			40	56	4	4,7	●
		Milieu de pente sur calcaire érodé	23	45	32	5,2	○
			13	75	12	10,0	○
			18	72	10	5,0	○
	Vertisols	bas de pentes calcaire	49	42	9	7,9	△
		bas de pentes basalte	53	34	13	2,7	△
		bas de pentes calcaire	70	26	4	5,5	△
Sols du périmètre irrigué de St Raphaël (Plateau Central)	Sol peu évolué d'apport alluvial		25	42	33	3,4	□
	Rendzine		54	39	7	5,3	★
	Sol brun calcaire		60	36	4	4,8	■
	Vertisols hydromorphes		65	29	6	5,3	▲
Sols sablo-limoneux d'alluvions (Plaine de Larbre)			16	28	56	2,7	+

APPRECIATION DE LA TEXTURE SUR LE TERRAIN

On utilise les différentes propriétés des constituants solides du sol et en particulier la plasticité de l'argile.
Ce diagnostic tactile de la texture donne des indications qui peuvent expliquer les autres observations réalisées sur un profil cultural (voir chapitre 10), notamment les états structuraux observés à différentes périodes. Il permet aussi de plus ou moins prévoir ou expliquer le comportement de certains sols (battance, stabilité structurale...).

• Lors de la réalisation d'un anneau avec le boudin :
- si l'anneau est facilement réalisable, la teneur en argile est supérieure à 30%. Si, de plus, la terre très humide est très collante aux doigts, elle contient au moins 40% d'argile ;
- si l'anneau se fissure aux 3/4 de sa fermeture, la teneur en argile est inférieure à 30% et la terre contient plus de limon que d'argile ;
- si l'anneau se fissure avant la 1/2 fermeture, le taux d'argile est inférieur à 30% et la teneur en limon est égale ou légèrement supérieure à celle de l'argile.

Très humide, si la terre colle encore aux doigts, elle contient 15% à 25% d'argile ; si elle sèche rapidement et ne colle pas, elle contient 10% à 15% d'argile.

2) Aspects de la terre sèche au toucher
. Soyeux ou talqueux : abondance de limons fins (2 à 20 µ). Ceux-ci salissent la main, mais cela peut être aussi le signe de la présence d'oxydes ferriques (sols ferralitiques).

1) Essai de réalisation d'un anneau de terre
• On prend entre ses mains un peu de terre que l'on amène à son humidité maximale d'absorption, à laquelle elle est le plus plastique.
• On essaie de réaliser ensuite, un boudin d'environ 5 mm de diamètre et de 10 cm de long:
- si cela est impossible, il y a moins de 10% d'argile ;
- si cela est réalisable, il y a plus de 10% d'argile
et on essaie alors de faire un anneau.

. Savonneux : abondance de limons grossiers (20 à 50 µ).
. Rugueux : sables grossiers.

Remarques
• Lorsqu'une terre riche en argile est sèche, il est difficile de faire ce test, car elle s'humecte lentement. Il est difficile de l'homogénéiser et on peut alors confondre des petits agrégats très durs avec des sables grossiers.
• La présence de beaucoup de matière organique peut conduire à assimiler son comportement à celui d'une terre riche en argile ou limons fins.
• La présence de sables grossiers rend plus difficile ce test.
• Des terres peuvent être diagnostiquées comme riches en argile par l'analyse et ne pas en avoir le comportement. Cela est fonction de la nature minéralogique des argiles : les hydroxydes de fer et d'aluminium qui sont dominants en sol ferralitique se comportent comme des limons très fins bien que classés dans les argiles par l'analyse granulométrique.

ETUDIER LA FRACTION ORGANIQUE DU SOL

La fraction organique joue un rôle très important dans le comportement d'un sol, l'alimentation minérale des plantes et le stockage de l'eau.

ORIGINE ET ÉVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE D'UN SOL

Elle provient principalement de la décomposition des résidus végétaux et animaux morts par les micro-organismes vivant dans le sol. Sa composition est variable, principalement constituée de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et d'azote mais aussi de phosphore, de potassium, de calcium, de soufre et d'oligo-éléments.
La décomposition des matières organiques fraîches se déroule en différentes phases successives, de durées plus ou moins longues et dont l'aboutissement est la formation d'*humus*.
Au cours de cette décomposition, une partie des matières organiques est transformée en éléments minéraux: c'est la *minéralisation*. L'humus se minéralise aussi, mais beaucoup plus lentement que les matières organiques fraîches.
Les matières organiques présentes dans un sol sont plus ou moins décomposées et on peut les classer selon leur stade d'évolution.

• *Les matières organiques libres (ou fraîches)* : ce sont les résidus de culture, les racines, les feuilles d'arbres, les déjections animales, déposés sur le sol ou enfouis et les corps microbiens. Elles sont peu évoluées et le plus souvent encore visibles, car *non liées* à la matière minérale du sol. Elles correspondent aux matières organiques qu'on isole facilement en laboratoire (par sédimentation).

• *L'humus :* c'est la forme la plus évoluée et la plus stable des matières organiques. Il constitue de ce fait l'essentiel du stock de matière organique du sol. Il se transforme lentement en éléments minéraux, 1% à 10% du stock d'humus est minéralisé chaque année dans les sols tropicaux.

• *Les produits transitoires :* ce sont toutes les substances issues d'une première décomposition rapide des matières organiques libres et qui évolueront ensuite en partie pour donner de l'humus.

L'humus et les produits transitoires constituent ce qu'on appelle les *matières organiques liées* car elles sont étroitement associées aux constituants minéraux du sol, plus particulièrement aux argiles. Dans un sol, la matière organique existe à tous les stades d'évolution, l'humus représentant la fraction la plus importante en conditions normales.

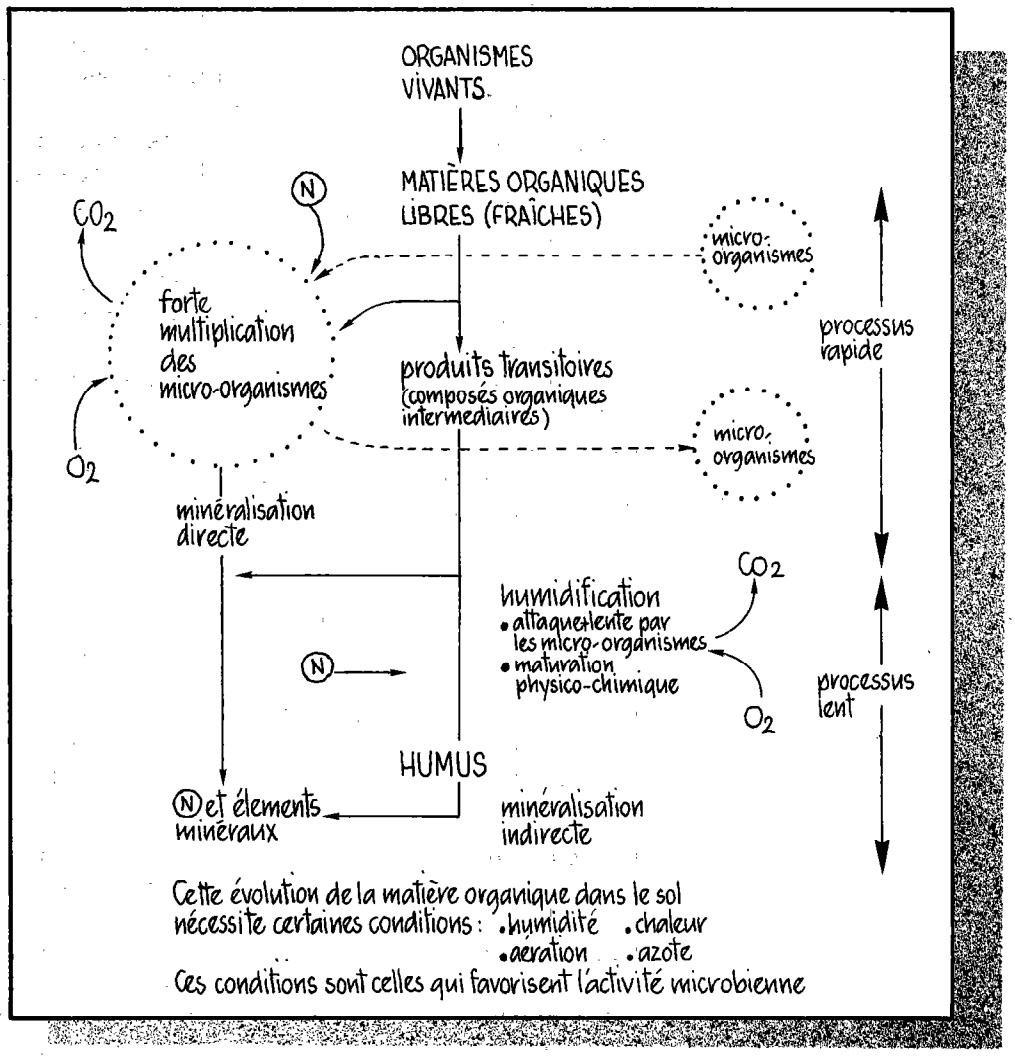
Processus d'évolution des matières organiques

Selon leur composition d'origine, les matières organiques libres ne suivront pas la même évolution, mais toutes passeront par les êtres vivants du sol (petits animaux, champignons, micro-organismes) auxquels elles servent de "nourriture".
On considère trois grandes étapes dans le processus d'évolution des matières organiques qui, dans la réalité, se déroulent plus ou moins simultanément.

1ère étape : la minéralisation directe (ou primaire)
Les résidus végétaux et animaux sont constitués de différentes substances.
• Celles qui sont faciles à décomposer, comme les sucres, l'amidon, les protéines, la cellulose. Elles vont être rapidement transformées par les micro-organismes du sol qui vont, dans un premier temps, se multiplier puis mourir. La décomposition de ces matières organiques et la mort des micro-organismes aboutissent à la libération *d'éléments minéraux* et de quelques substances organiques simples appelées substances pré-humiques.
• Certaines sont plus difficiles à décomposer, comme la lignine, les graisses, les résines, les tanins. Elles vont être lentement attaquées par les animaux et micro-organismes du sol et transformées en divers substances organiques plus simples (molécules moins complexes).

Cette première étape, rapide, s'accompagne d'une prolifération de micro-organismes et d'une libération d'eau, de gaz carbonique (CO_2) et d'énergie (chaleur).

Figure 28 : évolution des matières organiques dans le sol



Une grande partie des matières organiques libres sont ainsi transformées en éléments minéraux : c'est la *minéralisation directe*. L'autre partie donne de nouvelles substances organiques qui sont des *produits transitoires*.

Au cours de cette première étape, les fortes concentrations en carbone provoquent une forte multiplication des micro-organismes qui ont aussi besoin d'azote (environ 1g d'azote pour 30g de carbone soit C/N = 30). Si les matières organiques à décomposer sont pauvres en azote (C/N < 30), ils utilisent alors l'azote minéral du sol, le rendant ainsi indisponible momentanément pour les plantes. Ce phénomène se produit souvent à l'arrivée des premières pluies, au moment de la préparation des terres et de l'enfouissement des résidus de la culture précédente. Il peut se traduire par un effet dépressif sur les cultures immédiatement mises en place, on parle alors de "faim d'azote".

2ème étape : l'humification

Le processus de décomposition que nous venons de décrire consiste en une dégradation de molécules complexes en molécules plus simples, minérales ou organiques.

A l'inverse, *l'humification* consiste en une construction de molécules de plus en plus grosses, à partir des molécules simples obtenues par la décomposition des matières organiques libres.

Ce processus, plus lent, aboutit à la fabrication de *produits organiques* plus stables, les substances "humiques" que l'on regroupe sous le nom d'*humus*.

Lors de cette phase d'humification, une partie des produits transitoires est intégrée dans la fabrication de l'humus, l'autre partie est minéralisée.

La quantité d'humus qui sera produite à partir d'une quantité donnée de matières végétales (ou animales) dépend de leur composition. Ce sont surtout les végétaux riches en lignine, substance constituant le bois, et dans une moindre mesure en cellulose qui fournissent de l'humus.
Par exemple, si l'on enfouit de l'herbe jeune et verte dans le sol, elle sera rapidement et totalement minéralisée et ne produira pas d'humus. Par contre, les tiges de maïs ou de sorgho qui restent après la récolte sur le sol sont riches en lignine et fournissent beaucoup d'humus.

3ème étape : la minéralisation de l'humus ou minéralisation indirecte
L'humus est relativement stable, mais bien que résistant aux attaques microbiennes, il est lentement minéralisé par les micro-organismes car les variations des conditions physico-chimiques (ex: humidité, température...) le déstabilise : c'est *la minéralisation indirecte.*
La part de l'humus stocké dans le sol, qui est ainsi minéralisée chaque année, dépend essentiellement de la nature du sol, mais aussi des conditions climatiques et des pratiques culturales. Elle varie entre 2% et 12% dans les sols tropicaux.

La minéralisation nette
L'action des micro-organismes sur des résidus organiques récemment enfouis dans le sol se traduit à la fois par :
• une décomposition des résidus avec libération de carbone et d'azote minéral: cela correspond à la **minéralisation brute**,
• une synthèse de composés humiques (humus) à partir de chaînes carbonées et d'azote minéral: c'est la **réorganisation** ou **immobilisation.**
Le bilan de ces deux processus correspond à la **minéralisation nette**, soit:
minéralisation nette = minéralisation brute - immobilisations.

• Si la matière enfouie a un rapport C/N inférieur à 20, sa décomposition fournit plus d'azote que les micro-organismes n'en utilisent. Il y a donc libération d'azote minéral dans le sol: la minéralisation nette est positive.
• Si au contraire la matière enfouie a un rapport C/N très supérieur à 20, sa décomposition fournit une quantité de carbone telle que l'azote minéralisé ne suffit pas à satisfaire les besoins des micro-organismes. Ces derniers utilisent alors l'azote minéral du sol: la minéralisation nette est négative. L'azote minéral du sol ainsi immobilisé n'est plus disponible pour les plantes, il le sera de nouveau ultérieurement au fur et à mesure de la minéralisation de l'humus.

Répartition des matières organiques dans le sol



Profil d'un sol brun vertique sur basalte. On distingue l'horizon supérieur plus sombre, dû à une concentration plus élevée en matière organique (photo J. Cavalié).

En général, la couche de terre la plus riche en matières organiques et en humus correspond à l'horizon travaillé par l'agriculteur et colonisé par la plupart des racines. Cet horizon de surface est en effet celui où sont enfouis tous les résidus végétaux : on l'appelle *l'horizon humifère,* il est de couleur noire ou foncée, d'épaisseur très variable et correspond en général à la couche du sol la plus fertile.

La gestion de la fertilité des sols passe toujours par le maintien d'un horizon humifère (ou organique) en surface, le plus important possible.
Lorsqu'un terrain est soumis à l'érosion, cet horizon est le premier à être dégradé et sa disparition entraîne une chute brutale et très importante de la fertilité. Il est donc nécessaire de privilégier toute technique permettant le maintien ou la création d'un horizon de surface riche en matières organiques.
Une augmentation de la profondeur de travail du sol aboutit à une dilution irréversible de la matière organique dans un volume de terre plus grand.

La quantité et la nature des matières organiques présentes dans le sol sont en constante évolution. Chaque année, une partie de l'humus est minéralisée, mais il est remplacé plus ou moins par celui qui se forme à partir des résidus végétaux et animaux déposés sur le sol.
Ainsi la variation de la quantité d'humus du sol sur une période donnée correspond au résultat du bilan suivant : humus produit - humus minéralisé. Un résultat négatif de ce bilan indique que le stock d'humus du sol décroît, un résultat positif indique qu'il augmente. Le mode de réalisation de ce *bilan humique* est exposé dans le chapitre 10.

PROPRIÉTÉS DE LA FRACTION ORGANIQUE DU SOL

Propriétés de l'humus

• **Propriétés hydriques :** l'humus est hydrophile ; il peut retenir beaucoup plus d'eau que l'argile (jusqu'à 15 fois son poids). Mais il la retient énergiquement et celle-ci n'est donc pas totalement disponible pour les plantes. Dans les sols pauvres en argile, surtout les sols sableux, l'humus aura un rôle très important: augmenter la capacité de stockage en eau du sol.

• **L'humus est électronégatif :** comme l'argile, les molécules d'humus sont entourées de charges électronégatives. De ce fait, elles sont capables de fixer les ions positifs. La capacité qu'a l'humus de retenir les cations est plus importante que celle de l'argile.

Figure 29 : capacité d'échange cationique de l'humus et de différents types d'argile.

	Kaolinite	Illite	Smectite	Humus
CEC (1) en meq./100g	3 à 15	10 à 40	80 à 150	200 à 600

(1) Voir définition p. 65.

Ainsi, dans un sol pauvre en argile, l'humus permettra d'augmenter la capacité d'échange cationique (CEC) et donc d'améliorer l'alimentation minérale des plantes. L'humus peut être floculé, mais plus difficilement que l'argile à cause de l'épaisse couche d'eau entourant ses molécules. Cependant, le calcium (cation bivalent Ca^{++}) le flocule en particulier dans les milieux où les saisons sèches et humides sont bien marquées.

L'argile + l'humus = le complexe argilohumique

Les micelles d'humus et d'argile sont électro-négatives; elles ne devraient donc pas s'associer. Mais cela se réalise par l'intermédiaire de cations tels que le fer (Fe^{++}) et surtout le *calcium* (Ca^{++}, plus stable). On parle alors de pont calcique ou pont ferrique. Dans un sol pauvre en argile mais riche en oxydes de fer ou d'aluminium, l'humus se fixe directement à ces derniers. Cette association argile + humus forme le complexe argilo-humique (Cf. encadré le complexe argilo-humique).

De cette manière, l'humus protège l'argile contre la dispersion. Ils forment ensemble un ciment qui, avec les autres constituants du sol, permet la formation d'agrégats résistants à la dégradation par l'eau. Ainsi, dans certaines terres sensibles à l'érosion, une forte teneur en humus limitera le phénomène.
Une forte teneur en argile favorise la formation d'humus (humification) et limite sa minéralisation (*surtout en terrain calcaire).*

Le rôle de l'humus dépend du type de sol

D'une manière générale, l'efficacité de l'humus sera d'autant plus importante que le sol est pauvre en argile :
• il permet une meilleure cohésion des agrégats, il améliore la structure du sol ;
• il augmente la rétention de l'eau et des éléments minéraux, surtout dans les sols sableux ;
• il rend les terres argileuses moins imperméables et plus faciles à travailler (moins collantes);
• il fournit aux plantes des éléments minéraux lors de sa minéralisation.

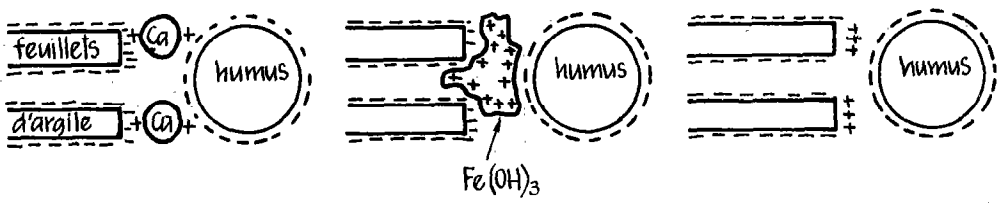
Les matières organiques libres

Elles augmentent fortement la stabilité structurale du sol (cf. ci-après) mais du fait de leur utilisation rapide par les micro-organismes, ce rôle est temporaire.
Leur évolution est rapide en saison humide, ce qui limite les problèmes qu'elles peuvent causer, la création d'obstacles aux racines par exemple.

Leur rôle essentiel dans les sols où les agriculteurs n'utilisent pas d'engrais chimiques est l'immobilisation sous forme organique des éléments nutritifs nécessaires à la plante et leur libération sous forme minérale.
La minéralisation directe des matières organiques libres et la minéralisation indirecte de l'humus constituent l'essentiel de l'alimentation des plantes dans la plupart des sols haïtiens.

LE COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE

• Les particules d'argile et d'humus, bien que de même signe négatif, peuvent se lier ensemble :

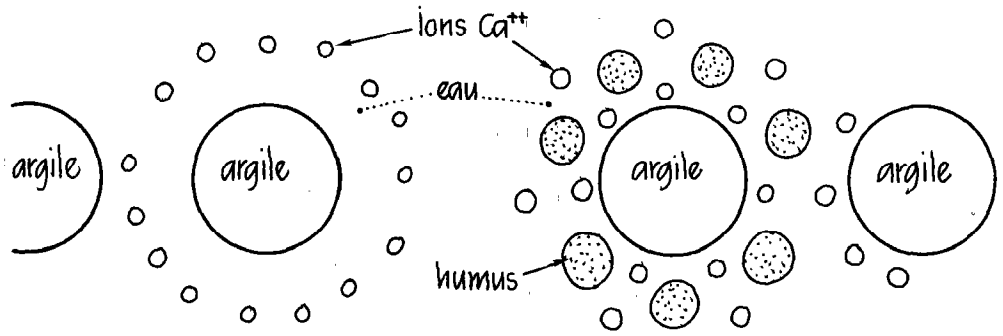


. par l'intermédiaire des ions Ca^{++} (pont calcique);

. par l'intermédiaire des hydroxydes de Fe ou d'Al;

. sur les quelques charges positives des feuillets d'argile.

• Cette liaison argile-humus est très résistante, ainsi l'humus protège l'argile contre la dispersion. Lors d'une pluie importante par exemple :



. l'argile seule risque de se disperser et d'être entraînée par ruissellement ;

. ce risque est très faible s'il y a formation d'un complexe argilo-humique.

• L'humus joue donc un rôle de protection contre la dispersion des éléments fins de sol et limite les risques d'une dégradation par les pluies. En retour, l'argile ralentit la minéralisation de l'humus.

Elles jouent aussi un rôle important dans les comportements physiques des sols et améliorent leurs qualités biologiques en étant l'aliment des animaux et micro-organismes qui y vivent.
Enfin elles protègent le sol contre l'érosion.
Les matières organiques, sous leurs différentes formes constituent la base de la fertilité chimique des sols haïtiens.

ANALYSER LE COMPORTEMENT PHYSIQUE D'UN SOL : ETUDIER SA STRUCTURE

• Quels sont les principaux rôles du sol vis-à-vis d'une culture ?
. un rôle de support physique des plantes ; il doit donc favoriser la pénétration des racines en profondeur,
. un rôle d'approvisionnement en eau des plantes ; il doit être capable de stocker une grande quantité d'eau et de la rendre disponible pour les racines,
. un rôle d'alimentation chimique des plantes en fournissant les éléments minéraux dont elles ont besoin. Ce rôle est lié à celui d'enracinement.

Porter un diagnostic sur un sol, c'est évaluer ses aptitudes à jouer ces différents rôles en fonction des techniques qui lui sont appliquées.

QU'EST-CE QUE LA STRUCTURE D'UN SOL ?

La structure, c'est le mode d'assemblage des différents constituants d'une couche de terre à un moment donné.

Les différents constituants du sol s'associent entre eux de différentes façons :
- les sables et les limons jouent le rôle de squelette,
- les argiles et la matière organique jouent un rôle de ciment.

Cette association constitue des éléments structuraux (ou mottes) de tailles et de formes variables, et plus ou moins solides (cohérents).

On caractérise la *structure* d'un sol par :
- la *forme* et la *taille* des mottes (éléments structuraux),
- la *cohésion* de ces mottes, c'est-à-dire leur résistance à la rupture,
- la *porosité*, c'est-à-dire l'espace occupé dans le sol par des gaz ou des liquides.

La porosité

Pour un volume de sol donné, la manière dont sont associées entre elles les particules élémentaires de la terre et dont sont agencés les éléments structuraux ainsi formés définit la répartition entre les pleins et les vides, donc la *porosité*. Celle-ci joue un rôle important sur :
- la circulation de l'eau et de l'air dans le sol (éléments nécessaires aux racines) ;
- la croissance et le fonctionnement des racines;
- la vie biologique dans le sol.

Généralement, les techniques culturales et en particulier le travail du sol, viseront à favoriser l'aération, la circulation de l'eau, l'enracinement et donc à augmenter la porosité du sol (sauf par exemple dans certaines rizières où l'on cherche à garder l'eau en créant un horizon imperméable).

Les cavités ou pores qui constituent cette porosité peuvent être d'origine différente.
- La porosité due à l'assemblage des particules élémentaires est une caractéristique de la constitution granulométrique du sol ; c'est la *porosité texturale*. Par exemple, dans un tas de sable, cela correspond à l'ensemble des vides existant entre les grains. Elle est peu modifiable par des agents externes.
- *La porosité structurale* est due à l'arrangement entre eux des agrégats. Contrairement à la précédente, elle varie dans le temps sous l'action du climat, des outils, de la faune et de la flore. Le travail d'une terre à la houe, par exemple, augmente la porosité structurale. Dans les parties non travaillées du sol, elle représente une faible part de la porosité totale.

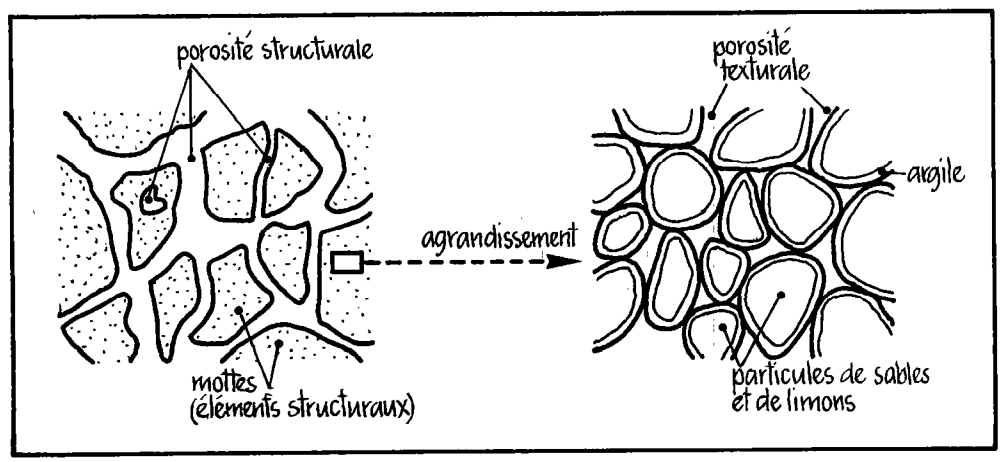


Figure 30 : porosité structurale et texturale.

La porosité texturale intervient dans le stockage de l'eau et sa circulation par des mécanismes de succion (voir chapitre 9).
La porosité structurale est le plus souvent observable à l'oeil. Son influence est déterminante sur les possibilités d'enracinement, la circulation de l'eau par gravité et sur celle de l'air.

LES DIFFÉRENTES FORMES DE STRUCTURE

La structure d'un sol se modifie sous l'action des outils de travail du sol, du climat, des racines et de la faune. Leurs effets sont très variables selon la nature du sol, en particulier selon l'abondance des argiles et de leur état (dispersé ou floculé). En effet, ce sont surtout les argiles (avec les matières organiques) qui jouent le rôle de ciment.

• Dans un sol sableux, pauvre en argile, les constituants du sol sont peu liés entre-eux. La structure d'un tel sol ne se présente pas, ou rarement, sous forme de mottes, mais plutôt comme une juxtaposition des particules minérales du sol (comme dans un tas de sable par exemple). On parle dans ce cas de *structure particulaire*, sableuse.

• Dans un sol argileux, au contraire, l'argile lie fortement entre eux les différents constituants du sol. Si l'on prend entre les doigts une motte relativement sèche, il est difficile de la casser. Lorsqu'un tel sol présente une structure motteuse, celle-ci résiste bien à l'action de la pluie, elle est stable.



Structure motteuse obtenue par un travail du sol à la «louchette» (sorte de bêche très étroite) dans un sol brun argileux, Dondon (photo M. Bonnefoy).

L'observation de la structure d'un sol se fait lors de l'étude de son profil cultural.
Le profil cultural se définit comme **l'ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, des racines des végétaux et des facteurs naturels réagissant à ces actions.**
Son étude a pour objet d'observer principalement l'*état structural* de ces couches de terre et la façon dont elles sont exploitées par les racines dans le cadre d'un diagnostic sur la culture en place. On cherche particulièrement à porter un jugement sur les techniques culturales employées.
Les techniques de réalisation d'un profil cultural sont décrites dans le chapitre 10.

Ne pas confondre le profil cultural avec le profil pédologique. Ce dernier a pour objet d'identifier les mécanismes naturels qui ont présidé à la formation et l'évolution des sols ainsi que de connaître leurs propriétés en vue de leur mise en valeur. Les horizons pédologiques se distinguent par leur texture, leur structure et leur couleur.

On distingue trois grands types de structure plus ou moins favorables à la croissance et au développement des plantes.

Les structures particulaires

Les constituants solides du sol sont entassés sans aucune liaison.
Elles sont le plus souvent défavorables .
• Si les constituants qui dominent sont des sables plus ou moins grossiers, la porosité texturale est importante et le sol est filtrant. Mais il ne retient ni l'eau, ni les éléments minéraux.
• Si ce sont les éléments fins qui dominent (sables fins et limons), ils s'accumulent dans les fissures de façon à réduire au maximum la porosité et le sol est battant et imperméable.
Dans ces deux cas, le sol est très sensible à l'érosion, surtout s'il est pauvre en matières organiques.

Les structures compactes ou continues

Les constituants sont liés entre eux, mais en un seul bloc. Il n'apparaît aucune fissure permettant la distinction d'éléments structuraux. Elle sont également défavorables.
• L'air et l'eau n'y circulent pas suffisamment par manque de porosité. Le sol est asphyxiant, ce qui est néfaste à la vie des animaux, des microbes et des racines.
• Le sol résiste à la pénétration des racines.
• La plage d'humidité favorable au travail du sol est réduite.

Les structures fragmentaires

Les constituants sont liés entre eux sous forme d'éléments structuraux plus ou moins gros et qui se séparent facilement les uns des autres. Chaque élément structural est constitué d'un ciment argileux entourant les limons et les sables.
A l'intérieur de ce dernier groupe, on distingue une multitude de formes de structure selon :
• la taille des mottes, du millimètre au décimètre ;
• leur forme : sphérique, prismatique, feuilletée... ;
• leur cohésion (solidité) ;
• la netteté des séparations.

Lorsque l'on prend une motte d'une vingtaine de centimètres de diamètre et que l'on exerce une pression dessus, elle se divise en plusieurs mottes qui à leur tour se divisent en mottes plus petites et ainsi de suite. On définit ainsi, plusieurs niveaux d'organisation de la structure dont le niveau supérieur est appelé la macrostructure.
Les séparations entre les éléments structuraux à chacun de ces niveaux sont plus ou moins nettes et, pour un sol donné, elles sont plus nettes en conditions sèches.



Semis de riz sur un sol dont la structure superficielle (lit de semence) est trop grossière. De nombreux grains risquent de ne pas donner de pieds (photo D. Mermet).

Les structures fragmentaires sont en général recherchées car elles permettent :
• une bonne circulation de l'eau en profondeur lorsqu'elle est en excès (sauf s'il existe un horizon imperméable dessous);
• une bonne aération favorable à la vie des racines et des micro-organismes;
• une bonne germination des graines (selon la taille des mottes en surface);
• une pénétration facile des racines.

La notion de structure favorable dépend de la culture à mettre en place. Au cours des différentes phases de leurs cycles, les plantes n'ont pas les mêmes exigences.

Germination : pour pouvoir germer correctement, les graines ont besoin d'air et d'eau, il faut donc que la structure de l'horizon de surface favorise leur circulation, et permette un bon contact entre les graines et les particules de terre (imbibation). La structure à rechercher dépend donc de la taille des graines, mais aussi des conditions hydriques.

Levée : la structure doit aussi permettre la circulation des fluides. La sortie hors du sol des parties aériennes ne doit pas être gênée par la présence de grosses mottes en surface ou de croûte de battance.

Développement et croissance des racines : les racines ont besoin d'air, d'eau et d'éléments nutritifs. On recherchera une structure favorisant la circulation des

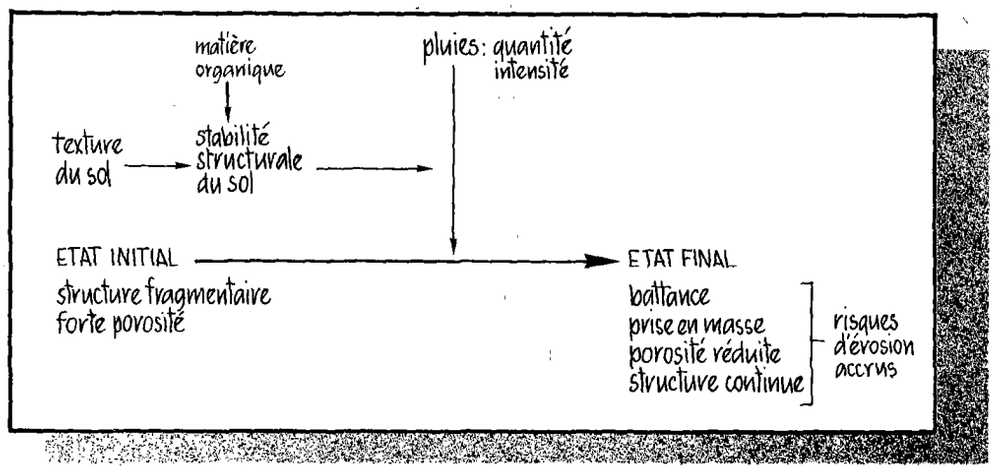
fluides et la pénétration des racines en profondeur. On évitera la création d'obstacle aux racines (voir chapitre 7). Les effets d'une structure sur l'enracinement dépendent du type d'enracinement. Lorsque l'organe récolté est la racine de la plante (tubercule), la structure a une influence particulière.

ETAT ET COMPORTEMENT D'UN SOL

On caractérise l'état d'un sol à un moment donné principalement par sa structure. Le comportement d'un sol est la façon dont il va modifier son état (donc sa structure) sous l'action de facteurs externes. Ainsi, la structure d'un sol, et donc sa porosité, sont en constante évolution.
Une augmentation de la porosité a, en général, un caractère favorable aux cultures (jusqu'à une certaine limite), alors qu'une diminution est le plus souvent défavorable et correspond à une dégradation de la structure.

Dégradation de la structure

Figure 31 : dégradation de la structure par les pluies :



• **La pluie** est le facteur essentiel de la dégradation de la structure d'un sol :
. l'impact des gouttes d'eau sur le sol désagrège la structure de surface. Les éléments fins entraînés par l'eau s'accumulent dans les fissures et les bouchent, le sol devient imperméable : c'est *la battance*, les sols limoneux y sont sensibles, on dit qu'ils sont battants ;
. lorsque les agrégats s'imbibent d'eau, ils peuvent éclater d'autant plus facilement que leur cohésion est faible.
Plus les pluies sont longues et intenses, plus la structure risque d'être dégradée.
. Le tassement, provoqué par le piétinement d'animaux par exemple, diminue la porosité d'autant plus qu'il a lieu en conditions humides.
. Une structure dégradée, compacte, rend le sol très sensible à l'érosion en favorisant le ruissellement.

• **La stabilité structurale**
La stabilité structurale d'un sol est sa capacité à résister à la dégradation de sa structure par les pluies.
Augmenter la stabilité structurale d'un sol, c'est aussi le rendre moins sensible à l'érosion.
La stabilité structurale dépend de la texture du sol. Les sols où les limons dominent ont tendance à avoir une structure très instable, à être battants, sauf si la teneur en matière organique est forte.

Les argiles jouent un rôle important et en particulier la montmorillonite : plus la teneur en argile est élevée, plus la structure du sol est stable. Mais le rôle des argiles varie selon la nature des cations fixés :
. le calcium (Ca^{++}) floculle l'argile et rend ainsi la structure du sol très stable ;
. au contraire, le sodium (Na^{+}) a pour effet de disperser les micelles d'argile en s'en écartant pour former de la soude avec l'eau. Les terres riches en sodium sont donc particulièrement instables. C'est le cas des sols de plaines proches de la mer.

Les matières organiques ont pour effet d'accroître la stabilité structurale des sols. Les produits transitoires ont une efficacité supérieure à celle de l'humus. Les substances libérées lors de la décomposition des matières organiques libres et les microbes qui prolifèrent à ce moment enrobent les agrégats de terre et les rendent moins mouillables.
L'humus joue un rôle en constituant avec l'argile un complexe argilo-humique qui lie entre eux les constituants du sol.
L'intensité de la dégradation de la structure du sol dépend :
. de la stabilité structurale du sol,
. de la somme des pluies reçues depuis le dernier travail du sol et de leur intensité,
. de l'état initial du sol : une structure émiettée se dégrade plus vite, dans les mêmes conditions, qu'une structure plus grossière.

• Protéger la structure et limiter les risques d'érosion
Plusieurs techniques peuvent être utilisées :
. apports réguliers de matières organiques ;
. paillage pour protéger contre l'effet de choc des gouttes de pluies ;
. éviter de laisser un sol nu, surtout en saison pluvieuse ;
. éviter les excès d'eau, par exemple en cultivant sur buttes ou billons ;
. limiter le ruissellement sur les pentes par des aménagements anti-érosifs.

Régénération de la structure, formation d'une structure fragmentaire

Une structure fragmentaire se crée sous l'action du climat, des racines, des outils et correspond à une augmentation de la porosité par fissuration du sol.

• Action du climat
Ce sont les alternances d'humectation et de dessication du sol qui sont à l'origine de la fissuration du sol. L'aptitude d'un sol à se fissurer est liée aux variations de volume que subissent les argiles selon leur humidité.
Elle dépend :
. de la teneur en argile du sol et de la nature minéralogique de cette argile, la montmorillonite étant la plus sensible aux variations de volume,
. de la teneur en matière organique qui joue un rôle régulateur : elle diminue l'aptitude à la fissuration d'un sol riche en argile et augmente celle des sols qui en sont moyennement pourvus.
Cette action du climat est spectaculaire sur les *vertisols* que l'on trouve souvent en bas des pentes ou dans les zones d'accumulation.
Lorsque la teneur en argile gonflante dépasse 40%, cette fissuration atteint aussi bien les couches profondes que les couches superficielles.

• Action des racines
Les racines, surtout celles des graminées, sont un moyen efficace d'améliorer la structure de l'horizon superficiel du sol. Elles fragmentent le sol en s'introduisant dans les moindres fissures qu'elles agrandissent et qu'elles laisseront libres en mourant l'année suivante. Elles créent des zones préférentielles d'humectation-dissécation dans les horizons qu'elles colonisent.

• Action de la faune
Les animaux vivants dans le sol, vers, insectes, larves, en créant des galeries augmentent la porosité du sol. Les micro-organismes jouent aussi un rôle sur la structure en décomposant les matières organiques.

Figure 32 : régénération de la structure du sol par le climat.

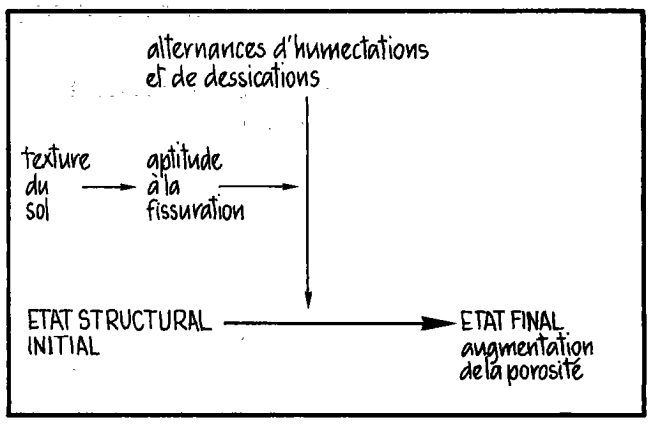
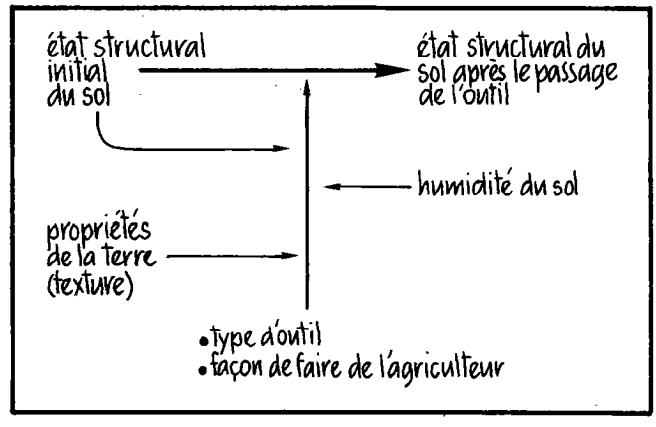


Figure 33 : facteurs influençant le comportement du sol sous l'action d'un outil.



Action des outils sur la structure du sol

La préparation des terres à l'aide d'outils (houe, machette, charrue) a plusieurs objectifs possibles :
. la suppression des mauvaises herbes, qui peuvent être soit enfouies, soit brûlées, soit mises en tas,
. la création d'une structure favorable à la germination des graines,
. la création d'une structure favorisant la croissance des racines,
. l'enfouissement des graines, l'incorporation d'éléments fertilisants...





Travail du sol à la charrue tractée par deux bovins (labeur) à la plaine du Nord.

Travail du sol à la houe, en équipe dans les rizières, Grison-Garde, plaine du Nord (photo M. Bonnefoy).

Dans de nombreuses situations en Haïti, la préparation des terres consiste à supprimer les adventices et les résidus de la culture précédente et à créer un lit de semence en ameublissant le sol sur 3 ou 4 cm.
Dans d'autres situations, c'est l'ameublissement d'un grand volume de terre qui est recherché par un travail du sol plus profond (10 à 20 cm) ou la constitution de buttes.
Quelques soient les objectifs assignés au travail du sol, il aboutit à une modification de la structure du sol plus ou moins prévue.

Différents outils n'auront pas les mêmes effets sur la structure (types de houe, types de charrue, état des outils).
Un même outil n'aura pas les mêmes effets sur la structure selon (fig. 33) :
. la façon de faire de l'agriculteur,
. la nature du sol,
. les conditions d'humidité du sol et son état structural lors de l'utilisation de l'outil.

. Lorsqu'un sol est très peu humide, sa cohésion est forte et sa plasticité est faible. Les mottes se cassent très difficilement et le travail du sol demande une énergie très importante.
. A une humidité moyenne, la cohésion diminue et le sol devient légèrement plastique. Les mottes sont beaucoup plus faciles à casser et la fragmentation est plus importante.
. Lorsque le sol est très humide, la cohésion est réduite et il devient plastique. La terre colle aux outils, les mottes peuvent se souder les unes aux autres, les outils créent des lissages, la porosité des éléments structuraux peut être diminuée (cf. fig. 23).

Ainsi, le travail du sol n'a pas toujours un effet positif sur la structure du sol, c'est le cas par exemple du labour réalisé dans les rizières inondées.

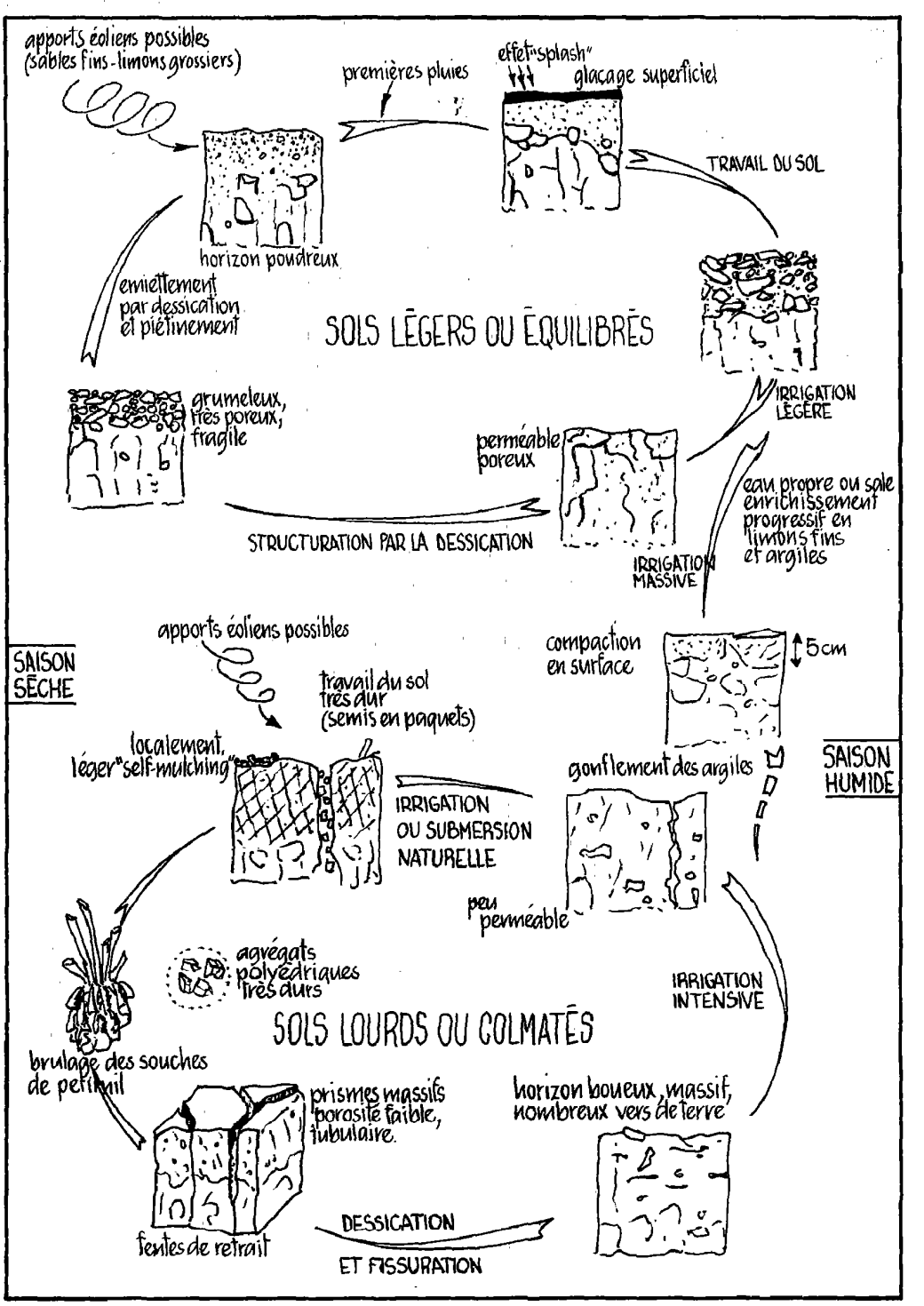
Paysan sarclant au "couteau digo" (photo G. de Laubier).

Semis de mil en poquet sans aucun travail du sol à la plaine de Larbre
(photo M. Bonnefoy).





Figure 34 : schéma des hypothèses de comportement des sols de Colombier.



La fertilité chimique d'un sol

ORIGINE ET NATURE DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Les plantes puisent dans le sol les éléments minéraux dont elles ont besoin. Ces éléments existent sous différentes formes qui ne sont pas toutes assimilables par les plantes.
Les éléments minéraux peuvent se trouver dans le sol soit :
• sous forme insoluble, combinés à des fragments de roche ou à des matières organiques; ils constituent ainsi les réserves du sol,
• sous forme soluble dans la solution du sol,
• échangeables, fixés sur le complexe adsorbant.

Ils sont absorbés par les racines sous forme minérale simple *(ionique)*, et pour la plus grande partie sous forme dissoute dans la solution du sol. Une faible part est puisée par contact direct des racines avec les particules du sol.
Pour une bonne alimentation des plantes, il donc est nécessaire que la concentration de la solution du sol en éléments minéraux soit importante.

On distingue les éléments qui se trouvent dans la solution du sol, sous forme de *cations* (chargés positivement) de ceux qui s'y trouvent sous forme d'*anions* (chargés négativement);
• principaux cations : K^+, Ca^{++}, Na^+, Mg^{++}, NH_4^+
• principaux anions : NO_3^-, SO_4^{--}, PO_4^{---}.
Leur origine peut être :
. minérale : provenant de l'altération des minéraux constitutifs des roches mais aussi des engrais,
. organique : provenant de la minéralisation des matières organiques (animales ou végétales). Les réserves du sol en N et S sont essentiellement organiques.

Généralement, on classe les éléments minéraux en fonction des quantités qu'en absorbent les plantes.

• **Les éléments majeurs ou macro-éléments :**
. le phosphore (P), l'azote (N) et le soufre (S) se trouvent dans la solution du sol sous forme d'*anions ;*
. le potassium (K), le calcium (Ca) et la magnésium (Mg) sont dans la solution du sol sous forme de *cations.*

Parmi ces six éléments, les plantes prélèvent en plus grande quantité l'azote, le potassium et le phosphore qui constituent donc la base de la fertilisation minérale. Les trois autres éléments (Ca, Mg et S) sont aussi très importants bien que prélevés en moindre quantité. Ils entrent dans la composition de certains engrais (sulfate de potassium - phosphore bicalcique).

• **Les oligo-éléments** sont prélevés en très faibles quantités par les plantes, mais sont indispensables à leur bon fonctionnement. L'insuffisance d'un de ces éléments peut provoquer une carence. Les principaux sont : le fer (Fe), l'aluminium (Al), le manganèse (Mn), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le cobalt, le bore, le molybdène. Certains se trouvent en grande quantité dans le sol comme le fer, l'aluminium, le silicium, le chlore.

LES ECHANGES D'IONS ENTRE LE COMPLEXE ADSORBANT ET LA SOLUTION DU SOL

Le complexe adsorbant est l'ensemble des particules solides du sol qui sont capables de retenir les ions grâce aux charges électriques (ou sites) qu'elles portent.
Il est constitué :
. des particules argileuses et des matières organiques liées (humus). Ces particules sont chargés négativement et s'associent pour former le complexe *argilo-humique* (cf. p. 55). Ce complexe retient essentiellement des cations.
. des hydroxydes de fer et d'aluminium, chargés positivement et qui retiennent les anions, essentiellement le phosphore : PO_4^{---} . Ils se trouvent en très grande quantité dans les sols ferralitiques.

DES ÉCHANGES PERMANENTS

Echanges de cations

Le potassium peut être *rétrogradé* : les ions K^+ peuvent s'introduire entre les feuillets d'argile et s'y fixer. Il sont alors retenus très énergiquement et deviennent très difficilement *échangeables*.

La présence d'humus limite ce phénomène de rétrogradation (mécanisme important avec des argiles du type Illite).

La Capacité d'Echange Cationique (CEC) est la quantité maximale de cations de toutes sortes qu'un poids déterminé de sol est capable de retenir. Elle correspond autrement dit au total des charges négatives des particules du sol. La CEC est d'autant plus importante que le sol est riche en argile et en humus.

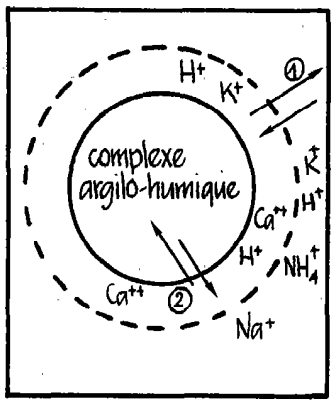


Figure 35 : échanges de cations.
1- Echanges rapides entre les ions de la solution et ceux adsorbés en surface.
2- Echanges plus lents entre les ions adsorbés en surface et sur les sites internes.

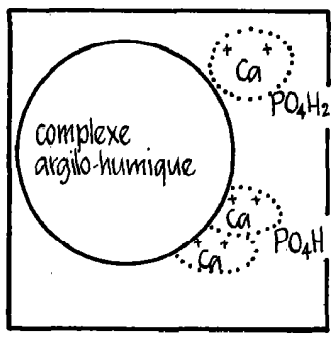


Figure 36 : fixation des ions PO_4^{---} sur le complexe argilo-humique.

Echanges d'anions

Les anions phosphates (PO_4^{---}) sont les seuls qui sont très bien retenus par le complexe adsorbant. Les autres sont entraînés facilement par les eaux de drainage, on dit qu'ils sont "lessivés" (NO_3^-, Cl^-, SO_4^{--}).

Les ions phosphates sont retenus de différentes façons :
. par les quelques charges positives du complexe argilo-humique ;
. par les hydroxydes de fer et d'aluminium, particulièrement en sol acide (sols ferralitiques) ;
. en sols neutres ou calcaires par l'intermédiaire d'ions Ca^{++} qui forment des "ponts calciques".

Dans certains sols, les ions phosphates sont retenus très fortement, ce qui rend très difficile l'alimentation phosphatée des plantes :
. dans les sols calcaires et basiques (pH > 8), le phosphore peut être fixé sous forme insoluble (phosphate tricalcique) et être indisponible pour les plantes. C'est le cas des rendzines, nombreuses en Haïti sur pente calcaire ;
. dans les sols riches en hydroxydes de fer et d'aluminium, le phosphore est fortement retenu et en grande partie sous des formes non assimilables par les plantes. Ce phénomène de rétrogradation du phosphore est d'autant plus important que le sol est pauvre en matières organiques (sols ferralitiques).

MAINTIEN D'UN ÉQUILIBRE ENTRE LE COMPLEXE ADSORBANT ET LA SOLUTION DU SOL

Lorsque la concentration de la solution du sol en un élément diminue, le complexe adsorbant libère une certaine quantité de cet élément jusqu'à obtention d'un nouvel équilibre. Cette diminution peut être due par exemple à l'absorption de cet élément par les racines des plantes où à son lessivage par les eaux de drainage. Inversement, lorsqu'on apporte un engrais soluble, une partie des ions libérés dans la solution va se fixer sur le complexe adsorbant jusqu'à équilibre.

Plus les possibilités d'adsorption du complexe adsorbant sont importantes, plus sa saturation nécessite de grandes quantités d'ions. Pour K^+ les possibilités d'adsorption sont fonction de la richesse du sol en argile et en humus. Pour PO_4^{---} elles dépendent de la saturation du complexe argilo-humique en Ca^{++} ou de la richesse du sol en hydroxydes de fer et d'aluminium.
Dans des sols argileux, la concentration de la solution en cations n'augmente que très lentement.

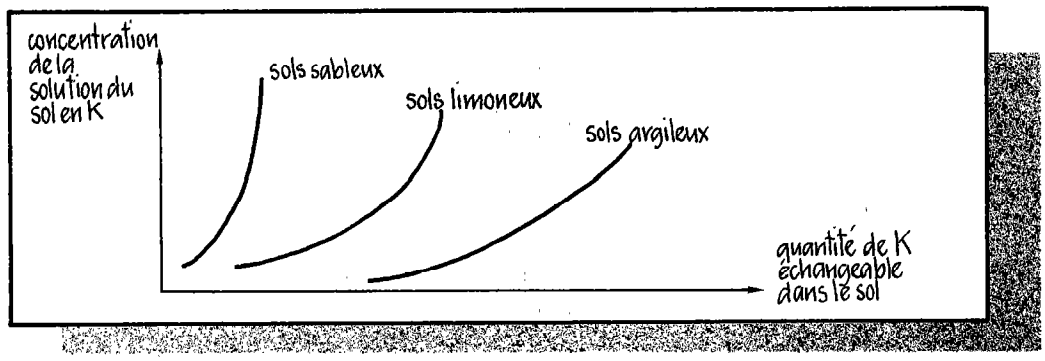


Fig. 37: relation entre la richesse de la solution et le degré de saturation du complexe adsorbant pour différents types de sol.

Ainsi, le sol s'oppose à toute cause tendant à modifier la composition de sa solution. Ce mécanisme est d'autant plus fort que le sol est riche en argile et en humus.

Les différents ions ne sont pas retenus avec la même intensité par le complexe adsorbant. Les lois d'échanges entre les différents ions sont très complexes et ne seront pas abordés ici. Cependant, on peut retenir un ordre préférentiel de fixation valable pour la majorité des sols :
$H^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+ \geq NH_4^+ > Na^+$.
L'ions H^+ est retenu plus facilement que l'ion Ca^{++}, lui-même prioritaire sur l'ion Mg^{++}... Par exemple, en sol acide la plupart des sites du complexe sont occupés par des ions H^+ et les autres cations sont peu retenus.

MESURES DE LA CEC ET DU TAUX DE SATURATION

L'importance du complexe adsorbant d'un sol correspond à la mesure de sa CEC (T, dans les analyses de sol).
Elle s'exprime en *milliéquivalents pour 100 g de terre.* C'est cette unité qui est utilisée dans la plupart des analyses de sol.

L'équivalent d'un corps est le rapport de sa masse atomique sur sa valence. Le milliéquivalent (meq) en est le millième.
Par exemple, un sol qui a une CEC de 20 meq pourrait retenir :

. en Na (monovalent) : 20 meq x 23/1 = 460 mg de Na pour 100 g de terre,
. en K (monovalent) : 20 meq x 39/1 = 780 mg de K pour 100 g de terre,
. en Ca (bivalent) : 20 meq x 40/2 = 400 mg de Ca pour 100 g de terre,
. en Mg (bivalent) : 20 meq x 24/2 = 240 mg de Mg pour 100 g de terre.

La CEC d'un sol est stable, elle dépend du taux et de la nature des argiles et de l'humus du sol. Elle est très forte pour les argiles du type "montmorillonite" que l'on trouve, par exemple, en grande proportion dans les *vertisols.*
Dans les sols rouges ferralitiques, la CEC est très faible (peu d'argile) et dépend essentiellement du taux de matière organique.

La somme des bases échangeables (S) est la quantité de cations métalliques échangeables, fixés sur le complexe à un moment donné. Elle s'exprime également en meq pour 100 g de terre. La différence T-S représente donc

la quantité d'ions H^+ fixés sur le complexe.

Le taux de saturation (V) est le rapport entre la somme des bases échangeables et la CEC. Il s'exprime en pourcentage : V = S/T x 100.

RELATION ENTRE LE TAUX D'ARGILE ET LA CEC

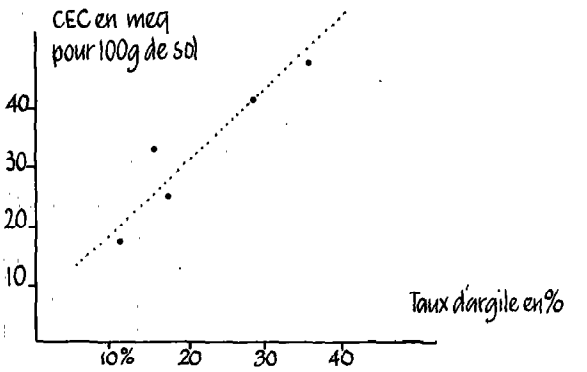
Cette relation ne peut-être établie que pour des sols de même type, ayant des argiles de même nature et des teneurs en matières organiques proches.
Ainsi, pour les sols non-calcaires ($CaCO_3$ < 5%) de la plaine des Gonaïves, il a été montré une relation entre la CEC et le taux d'argile granulométrique :

Relation entre la CEC et la teneur en argile des sols non-calcaires de la plaine des Gonaïves.

Argile en %	CEC en m.e.q. pour 100 g de sol
10 à 20	20 à 25
20 à 30	30 à 40
30 à 40	45 à 55
40 à 50	50 à 65

Les analyses de cinq sols du transect "Colombier", à la plaine de Larbre mettent aussi en évidence cette relation (sols alluviaux calcaires) :

Relation entre les CEC et les teneurs en argile de sols de la plaine de Larbre.



LE PH DU SOL ET SES VARIATIONS : ÉCHANGES D'IONS H^+

Comme pour les autres cations, il existe dans le sol un équilibre entre les ions H^+ dans la solution et ceux fixés sur le complexe adsorbant.

Rappels

Lorsqu'on mesure le pH d'un sol, on mesure la concentration en ions H^+ de sa solution. Mais celle-ci est influencée par le complexe adsorbant

$$pH = \log \frac{1}{\text{concentration en ions } H^+}$$

La concentration en ions H^+ de l'eau pure est de $1/10^7$ ion-gramme, son pH est de 7.

Lorsque le pH d'un sol est voisin de 7, on dit qu'il est neutre. Si le pH est inférieur à 7, le sol est *acide*. A pH 6, la solution du sol contient 10 fois plus d'ions H^+ que l'eau pure. Si le pH est supérieur à 7, le sol est *basique* (ou alcalin). A pH 8, la solution du sol contient 10 fois moins d'ions H^+ que l'eau pure.

Le *pouvoir tampon* d'un sol est sa capacité à résister à une variation de pH. Cette capacité est d'autant plus forte que le complexe adsorbant est important, donc capable de libérer ou de fixer de grandes quantités d'ions H^+. Le pouvoir tampon d'un sol argileux ou humifère est fort, celui d'un sol sableux est faible.

Il existe une certaine corrélation entre le pH d'un sol et son taux de saturation. En effet, lorsque le complexe est saturé en bases échangeables, il ne reste plus de place pour les ions H^+. Cette corrélation est marquée pour les sols acides ou basiques mais n'existe pas pour les sols voisins de la neutralité.

• Les sols ferralitiques lorsqu'ils sont pauvres en matières organiques sont très

acides. Leur pH est souvent inférieur à 6 et leur taux de saturation est faible. Les cations échangeables sont très facilement lessivés par les eaux de drainage.
• Les "rendzines" sont des sols très calcaires. Leur pH est souvent supérieur à 8 et leur taux de saturation égal à 100%. Mais, le complexe adsorbant est saturé en grande partie avec des ions Ca^{++} issus de la roche. Pour cette raison, dans ces sols l'alimentation des plantes en potassium (K^{+}) et magnésium (Mg^{++}) est souvent difficile.

Figure 38 : valeurs de CEC (T), sommes de bases échangeables (S), taux de saturation (V) et pH de quelques sols haïtiens (horizons de surface : 0 à 10 cm).

Type de sol et lieu de prélèvement	S sommes des bases échang.	T CEC	V S/T taux de saturation	pH
Presqu'île Sud, versant N.				
• sol bauxitique sur calcaire érodé (Moneyron)	2,75	8,4	33%	5,5
• sol bauxitique sur colluvions (Moneyron)	2,26	7,6	29%	4,9
• rendzine sur calcaire (Mathurin)	41	41	100%	8,0
• sol fersiallitique (plateau Astrie)	42	42	100%	8,0
• vertisol à argile gonflante (Madian)	63	63	100%	7,3
Plaine du Nord-Grison-Garde				
• sol sur alluvions provenant de mornes basaltiques	26	30	87%	6,5
Plateau central : périmètre irrigué de St-Raphaël				
• sol sur alluvions calcaires peu évoluées	30	30	100%	8,3
• sols bruns calcaires	43	43	100%	8,1
• vertisols hydromorphes	110	110	100%	7,7

Dans les sols formés sur matériau calcaire, la CEC est saturée par les ions calcium.

LA DYNAMIQUE DES ELEMENTS NUTRITIFS DE BASE DANS LE SOL

LE POOL ALIMENTAIRE

Le pool alimentaire correspond à l'ensemble des ions présents dans le sol et rapidement assimilables par les plantes, ce sont :
. les ions dissous dans la solution du sol ;
. les ions fixés sur les sites externes du complexe adsorbant et qui peuvent être rapidement libérés dans la solution.
Au fur et à mesure que les plantes puisent dans le sol les éléments dont elles ont besoin, la terre située autour des racines s'appauvrit. Les mouvements d'ions dans le sol permettent alors d'enrichir de nouveau ces zones.
Les ions se déplacent de deux manières :

. soit entraînés par les mouvements d'eau dans le sol : drainage en profondeur (lessivage), vers les racines grâce à l'évapotranspiration.
. soit par diffusion dans la solution du sol (sans qu'il y ait mouvement d'eau) d'une zone à forte concentration vers une zone où le sol est appauvri.

Les déplacements par diffusion se font sur de faibles distances :
. de l'ordre du millimètre pour PO_4^{---} ;
. de l'ordre du centimètre pour K^+ ;
. de l'ordre du décimètre pour NO_3^- ;
Il est donc nécessaire pour une bonne alimentation des plantes en éléments minéraux que les réserves du sol soient importantes, mais aussi :
. que le sol soit humide pour faciliter les mouvements d'ions ;
. que le système racinaire soit dense et développé.

Les sols ferralitiques de plateaux sont très filtrants de par leur structure et sont soumis à une pluviométrie importante. Les ions mobiles comme la potasse et l'azote sont facilement entraînés en profondeur par les eaux de drainage et sont perdus pour les cultures.

LES CYCLES DES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Les ions en solution sont régulièrement prélevés par les plantes, mobilisés par les micro-organismes ou lessivés en profondeur. D'où viennent les ions qui réalimentent en permanence le pool alimentaire ?
Pour l'azote (N) et le soufre (S), l'essentiel du stock du sol est sous forme organique, leurs cycles sont donc liés à celui de la matière organique. Pour le phosphore (P) et le potassium (K), il y a des réserves minérales qui libèrent des ions par solubilisation.

Les différentes sources d'ions K^+ et PO_4^{---}

• Les matières organiques en libèrent lors de leur minéralisation (Cf. p. 52). Le potassium est très rapidement libéré sous forme ionique. Par contre le phosphore est soumis comme l'azote à un cycle de minéralisation et de réorganisation par les micro-organismes (Cf. ci-après le cycle de l'azote).

• Les minéraux primaires (issus des roches) lors de leur altération peuvent aussi en libérer, surtout dans les sols jeunes, peu épais et sur roche cristalline (basalte).

• Dans les sols calcaires, le phosphore à tendance à précipiter sous forme peu soluble. Une légère acidification peut libérer quelques ions phosphates.

• Les engrais en libèrent plus ou moins rapidement selon leur solubilité.

• Certains micro-organismes, associés aux racines, permettent l'utilisation par les plantes d'éléments présents au départ sous forme peu assimilables.

L'azote du sol est d'origine organique ou atmosphérique. Contrairement au calcium, au phosphore, au potassium, l'azote ne provient pas de la dégradation des roches.

Trois sources et trois formes d'azote

• Les trois sources d'azote
1) Les matières organiques sont les principales réserves d'azote du sol :
. l'humus ;
. les matières organiques enfouies, plus ou moins décomposées ;
. les micro-organismes morts et les racines restant dans le sol.

2) L'azote de l'air est fixé par des micro-organismes qui le libèrent ensuite dans le sol.
Ainsi les légumineuses vivent au niveau de leurs racines en *symbiose* avec une bactérie (Rhizobium). Cette association permet à ces plantes d'utiliser l'azote atmosphérique fixé par les bactéries. De ce fait, elles ne nécessitent qu'une faible fourniture en azote (au départ) et de plus la culture suivante bénéficiera de l'azote contenu dans les résidus de cultures lors de leur minéralisation.
Les pluies entraînent en faible quantité de l'azote de l'air et le libèrent dans le sol.

3) Les engrais azotés sont synthétisés à partir de l'azote de l'air ou issus de déchets organiques.

Figure 39 : le cycle du phosphore (d'après Gachon)

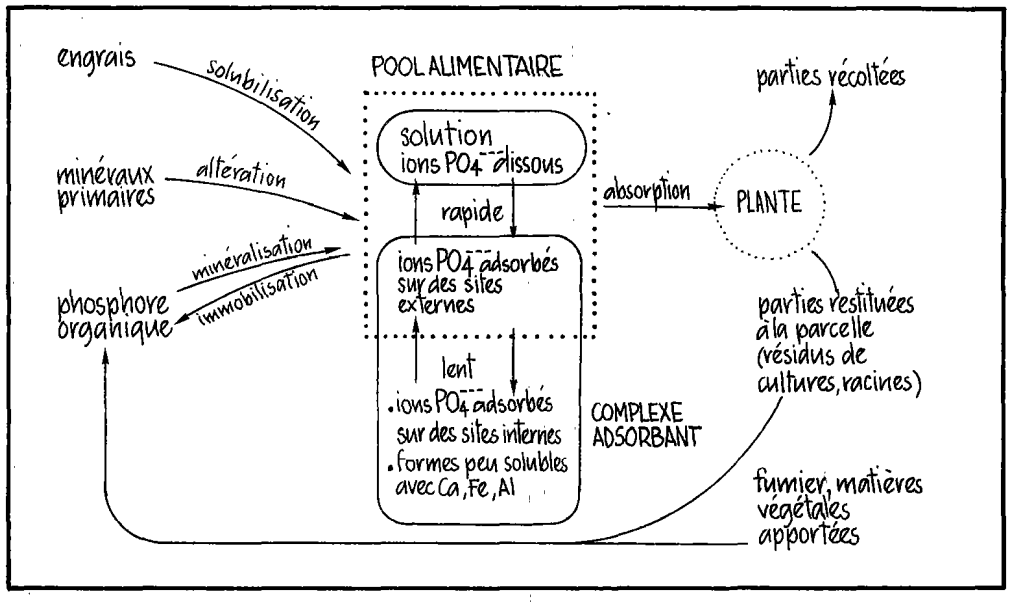


Figure 40 : le cycle du potassium

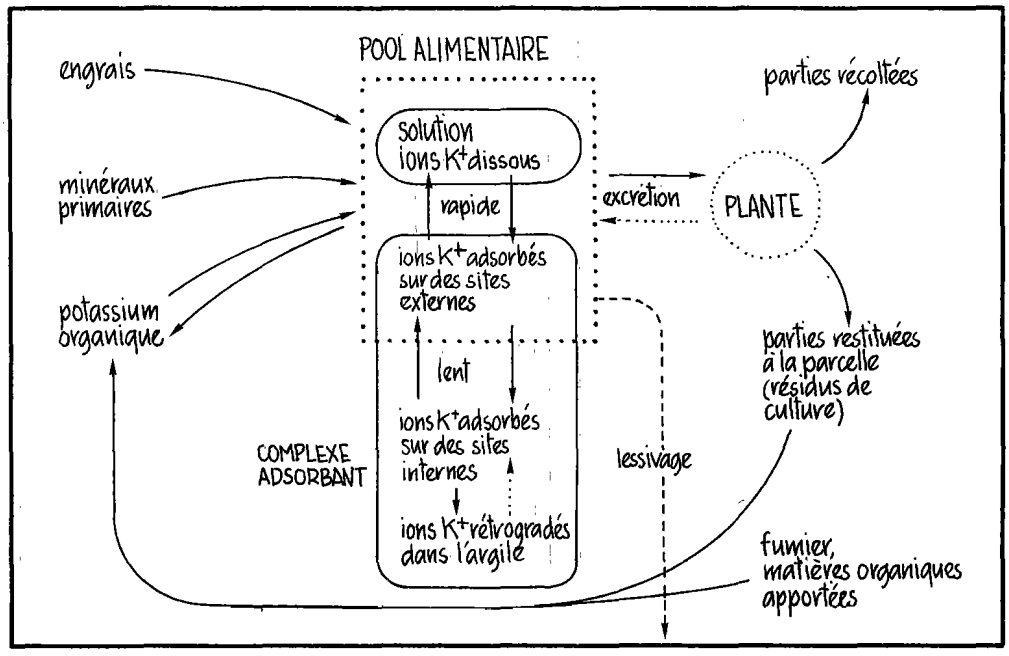
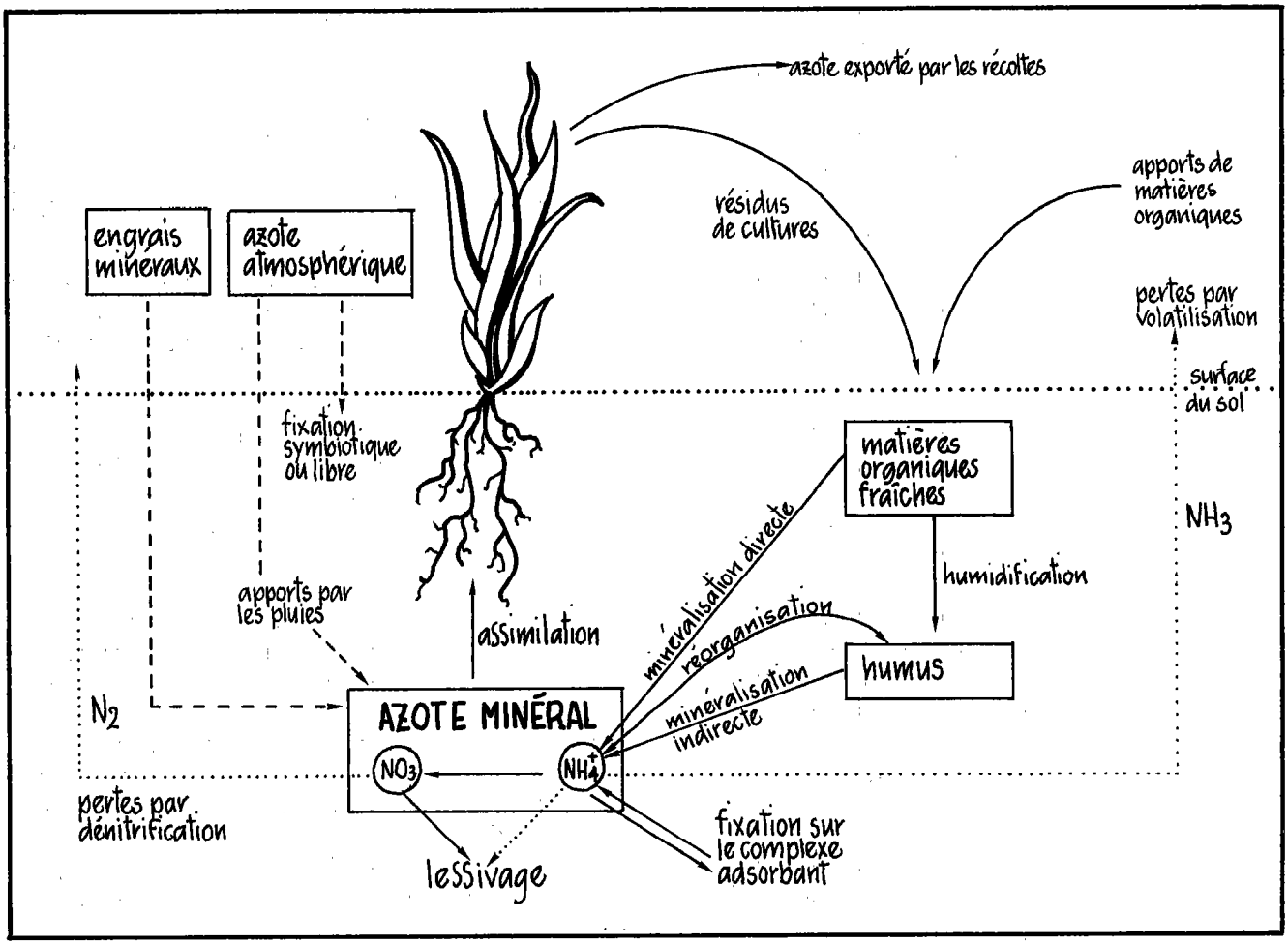


Figure 41 : cycle de l'azote
au niveau d'une parcelle

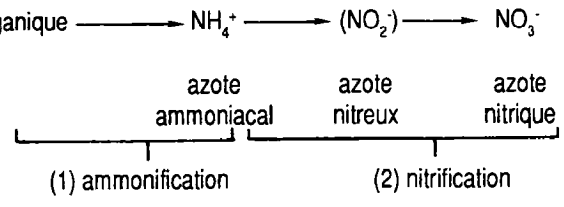


• Les trois formes d'azote dans le sol

L'azote contenu dans les matières organiques constitue la réserve en azote du sol. La plus grande partie se trouve dans l'humus stable qui contient en moyenne 5% d'azote. Chaque année, une quantité d'azote est libérée dans le sol lors de la minéralisation des matières organiques fraîches et de l'humus par les micro-organismes.

Cette minéralisation se produit en deux temps.

Figure 42 : minéralisation de l'azote



1. Durant l'ammonification, il y a libération dans le sol d'ions NH_4^+ à partir des matières organiques. Cet azote ammoniacal est une forme transitoire, soluble dans la solution du sol et retenu par le complexe adsorbant.

2. Les ions NH_4^+ sont transformés par les micro-organismes du sol en ions NO_3^- (les nitrates), c'est la nitrification. Les anions NO_3^- sont très solubles et ne se fixent pas sur le complexe adsorbant. Ils sont facilement lessivables. Les plantes sont capables d'assimiler l'azote minéral sous ces deux formes mais utilisent préférentiellement l'azote nitrique (NO_3^-).
C'est la forme la plus fréquente dans le sol sauf lorsque les conditions de milieu sont peu favorables à la nitrification.

• **Les conditions de la nitrification**

L'ammonification a lieu dans la plupart des conditions, par contre, la nitrification en nécessite de particulières. Ce sont celles qui favorisent la vie des bactéries nitrifiantes :

. présence indispensable d'oxygène ;

. humidité du sol suffisante ;

. la température optimale est de 25°C. La nitrification s'arrête lorsqu'elle est inférieure à 5°C ou supérieure à 40°C ;

. le pH optimal est voisin de la neutralité. La nitrification est inhibée lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 9.

La libération de nitrates dans les sols haïtiens a lieu surtout au début de la saison des pluies (humidité suffisante), en particulier après la préparation des terres (aération du sol, enfouissement des matières organiques, élévation de la température du sol).

Lorsque les conditions sont mauvaises, ce qui est le cas des sols hydromorphes par exemple, il peut y avoir accumulation de NH_4^+ ou NO_2^- qui peuvent être alors toxiques pour les plantes, les pertes sont alors surtout sous forme gazeuse.
Dans la réalité, on ne sait jamais très bien quand et quelle quantité d'azote est nitrifiée dans un sol.

Comme nous le verrons par la suite, l'alimentation minérale d'une culture ne dépend pas seulement de la richesse du sol en éléments minéraux mais aussi de l'enracinement (profondeur et densité des racines) qui détermine le volume de terre exploitée.
Les besoins journaliers d'une culture varient au cours du temps avec son stade de développement (pour le riz par exemple ils sont maximaux durant la montaison).
La satisfaction de ces besoins dépend de la disponibilité *instantanée* des éléments minéraux.
Enfin la notion de richesse d'un sol est très relative, elle dépend des cultures, qui ont des exigences différentes, et des objectifs de rendement que l'on se fixe.

Les sols haïtiens et l'agriculture

Il existe en Haïti, une grande diversité de sols plus ou moins favorables à l'agriculture.
Dans les limites de leurs possibilités, les paysans adaptent leurs systèmes de culture aux types de sol qu'ils cultivent. En effet, à chaque type de sol correspond des contraintes dont il faut tenir compte. Connaître les caractéristiques d'un sol permet aussi de mieux comprendre comment un paysan choisit les espèces qu'il cultive et les techniques culturales qu'il applique.

Dans la majorité des situations en Haïti, la faible fertilité des sols est une des principales contraintes à l'obtention de rendements corrects. Elle constitue donc un problème urgent à résoudre.
Malheureusement, les sols haïtiens n'ont fait l'objet d'études approfondies que sur quelques régions limitées. L'agronome devra donc le plus souvent se passer d'analyse de laboratoire et privilégier les observations de terrain.

Les caractéristiques d'un sol dépendent de son histoire, c'est-à-dire des conditions de sa formation. Les trois séries de facteurs qui conditionnent la formation des sols sont le climat, le relief et la nature de la roche dont ils sont issus. La teneur en argile d'un sol et la nature de cet argile jouent un rôle essentiel dans son comportement. Connaître les conditions de formation et d'accumulation des argiles permet de savoir si, sur un terrain donné, le sol en est constitué.

Ainsi, en resituant une parcelle dans son milieu, on peut connaître facilement son type de sol et ses principales caractéristiques agronomiques. Quelques observations et une discussion avec le paysan sur le comportement de sa terre permettent ensuite d'affiner le diagnostic.
Enfin, il faut tenir compte du fait que l'agriculture modifie les conditions d'évolution des sols, notamment en favorisant l'érosion, ou en modifiant ses propriétés par ses modes de gestion des matières organiques.

LA FORMATION DES SOLS ET LEUR EVOLUTION

Lorsqu'une roche affleure, elle est progressivement colonisée par la végétation, d'abord herbeuse, puis arbustive, puis arborescente si le climat est suffisamment humide. Les effets cumulés du climat et de la végétation faisant évoluer le sol, de nouveaux types de végétaux pourront se mettre en place jusqu'à une relative stabilité correspondant à un type de sol associé à un climat et à un type de végétation. L'agriculture rompt cet équilibre, modifiant les processus d'évolution des sols (déboisement par exemple).

Il est nécessaire de bien distinguer les processus de *pédogenèse,* de ceux de *morphogenèse* :

• la pédogenèse concerne la formation d'un sol par dégradation et altération d'une roche sur place ;

• **la morphogenèse concerne les modifications dues à des déplacements de matériaux tels que l'érosion (départ) et le colluvionnement (apports).** Ainsi, sur une forte pente sans végétation, au fur et à mesure que le sol se forme (que la roche se dégrade), les éléments fins sont entraînés par les eaux de ruissellement : le sol est constamment "rajeuni". En bas de la pente, en revanche, les éléments fins s'accumulent sans cesse, le sol est profond, mais n'évolue guère, car il est régulièrement recouvert de nouveaux éléments ; il est aussi constamment rajeuni.
Dans cet exemple, le processus de morphogenèse domine sur celui de pédogenèse.

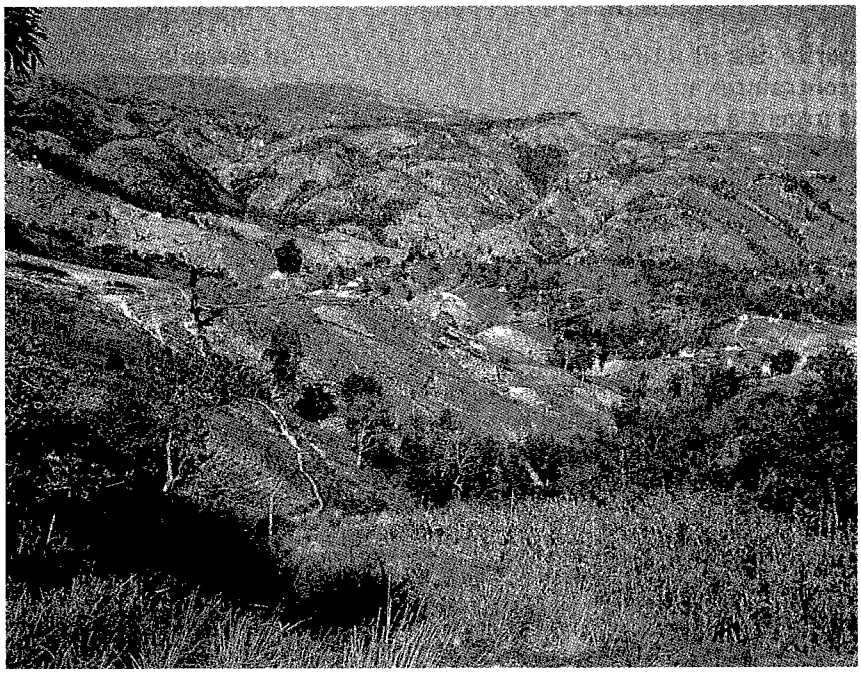
Les sols dépendent en premier lieu du type de matériau à partir duquel ils ont été formés : *la roche-mère.*
Les trois grands types de formation géologique que l'on rencontre en Haïti sont :

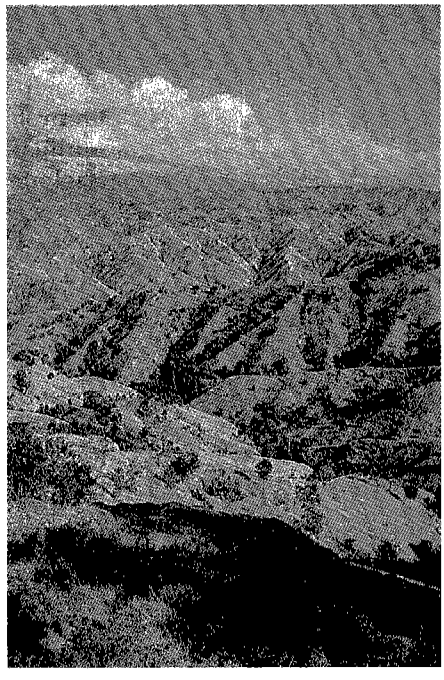
• **les roches calcaires** : ce sont des matériaux sédimentaires, déposés par la mer il y a plusieurs millions d'années. Une classification de ces roches est faite en fonction de leur composition et de leur résistance à la dégradation par le climat (calcaire dur ou tendre) ;

• **les roches basaltiques** : ce sont des roches éruptives, issues d'un volcanisme très ancien. Leur dégradation est assez rapide (plus rapide que la plupart des roches calcaires) ;

Paysage de mornes calcaires aux formes arrondies (la Vallée de Jacmel).

Paysage de mornes basaltiques aux pentes abruptes et aux arêtes vives. Seuls les fonds de ravines sont boisés, région de Jacmel (photos M. Bonnefoy).





• **les alluvions** : formées beaucoup plus récemment par l'accumulation, dans les vallées fluviales ou les plaines d'épandage, de particules fines arrachées par l'eau aux mornes calcaires ou basaltiques. Ces particules, transportées sur de courtes distances et accumulées à mi-pente ou en bas de pente constituent *des colluvions.*

Ces matériaux se distinguent par leur *composition chimique,* qui jouera directement sur les caractéristiques chimiques des sols formés (donc sur l'alimentation minérale des plantes) et aussi sur leurs caractéristiques physiques.
Ils se distinguent aussi par leur résistance à la dégradation et l'altération. Dans les mêmes conditions pédogénétiques, certaines roches se dégraderont plus rapidement, formant un sol plus profond. Enfin, leur perméabilité jouera aussi un rôle, l'eau étant le facteur principal d'évolution d'un sol.

ORIGINE ET ÉVOLUTION DE LA FRACTION MINÉRALE

La fraction minérale des sols provient de la transformation des roches qui subissent une désagrégation physique et une altération chimique sous l'action du climat et de la végétation.
Parallèlement, des déplacements d'éléments se produisent à l'intérieur du sol, modifiant sa constitution.

Désagrégation physique et mécanique

Elle se produit sous l'effet :
. des fortes variations d'humidité ;
. des variations de températures ;
. des racines d'arbres qui s'introduisent dans les fissures des roches.

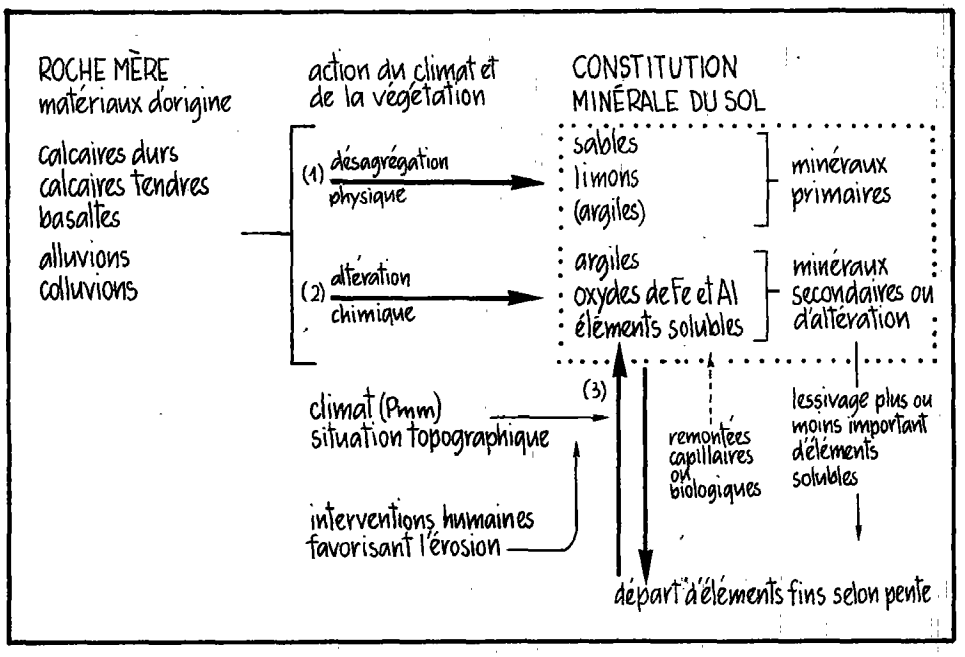
Le vent et la pluie jouent un rôle en déplaçant les matériaux (ruissellement surtout).
Ainsi, il se produit une fragmentation de la roche-mère donnant des particules de différentes tailles : les sables, les limons et les argiles granulométriques.

Altération chimique

Elle provoque une transformation des minéraux primaires (constitutifs de la roche) et une formation de minéraux secondaires (synthèse des argiles). Elle aboutit à la formation d'un ensemble de produit solubles ou pâteux, le complexe d'altération, qui contient :
. des éléments solubles : sels de cations (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}...) qui seront soit lessivés, soit fixés sur les argiles ou l'humus ;
. les hydroxydes de fer ou d'aluminium ;
. les argiles qui fixent à leur surface les cations et les hydroxydes de fer et d'aluminium.
On retrouve ici les éléments constitutifs du complexe adsorbant.

Le facteur essentiel d'altération est l'eau qui entraîne dans le sol de l'oxygène, du gaz carbonique et les acides provenant de la décomposition des matières organiques. L'altération, comme toute réaction chimique, est d'autant plus rapide que la température est élevée. Elle est très intense sous climat chaud et humide (tropical).
Elle est d'autant plus active en Haïti que l'on monte en altitude (pluviométrie plus importante). Elle est plus réduite dans les plaines semi-arides comme la plaine des Gonaïves par exemple.

Figure 43 : mécanismes de la formation des sols



Déplacements d'éléments à l'intérieur du sol

• **Migrations descendantes** : c'est un phénomène très important dans les sols haïtiens qui conditionne leur fertilité chimique et physique. L'eau qui s'infiltre dans le sol entraîne avec elle les éléments solubles ou en suspension (minéraux d'altération).
Ceux-ci peuvent, soit être déposés plus profondément dans le profil, soit être entraînés hors du profil. D'une manière générale, on parle de *lessivage*. Cela concerne par ordre décroissant : les cations (Na, K, Ca, Mg...), la silice (minéral constitutif des argiles), les oxydes de fer ou d'alumine, les argiles.
Nous verrons plus loin que l'intensité de ce phénomène détermine les caractéristiques des différents types de sols haïtiens.
Les déplacements descendants sont plus ou moins importants selon :
• *le drainage* : c'est la quanttité d'eau qui s'infiltre en profondeur dans le sol. Il dépend du climat et correspond à la pluie moins l'évapotranspiration (D = P - ETP). Il dépend aussi de la *pente* : plus la pente est forte, plus grande est la proportion d'eau reçue qui ruisselle (et ne s'infiltre donc pas). Il dépend aussi de la perméabilité du sol et de la roche ;
• *la nature de la roche* : dans les sols très calcaires, les argiles restent floculés par le calcium et ainsi retiennent les cations ; le lessivage est moindre ;
• *l'humus* : il fixe les cations, les hydroxydes, en s'associant à l'argile pour former le complexe argilo-humique et limite ainsi le lessivage.

• **Migrations ascendantes** : en saison sèche, l'évapotranspiration provoque une remontée de l'eau dans le sol par capillarité, cette eau entraîne avec elle des cations solubles qui se fixent sur les argiles et l'humus (resaturation du complexe argilo-humique). Ce phénomène peut provoquer aussi des remontées de sels (sodium) qui se cristallisent à la surface du sol et rendent la terre impropre aux cultures (cas de certaines plaines maritimes en Haïti).
Dans les sols hydromorphes, le fer remonte avec la nappe d'eau et se cristallise.

• **Remontées biologiques** : elles sont dues aux êtres vivants : les vers de terre ou les termites mais surtout les végétaux (arbres) dont les racines puisent en profondeur les éléments et les restituent au sol par les feuilles, les branches, les racines qui meurent chaque année. Ce phénomène, très important, permet le maintien d'une bonne fertilité dans les parcelles arborées notamment les jardins *devant kaye.*

CONDITIONS DE FORMATION DES ARGILES

Les argiles se forment en milieu riche en cations (ou bases : Ca^{++} - Mg^{++} - K^{+} - Na^{+}) à partir de la silice et de l'aluminium. Cependant, les cations et la silice sont facilement lessivables.

• **Si le drainage est faible** (roche imperméable, faible pluviométrie), ces éléments ne sont pas éliminés et il se forme des argiles du type montmorillonite, argile gonflante riche en silice (dans les vertisols par exemple).

• **Si le drainage est plus important** (roche plus perméable, moins forte pente, forte pluviométrie) une partie de la silice et des cations est entraînée en profondeur. Les argiles formées sont plus pauvres en silice, ce sont en partie des montmorillonites et en partie des kaolinites. Plus le drainage est important, plus la proportion de kaolinite est importante.
C'est la *fersiallitisation (sols fersiallitiques).*

• **Si le drainage est très important**, la plus grande partie de la silice est lessivée et seule la kaolinite peut se former ; c'est la *ferralisation* qui aboutit à la formation de sols riches en hydroxydides de fer et d'aluminium : les *sols ferralitiques.*

Formation des "argiles de décarbonatation" en sols calcaires.

Certaines roches calcaires contiennent à l'origine des argiles déposées par la mer. C'est le cas des calcaires à plaquettes et surtout des marnes.
L'altération de ces roches consiste surtout en une décarbonatation (dissolution du carbonate de cacium $CaCO_3$ par l'eau et lessivage) d'autant plus rapide que la roche est filtrante.

Après dissolution du calcaire, il reste en surface une "argile de décarbonatation", constituée essentiellement d'argiles gonflantes (type montmorillonite). Ces argi-

les s'accumulent souvent, par érosion, dans les dépressions. Dans les situations de drainage intense, elles s'altèrent en libérant de la silice et de l'alumine.

Ces sols peuvent aussi être soumis à la ferralitisation, c'est le cas des sols ferralitiques du plateau des Rochelois.

Figure 44 : les types d'argiles formés selon l'intensité du drainage (d'après D. Soltner).

Conditions de drainage liées à la pluviométrie, la topographie et la roche-mère	**Drainage intense**	**Drainage moyen**	**Milieu confiné (sans drainage)**
Présence de bases acidité	Bases lessivées sols acides	Lessivage plus ou moins accentué des bases	Riche en Ca et Mg sols neutres à calcaires
Types d'argile formés	Kaolinite ou plus du tout faute de silice	Kaolinite + montmorillonite	Montmorillonite + (Kaolinite)
Autres éléments du du complexe	Gibbsite : Al_2O_3 oxyde de fer : Fe_2O_3	oxyde de fer	(oxyde de fer)
Types de sols	**Sols ferralitiques**	**Sols fersiallitiques (ou ferrugineux)**	**Sols vertiques (ou vertisols)**

LES GRANDS TYPES DE SOLS HAÏTENS DANS LE PAYSAGE

Les sols se classent selon leur *degré d'évolution* qui dépend, en Haïti, essentiellement de la pente et de la pluviométrie.
Plus le climat est humide (altitude-exposition), plus l'évolution est rapide, les sols sont plus évolués.
Plus la pente est forte, plus l'eau reçue ruisselle en entraînant les éléments fins. Le sol est ainsi rajeuni en permanence.

Le degré d'évolution dépend aussi de la nature de la roche-mère, plus ou moins résistante aux agents de dégradation et d'altération.
Dans les bas de pentes où s'accumulent les éléments fins se forment des sols sur colluvions plus riches et plus épais.

A partir des sols bruns, formés sur calcaire ou sur basalte, plus l'évolution est poussée avec de bonnes conditions de drainage, moins les sols sont fertiles.
La fertilité décroît dans le sens suivant :
- sols bruns
- sols fersiallitiques
- sols ferrugineux tropicaux
- sols ferralitiques

Au cours de cette évolution "normale" sous climat tropical :
- la réserve en bases devient de plus en plus faible ;
- les phosphates deviennent de plus en plus insolubles ;
- la CEC de plus en plus faible ;
- la structure devient de plus en plus fragile ;
- la fertilité devient de plus en plus liée à la matière organique.

Dans les bas-fonds, l'évolution est plus liée à la situation topographique qu'au climat.

Figure 45 : évolution des sols, en fonction de la roche, de la pente et du climat

Roche	Pentes fortes	Pentes moyennes	Pentes faibles ou plateaux	Bas-fonds et dépression	Climat
Calcaires Bruns	Lithosols	Rendzines Sols bruns calcaires	Bruns calciques Fersiallitiques	Vertiques	Sec
		Bruns calciques	Fersiallitiques Fersiallitiques	Vertiques et Hydromorphes	Humide
Calcaires à plaquettes	(Lithosols) Régosols	Bruns calcaires	Bruns calcaires Bruns vertiques	Bruns vertiques Vertisols	Sec
Marnes Argilites	Rendzines	Bruns eutrophes Bruns calciques	Bruns fersiallitiques Bruns vertiques	Hydromorphes Vertiques Humide	
Basaltes	Lithosols sur arène basaltique	Calciques mélanisés (pararendzines)	Bruns eutrophes Rouges fersiallitiques	Bruns vertiques Vertisols	Sec
		Bruns Fersiallitiques	Rouges fersiallitiques Bruns fersiallitiques	Vertisols Vertisols hydromorphes	Humide

Les paysans donne une dénomination à leurs sols en fonction de certaines caractéristiques de l'horizon travaillé. Ils tiennent comptent essentiellement de leur couleur, de leur consistance, de leur aspect et de leur réaction à l'outil. Le paysan privilégie une caractérisation de la terre au moment où il intervient : travail du sol, semis, sarclage.
Les horizons plus profonds ne font pas systématiquement l'objet d'une observation.
Un qualificatif complémentaire chaude ou froide (*tè chô ou tè fwet*) exprime à la fois la température moyenne (liée à la couleur et la pierrosité) et l'état hydrique moyen (caractère séchant plus ou moins accusé).

Une telle classification est importante à connaître car elle permet un meilleur dialogue avec le paysan et une meilleure appréhension de sa vision du milieu. Mais elle est limitée dans l'espace : elle concerne pour un paysan donné la caractérisation des sols de son terroir et conduit à des dénominations équivoques lorsqu'on change de terroir (*tè rouj'* par exemple).

Sur pentes fortes, des sols peu évolués : les lithosols et régosols

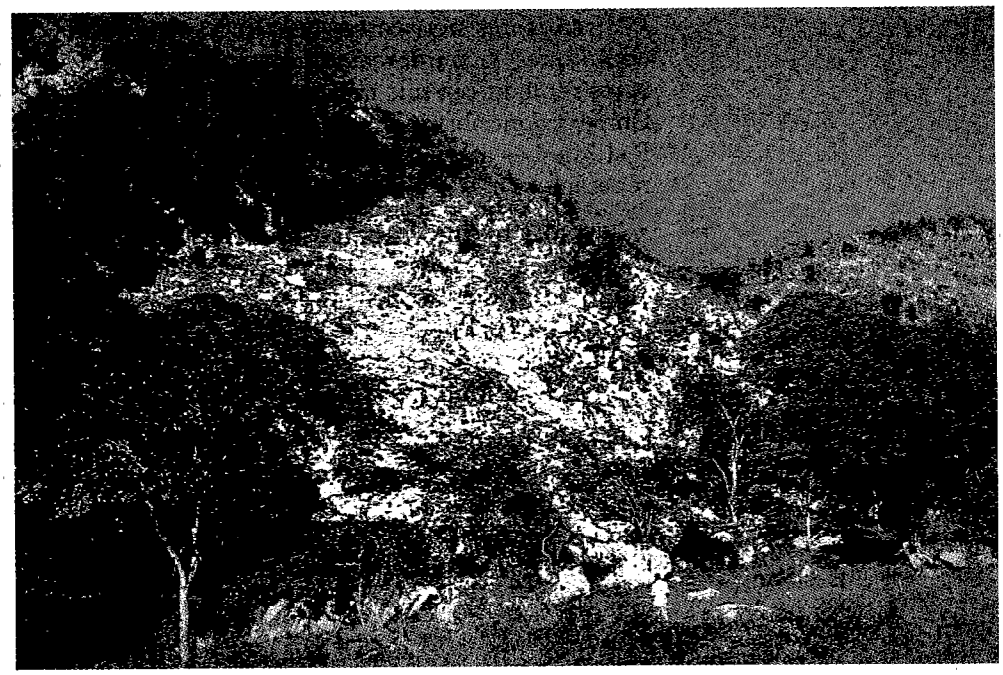
Ces sols sont constamment soumis à l'érosion et n'ont, de ce fait, qu'une très faible épaisseur de terre :
• Sur calcaire dur, ce sont des *lithosols* constitués uniquement de pierres et impropres à la culture. Dans les fissures où s'accumule un peu de terre fine, des arbres peuvent pousser.
• Sur calcaires à plaquettes ou sur marnes (roches plus tendres), ce sont des *régosols* ou, lorsqu'il y à un début d'évolution, des *rendzines*.
• Sur arène basaltique (basalte en voie d'altération), les sols peuvent faire l'objet d'aménagements anti-érosifs. En effet, cette roche à l'avantage de s'altérer rapidement, formant ainsi un nouveau sol retenu par les aménagements et la végétation (terrasses progressives).

Figure 46 : correspondance entre la classification française des sols et la classification créole des paysans de la Vallée de Jacmel (d'après Luc Pierre Jean cité par Y-M Cabidoche, 1984).

Classification française nuancée pour la région	Typologie créole paysanne	Caractère privilégié
• Sols sur basalte		
		Consistance
Sol fersiallitique saturé	Tè gra ou melanj	+ Couleur
Vertisol	Tè nwa	Couleur
Sol calcique mélanisé profond	Tè mélanj	Couleur + texture
Sol calcique mélanisé court	Tè gra	Consistance
Altérite désorganisée	Tè grizon	Cohésion
Isaltérite	Tè grizon	Cohésion
• Sols sur argilites		
Sol fersiallitique désaturé	Tè rouj (1)	Couleur
• Sols sur calcaire dur		
Sol fersiallitique saturé profond	Tè rouj (1)	Couleur
Sol fersiallitique saturé court, caillouteux	Tè rouj gravwa	Couleur + Pierrosité
Régosols divers ou sols calciques mélanisés très caillouteux	Tè gravwa	Pierrosité
• Sols sur calcaire en plaquettes		
Vertisol	Tè nwa (/Tè mar (l))	Couleur/aspect
Sol fersiallitique	Tè gra (/Tè rouj)	Consistance/couleur
Rendzine grise	Tè tuf gra	Consistance + aspect
Rendzine blanche	Tè tuf	Aspect
Sol calcique mélanisé caillouteux	Tè tuf ou Tè gravwa (selon pierrosité)	Aspect
Sol fersiallitique à croûte calcaire	Tè gras/Tè pov	Cohésion Consistance
Sol brun calcique	Tè nwa	
• Sols sur molasses		
Sol brun calcaire	Tè jon	Couleur

(1) dénomination équivoque

Lithosol sur calcaire dur et forte pente (photo M. Bonnefoy).



Sur les versants calcaires : des sols calci-magnésiques

• Les rendzines sur pentes moyennes à fortes

Une rendzine est le résultat de l'évolution d'un lithosol ou d'un régosol sous l'action du climat et de la végétation.

. Sur calcaire dur, les rendzines sont souvent grises avec un horizon superficiel noir riche en matière organique.

. Sur calcaire plus tendre (marnes), les rendzines peuvent prendre une couleur brune ou rouge. Cela est dû à un début d'élimination du calcaire, le calcium étant très lessivable.

La matière organique se lie alors aux argiles par l'intermédiaire du fer. La couleur brune apparaît : le sol se *brunifie* (évolution vers les sols bruns calcaires). Si ce phénomène est important, le sol devient rouge, couleur du fer oxydé.

Leurs caractéristiques agronomiques

Les caractéristiques physiques et chimiques de ces sols sont essentiellement liées à l'abondance de calcaire actif.

• *Comportement physique* : le calcaire actif confère à ces sols une structure très stable, souvent grumeleuse en surface et bien aérée. Mais il les rend très collants lorsqu'ils sont humides et très durs quand ils sèchent ce qui les rend difficiles à travailler.

Les rendzines sont peu épaisses (10 à 40 cm), de profondeur irrégulière, caillouteuses et sèchent très vite, ce qui pose des problèmes d'alimentation hydrique des cultures. Leur bonne porosité facilite la pénétration des racines.

• *Fertilité organique et chimique* : ces sols sont riches en matière organique mais leur fertilité chimique est limitée par le faible volume de terre fine et la présence de calcaire actif.

Le calcaire actif:

. accélère la décomposition des matières organiques fraîches mais ralentit la minéralisation de l'humus. Le taux de matière organique est élevé, 4% à 5% en surface, puis diminue en profondeur (2%);

. rend le phosphore inassimilable par les plantes en le "rétrogradant" sous forme de phosphates tricalciques;

. rend le fer aussi plus difficile à assimiler, ce qui peut provoquer la chlorose de certaines plantes (blanchissement);

. élève le pH au dessus de 7 (7,5 à 9). Il en résulte une lenteur de la minéralisation de l'azote, dont une partie est perdue par drainage sous la forme de nitrate de calcium, et une insolubilisation de certains éléments comme le bore et le manganèse;

. provoque la saturation du complexe adsorbant par le calcium, pouvant induire des carences en potassium (K^+) et en magnésium (Mg^{++}).

Les rendzines nécessitent particulièrement des apports réguliers de matières organiques de manière à maintenir une teneur en humus suffisante. Les engrais verts rendent ces sols moins alcalins et favorise la minéralisation de l'humus.

On peut donc observer sur les végétaux cultivés sur ces sols des carences en K, N, P et Mg. Les apports d'éléments fertilisants doivent être réalisés en petites doses répétées pour éviter les pertes par lessivage (azote) ou rétrogradation (phosphore).

• Les sols bruns calcaires ou bruns calciques

Ce sont des sols plus évolués que les rendzines. Ils ont subi une "brunification" par élimination du calcaire. Ils se forment sur roches calcaires, en conditions de drainage plus important :

• pente moyenne à faible (selon pluviométrie) ;
• zones d'accumulation en bas de pente (faible pluviométrie).

Les sols bruns calcaires contiennent encore des carbonates (calcaire fin). Ils sont plus profonds que les rendzines, les plus épais sont ceux situés sur colluvions. **Le sol brun calcaire** devient **calcique** lorsque tous les carbonates ont été éliminés par drainage. Le calcium n'est présent que sous forme soluble et sature le complexe adsorbant.

Leurs caractéristiques agronomiques

Ils sont riches en matières organiques et en argiles. Leur réserve en eau dépend de leur profondeur et de leur pierrosité qui sont très variables.

Sur le plan chimique, ces sols sont moins défavorables que les rendzines, car le calcaire actif est moins abondant ou absent. Il cesse d'exercer une action nocive, mais garde une influence favorable sur la structure.

Les sols bruns sont le plus souvent des sols profonds et fertiles qui conviennent à une gamme étendue d'espèces. Le facteur limitant sur ces sols sera souvent plus le climat (pluviométrie).

Les sols bruns calcaires peuvent se former aussi sur des alluvions calcaires.

Sur versants basaltiques : des sols calciques mélanisés et des sols bruns eutrophes

Le basalte est une roche riche en calcium et en magnésium.

• Sur pente moyenne, se forment les sols **calciques mélanisés**, proches des rendzines mais sans carbonates (calcaire fin). La matière organique est très liée aux argiles.

• Sur pente faible, le drainage étant plus important une partie du calcium est lessivé, il se forme des sols **bruns eutrophes**, très proches des sols bruns calciques sur calcaire.

En général, sur versants basaltiques, les sols sont plus profonds et plus fertiles que sur les pentes calcaires. Ils sont plus sensibles à l'érosion mais se reconstituent aussi beaucoup plus vite.

Sur pentes faibles calcaires ou basaltiques : des sols rouges fersiallitiques

Ces sols se forment sur toute roche lorsque la pente est faible et dans les dépressions des plateaux calcaires où le drainage est important.

Leur formation (la fersiallitisation) nécessite :

• un climat humide avec une saison sèche marquée ;

• une élimination totale des carbonates pour les roches calcaires donc un bon drainage;

• une richesse suffisante en Fer, Silice et Aluminium, (d'où leur nom : Fer-Si-Allitique).

Durant la saison humide, les minéraux sont fortement altérés, le fer est libéré, oxydé et donne au sol une couleur rouge (c'est la rubéfaction). La silice et les bases sont plus ou moins lessivées.

Durant la saison sèche, les bases remontent avec la solution du sol par capillarité et saturent le complexe adsorbant. La présence de silice et de bases permet la formation d'argiles du type montmorillonite (argile gonflante).

Dans les situations où le drainage est important, une plus grande partie de la silice et des bases est lessivée et les argiles qui dominent sont alors des kaolinites.

Les sols formés sur versants basaltiques à fortes pentes sont très sensibles à l'érosion. Lavial, région de Jacmel (photo M. Bonnefoy).



Leurs propriétés agronomiques

Ce sont des sols d'épaisseur très variable où la matière organique évolue assez rapidement. Les fortes teneurs en argile leur confèrent une structure stable, polyédrique fine à moyenne en surface, grossière en profondeur.

Leur CEC peut être importante lorsque les argiles gonflantes dominent. Elle est souvent saturée par le calcium. Leur pH est neutre ou légèrement alcalin (7 à 8). Leur fertilité chimique est bonne et ne présente aucun déséquilibre. Elle est malgré tout étroitement liée aux restitutions organiques.

Lorsque ces sols sont sur des pentes moyennes, et surtout basaltiques, ils sont très sensibles à l'érosion.

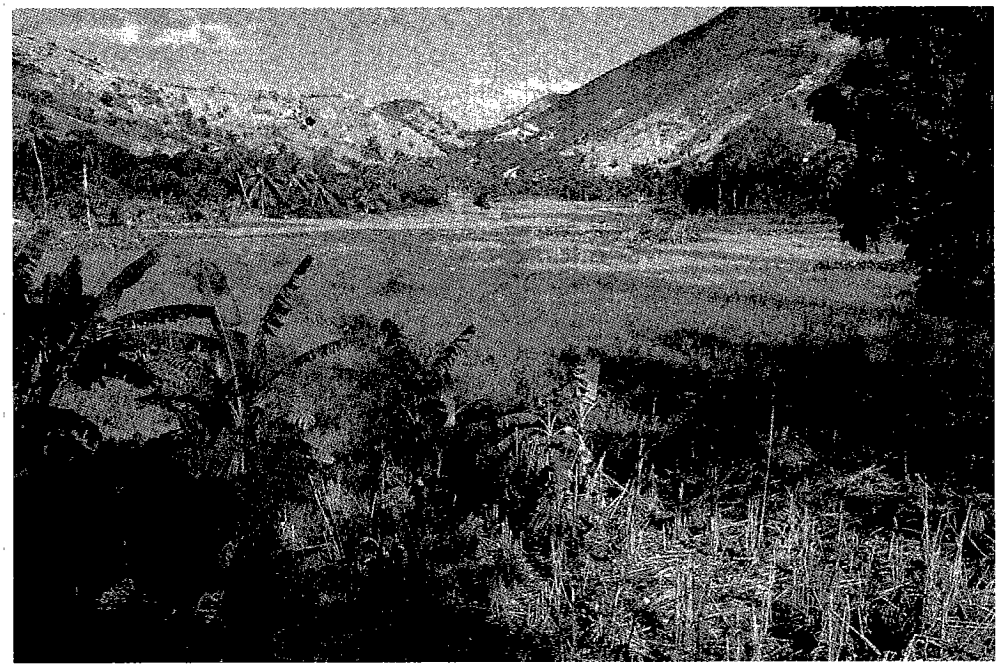
Lorsque les conditions de drainage sont bonnes et que la pluviométrie est importante, ces sols peuvent devenir acides, première étape vers la ferralitisation.

Sur les hauts plateaux calcaires de la région de Désarmes (Artibonite), des sols fersiallitiques se sont formés dans le fond des dépressions (dolines). Ces sols, reconnus comme les plus fertiles de cette zone sont les terrains privilégiés pour l'installation des "*lakous*" (jardins boisés, *devankay*).

En bas des pentes, dans les dépressions ou les bas-fonds : des «vertisols» et des «sols vertiques»

Les conditions nécessaires à la formation des vertisols sont :
- un climat à saison sèche marquée ;
- un mauvais drainage ;
- un milieu riche en calcium et en magnésium.

Il se forment donc dans les endroits où s'accumulent les éléments fins apportés par les eaux de ruissellement.
On peut en trouver sur différents types de matériaux : calcaires et marnes, basalte, colluvions d'origine basaltique ou calcaire, alluvions anciennes.



Dans les bas-fonds se forment des «vertisols» ou des «sols vertiques» (photo M. Bonnefoy).

Le mauvais drainage et la richesse du milieu permettent la formation d'argiles gonflantes en grande quantité (montmorillonite).
Les variations d'humectation et de dessication favorisent la maturation d'un humus stable et fortement lié à l'argile. Il se produit des "mouvements vertiques": sous l'effet des alternances de retrait et de gonflement de l'argile, les matières organiques sont incorporées profondément dans le sol (en tombant régulièrement dans les importantes fentes de retrait).

Ces sols, riches en matières organiques, présentent un épais horizon supérieur noir qui les caractérisent : "*tê nwa*".
Dans certains cas particuliers, ils peuvent être rouges (comme à Petite Rivière de Nippes par exemple).
Les sols vertiques se rattachent à d'autres types de sols, mais, de par leur teneur en montmorillonite et leur situation, ils sont soumis à des mouvements vertiques. On trouve par exemple des sols bruns vertiques ou des sols alluviaux vertiques.

Leurs caractéristiques agronomiques

- *Des propriétés physiques liées à l'argile gonflante*

La texture de ces sols est toujours très argileuse ; de 30% dans les sols peu vertiques à plus de 80% dans certains vertisols typiques (à Petite Rivière de Nippes par exemple).
Leur structure est assez grossière, prismatique et présente à sec de grandes fentes verticales. En surface elle peut être fine et grumeleuse à polyédrique moyenne selon le caractère vertique plus ou moins marqué.

La terre est très collante à l'état humide et de cohésion très forte à l'état sec ; ce qui la rend difficile à travailler. Notons que les mouvements vertiques réalisent naturellement un bon travail du sol.

Ces sols emmagasinent de grandes quantités d'eau mais celles-ci sont très fortement retenues par les argiles. La part facilement accessible aux plantes est finalement réduite (cf. le chapitre 9).
Leur faible perméabilité se traduit dans les situations de cuvette par des engorgements ponctuels (voire inondations) qui peut les rendre hydromorphes.
Sur la plaine d'Aquin où les vertisols sont dominants, cette imperméabilité favorise le ruissellement et l'érosion est importante malgré la très faible pente.

• *Une très bonne fertilité chimique et organique*
Le taux de matière organique dans l'horizon de surface est élevé (4% à 6%), il reste encore important en profondeur. Le pH de ces sols peut être légèrement acide à franchement alcalin. Leur capacité d'échange est extrêmement élevée (souvent proche de 80 meq/100g) dans l'horizon humifère. Le complexe adsorbant est très souvent saturé en bases.

Lorsque ces sols sont formés à partir de matériaux calcaires, la saturation de la CEC par le calcium peut provoquer une mauvaise disponibilité du potassium ou du magnésium et une immobilisation du phosphore.
La présence de calcaire actif peut aussi dans certains cas réduire l'assimilabilité du phosphore.
Ces sols sont parmi les sols tropicaux les plus fertiles. La plupart du temps, ils se situent dans des zones où la pluviométrie est faible et c'est l'eau qui est alors le facteur limitant les rendements.

• *Les vertisols peuvent être hydromorphes*
Dans les dépressions ou les bas-fonds, à la saison des pluies, ces sols peuvent être temporairement engorgés d'eau ou même inondés. On dit alors qu'ils sont hydromorphes.
Ils sont privés d'oxygène plus ou moins longtemps car l'eau occupe toute la porosité du sol et cela a plusieurs conséquences :
- la structure se dégrade et devient compacte ;
- les racines ne respirent plus, elles réduisent leur développement et nourrissent mal la plante ;
- la matière organique évolue mal ;
- le fer n'est plus oxydé, il est réduit et devient soluble. Le sol prend par endroits une teinte gris-bleu, ce sont des gleys, caractéristiques des sols asphyxiés.

Dans les vertisols, l'hydromorphie est toujours temporaire et la matière organique évolue bien grâce à l'alternance des saisons.
Dans certains sols alluviaux de plaines ou de cuvette, l'hydromorphie peut être plus ou moins permanente. Ces sols sont la plupart du temps réservés à la riziculture. Dans certains, des aménagements sont réalisés pour les drainer.

Sur les hauts plateaux calcaires : des sols rouges ferralitiques

Ces sols n'ont été étudiés que dans la péninsule sud d'Haïti, sur le plateau des Rochelois près de Miragoane et sur les plateaux de Ridoré et Ternier près de Jacmel.
La présence de sols profonds sur calcaires durs (jusqu'à plusieurs mètres) laisse supposer qu'ils se sont formés à partir d'une roche qui recouvrait antérieurement ces plateaux.
A la suite d'une longue évolution, cette roche (probablement du calcaire marneux) aurait totalement disparu, laissant à la place des sols très évolués : des sols ferralitiques.

Les conditions sont réunies pour permettre une ferralitisation ;
• une pluviométrie élevée ;
• une température moyenne élevée ;
• une altération très ancienne ;
• un sous-sol très perméable.
Ainsi, les bases et la silice sont, pour l'essentiel, évacuées par les eaux de drainage.
Les sols formés dans ces conditions sont riches en hydroxydes de fer et en alumine, le premier donnant la couleur rouge aux sols. Seules, les argiles à une seule couche de silice (kaolinites) peuvent se former et subsister dans ces sols.

Dans certains cas extrêmes, la ferralitisation conduit à un lessivage complet de la silice et des bases et à une accumulation d'hydroxydes de fer et d'alumine qui forment la *bauxite*. C'est le nom donné au minerai d'aluminium, exploité jusqu'en 1982 par la Compagnie Reynolds sur le plateau des Rochelois.

Leurs propriétés agronomiques

• *Des propriétés physiques favorables*

Bien que les analyses granulométriques donnent des teneurs en argile importantes pour ces sols, ils ne se comportent pas comme des sols très argileux. En effet, la fraction argileuse est constituée uniquement d'hydroxydes de fer, d'aluminium et de kaolinite.

La structure de ses sols est fine, elle se présente sous la forme de micro-agrégats très stables (de 50 à 100 µ) qui s'assemblent en mottes cohérentes. Elle se dégrade lorsque le taux de matière organique diminue fortement.

La porosité de ces sols est importante et permet un bon drainage (surtout microporosité).

La réserve en eau par unité de volume est assez faible mais, dans la mesure où les plantes ont un enracinement profond, la réserve en eau globale est importante (sols profonds).

• *Une fertilité chimique très fragile (voir aussi le chapitre 10)*

La capacité d'échange cationique de la fraction minérale est pratiquement nulle. C'est donc la matière organique qui assure à elle seule le stockage des éléments nutritifs de deux façons :

- en fixant les bases échangeables sur les sites électronégatifs de l'humus ;
- en stockant sous forme organique, dans l'humus et les matières organiques fraîches, les cations, l'azote et le phosphore qui seront libérés par la minéralisation.

Le phosphore, en milieu acide et riche en Al^{3+} et Fe^{2+}, se trouve sous forme peu soluble et est inassimilable par les plantes.

Etant donné la présence d'une roche calcaire, la CEC est souvent saturée en calcium.En revanche, on y observe des carences en potassium.

Dans ces sols, la fertilité chimique dépend donc uniquement du taux de matière organique.

Cela explique les pratiques des paysans de ces plateaux calcaires qui concentrent les matières organiques dans les parcelles cultivées de manière intensive près des habitations (fumier, résidus de cultures et de cuisine).

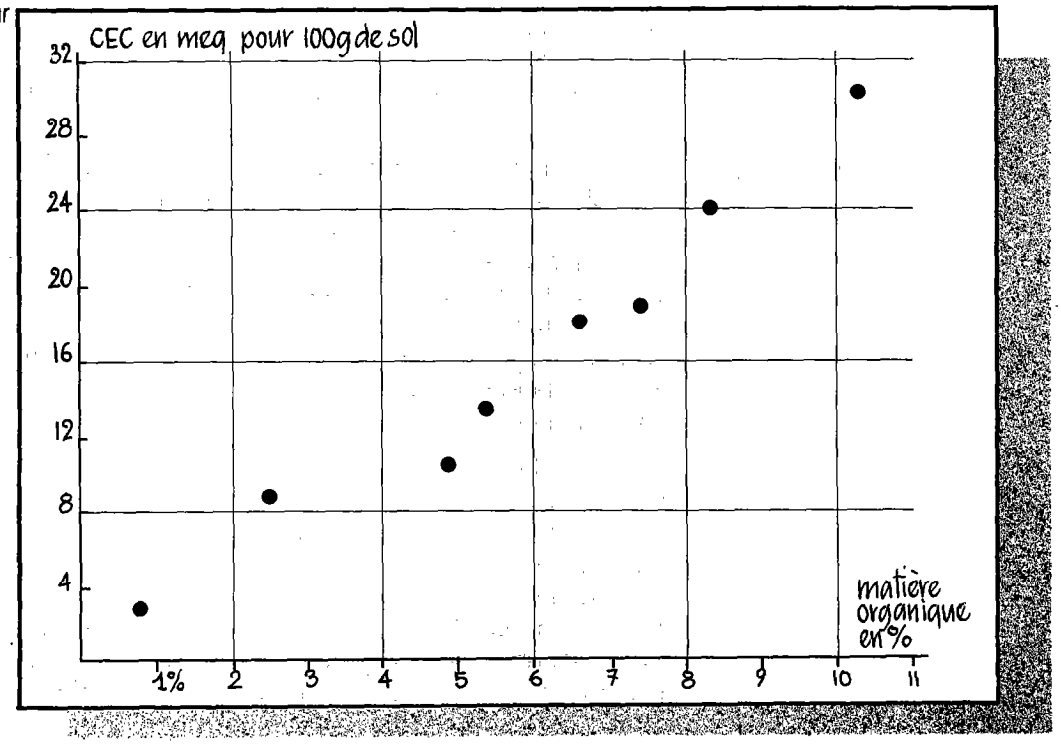


Figure 47 : relation entre la teneur en matière organique et la CEC des sols ferralitiques du Plateau des Rochelois.

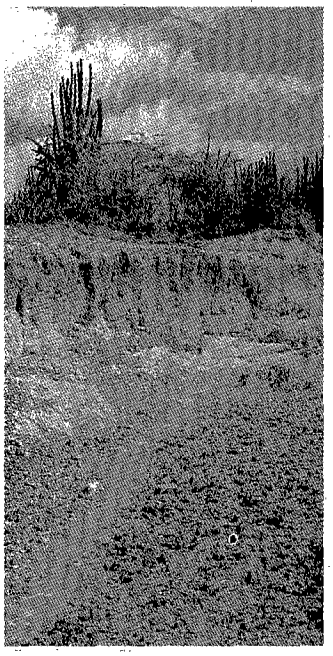
Dans les sols ferralitiques courts, en plus des problèmes organiques et minéraux évoqués ci-dessus, se posent des problèmes d'alimentation en eau des plantes.
Dans des sols ferralitiques appauvris en matières organiques, l'utilisation d'engrais solubles aurait plusieurs effets défavorables :
• un gaspillage des cations qui seraient rapidement lessivés, ne pouvant être fixés (très faible CEC) ;
• un blocage du phosphore apporté sous forme de phosphate d'aluminium ;
• un éventuel déséquilibre cationique provoquant une acidification du sol.
Il faut donc privilégier la fertilisation organique qui non seulement fournit des éléments minéraux mais produit de l'humus, capable de retenir les cations apportés par la suite.

Dans les plaines et les vallées : des sols formés sur alluvions

Les alluvions sont constituées par des accumulations de particules (argiles, limons, sables, pierres) arrachées sur les versants des mornes par l'érosion, puis déposées dans des zones planes quand l'eau qui les transportent perd de sa vitesse. Les facteurs qui conditionnent ces accumulations sont complexes : matériaux d'origine, vitesse de l'eau, conditions d'alluvionnement.

Ces sols de composition et de caractéristiques très variables constituent toutes les plaines et vallées d'Haïti - (plaine du Nord - plaine des Cayes-vallée de l'Artibonite...) et représentent donc des surfaces agricoles très importantes.

Il faut distinguer :
• *les alluvions anciennes* qui ont pu subir une forme de pédogenèse (altération des matériaux accumulés) et peuvent être soumis à l'érosion ;
• *les alluvions récentes* (ou actuelles) qui sont constamment rajeunies par de nouveaux apports.
Souvent, le problème de ces sols n'est pas la fertilité chimique. Ils sont généralement bien pourvus en éléments minéraux puisque ce sont d'abord les éléments les plus fins qui sont emmenés par l'eau de ruissellement. Ce sont surtout le climat, l'hydrologie de la zone et le fonctionnement hydrique de ces sols qui vont déterminer leurs aptitudes culturales.



Profil pédologique sur alluvions à la plaine de Larbre (paroi d'une ravine).
On observe une succession de couches de terre de couleurs différentes. La couche plus sombre est un horizon organique qui a été recouvert par des alluvions récentes (photo M. Bonnefoy).

Les sols formés sur alluvions se situent souvent dans des régions à faible pluviométrie (basses altitudes) ; l'alimentation en eau des plantes est ainsi souvent le facteur principal limitant la production agricole (ex : plaine d'Aquin, plaine des Gonaïves).
Dans ces conditions, la possibilité d'irrigation est déterminante ; la contrainte liée à la disponibilité en eau étant levée, ces sols sont souvent fertiles et permettent de bons rendements (plaine de l'Artibonite).

Sols hydromorphes
Les sols hydromorphes se situent dans les "bas-fonds", à proximité des rivières, en bordure de mer (avec parfois des problèmes de salinité) et dans les plaines aux sols ou sous-sols imperméables : certains secteurs de la plaine du Nord par exemple.
Une hydromorphie peut être due soit à une *nappe perchée d'origine pluviale* retenue par un horizon imperméable, soit à la proximité de la *nappe phréatique*. Elle peut être temporaire (apparition durant la saison des pluies) soit permanente.

Ces sols sont, en général, cultivés en riz durant la saison des pluies (période d'inondation), puis en cultures pluviales (tubercules, haricots) sur buttes ou billons durant la saison sèche (voir les systèmes de culture de Camp-Louise).
Les possibilités de mises en valeur de ces sols dépendent essentiellement de la dynamique de l'eau. Certaines zones hydromorphes en Haïti ont été l'objet d'aménagements de drainage.

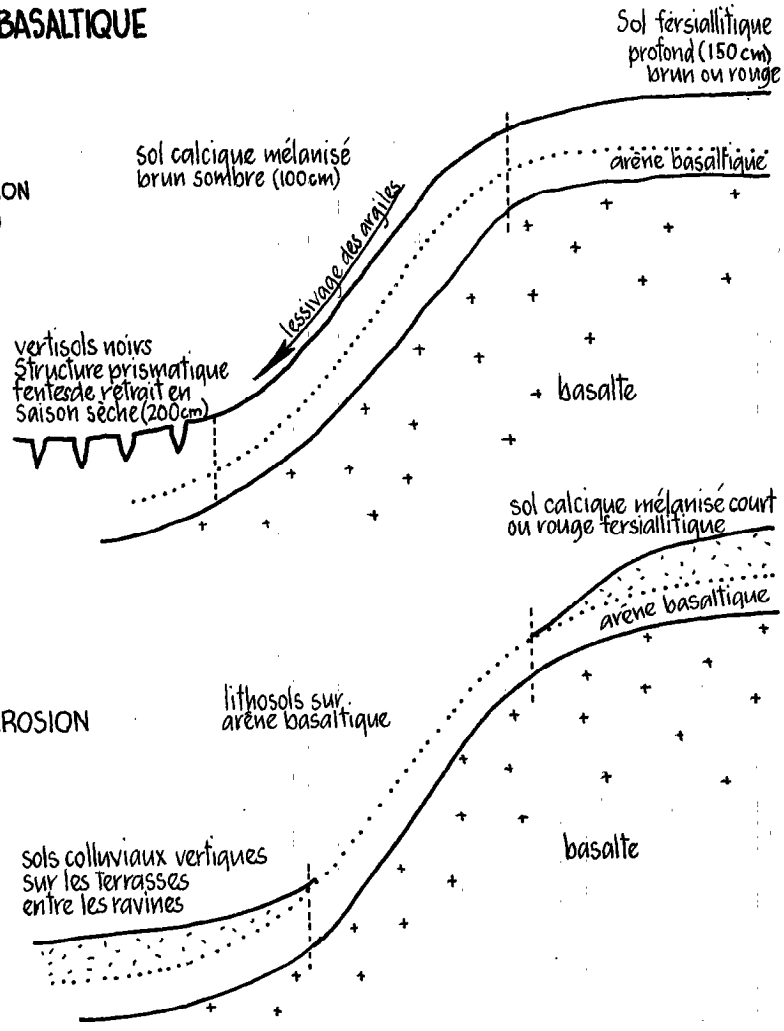
• Les alluvions dans les vallées fluviales
Ces alluvions sont déposées par les rivières (ou les ravines) lors des crues. Le mode de dépôt des particules transportées par l'eau suit *la loi de sédimentation* ; les plus fines étant déposées en dernier quand l'eau a perdu le maximum de sa vitesse.

• Les éléments les plus grossiers sont déposés en premier et forment ainsi les berges qui petit à petit peuvent soulever le lit de la rivière.

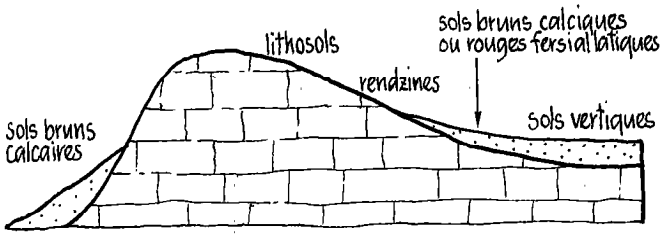
CHAÎNES DE SOLS SUR VERSANTS CALCAIRES ET BASALTIQUES.

(d'après Y.M Cabidoche-INRA Guadeloupe - Reconnaissance pédologique dans le district de Jacmel - 1984).

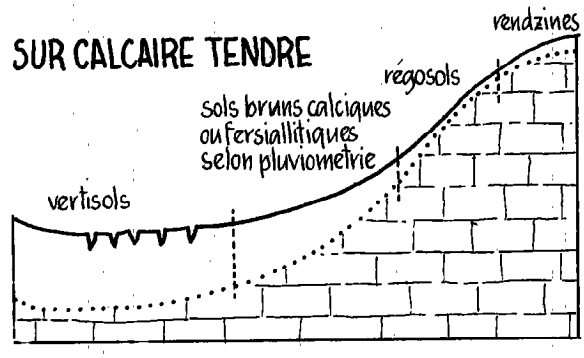
SUR VERSANT BASALTIQUE



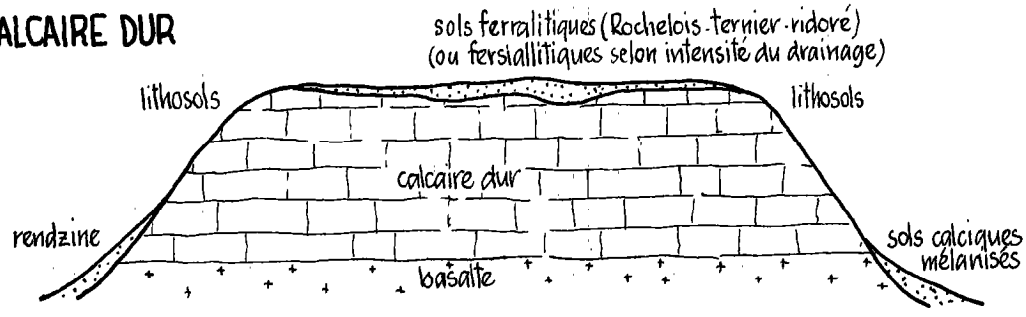
SUR CALCAIRE DUR (mornes)



SUR CALCAIRE TENDRE



SUR PLATEAU DE CALCAIRE DUR



Lors des crues, les éléments les plus fins (argiles) sont déposés en dernier et s'accumulent dans la cuvette où l'on trouve des sols hydromorphes (imperméables et engorgés d'eau à la saison des pluies).

Ceci concerne les alluvions récentes qui reçoivent encore régulièrement des apports. En cas de crues plus importantes, les argiles accumulées dans les dépressions peuvent être recouvertes de sables ou de graviers. C'est ainsi que l'on peut observer des profils de sols caractérisés par des successions de couches de terres de composition granulométrique différente.

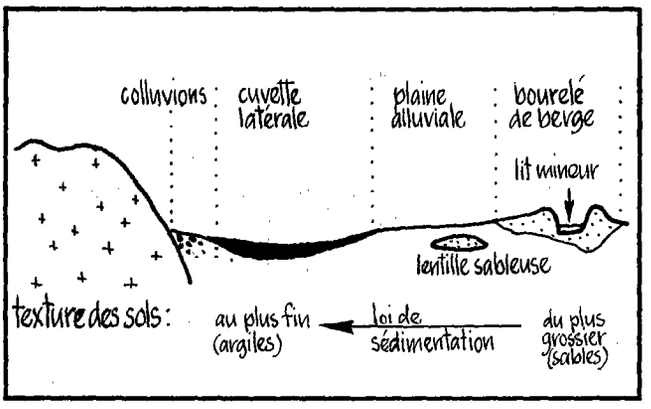


Figure 48 : sols formés sur alluvions.

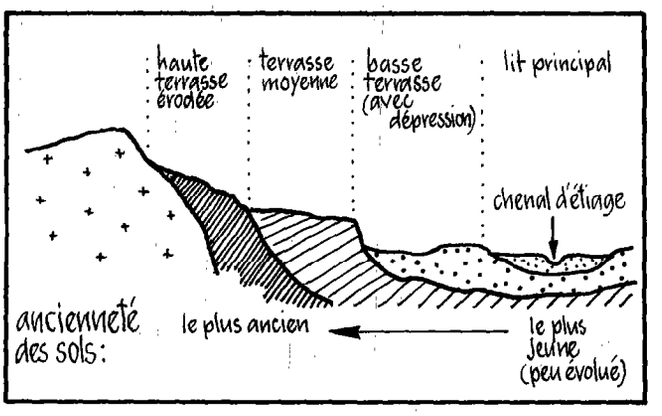


Figure 49 : sols formés et alluvions.

Dans les vallées plus importantes, les alluvions qui ont été déposées à différentes périodes forment des terrasses alluviales anciennes qui ne sont plus inondées.

• **Les sols de plaine alluviale**: cas d'une plaine au climat sec, la plaine de Larbre.

. Les sols de la plaine d'épandage

Ce sont des sols jeunes et constamment rajeunis par les apports des crues naturelles ou de l'irrigation.

La pédogenèse y est d'autant plus faible que le climat est sec. La mise en valeur de ces terres par les paysans est liée aux différentes possibilités d'irrigation. La pratique de l'irrigation, quelqu'en soit la technique, modifie le rythme de sédimentation et conditionne l'évolution pédogénétique de ces sols. Ces sols se caractérisent par une faible structuration (peu de cohésion), une porosité élevée (mais surtout texturale) et une alternance de dépôts de texture variée.

Dans les zones les plus basses (cuvettes), l'accumulation des éléments fins et l'alternance d'humectation et de dessication favorisent la néo-formation de montmorillonites. Les sols de ces zones sont à tendance vertique.

Au niveau agronomique, une grande variabilité des sols à l'intérieur d'une même parcelle rend difficile le choix de techniques adaptées (cultures, doses d'irrigation, fertilisation).

Fertilité de ces sols

. Ils sont pourvus en matières organique (2 à 6%), celle-ci est répartie dans tout le profil.

. La CEC est élevée et saturée en calcium.

. La richesse en calcaire (souvent supérieure à 20%) et le pH élevé (> 7,8) de ces sols conditionnent leur fertilité chimique :

- carences possibles en fer et en manganèse, en bore, cuivre et zinc qui peuvent provoquer une chlorose.
- le phosphore peut être bloqué sous forme de phosphates tri-calciques insolubles.
- le pH favorise l'assimilation du K, Mg, N et S d'autant plus qu'il n'apparaît pas de déséquilibre Ca/Mg ou Mg/K (qui pourrait rendre Mg ou K insuffisamment disponible).

. Les teneurs en phosphore sont moyennes et par endroits faibles.

. Les teneurs en potassium sont bonnes et parfois très élevées.

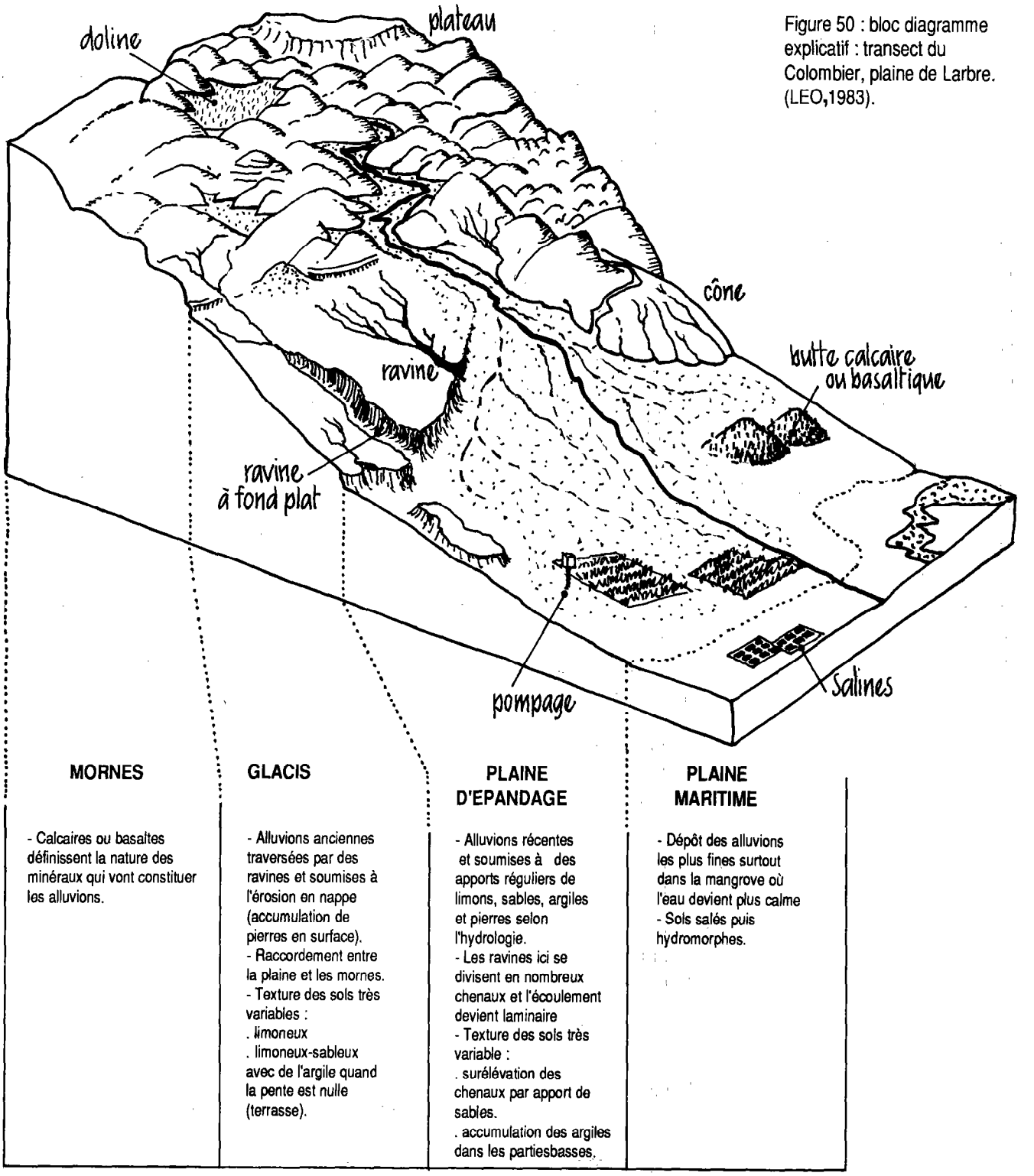


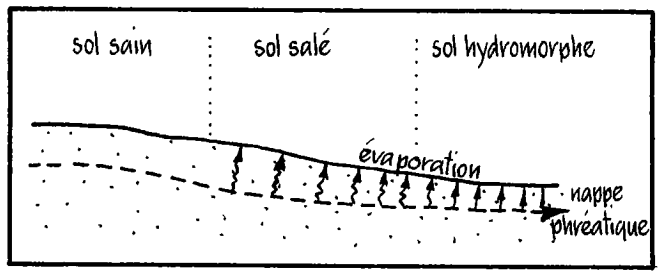
Figure 50 : bloc diagramme explicatif : transect du Colombier, plaine de Larbre. (LEO,1983).

. Les réserves en eau de ces sols sont assez élevées, fonction du pourcentage de matière organique et de la granulométrie. (voir chapitre 9, exemple de calcul de R.U.).

• Les sols de la plaine maritime

Au fur et à mesure que l'on va vers la mer, la nappe phréatique d'eau douce ou peu salée se rapproche de la surface. La forte évaporation permet une remontée capillaire et une concentration des sels en surface rendant le sol inculte (profondeur inférieure à 3-4 cm). Ce sol est issu d'un matériau d'origine salé et gypseux. Ces sols salés précèdent les sols hydromorphes (engorgés d'eau).

Figure 51 : sols de plaine maritime.



«Salines» dans la plaine maritime de la plaine de Larbre (photo M. Bonnefoy).



L'EXPLOITATION ET SON ENVIRONNEMENT ÉCONOMIQUE

DÉFINIR L'EXPLOITATION ET LA SITUER DANS SON ENVIRONNEMENT 93

Qu'est-ce qu'une exploitation agricole ? 96

- Les éléments d'une exploitation agricole 96
- Caractériser l'appareil de production 98

L'exploitation dans son environnement économique et social 104

- L'accès à la terre 104
- L'accès aux moyens de production 108
- L'accès à la main-d'œuvre "extérieure" : les relations entre agriculteurs 110
- La commercialisation des productions agricoles 112
- Les relations avec l'Etat 115

DÉCRIRE LE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION ET MESURER LES RÉSULTATS ÉCONOMIQUES 119

Deux exploitations en fonctionnement : Dieujuste et Luckner 120

- Première étape : caractérisation des exploitations 121
- Deuxième étape : l'analyse du fonctionnement 122
- Apporter des améliorations adaptées 127

Calcul des résultats économiques 130

- La production de l'exploitation : calcul du produit brut 130
- Calcul de la valeur ajoutée 132
- Répartition de la valeur ajoutée : calcul du revenu 134
- Exemples de calcul 136
- Analyse des résultats économiques 141

ETUDE RÉGIONALE : LA CANNE À SUCRE DANS LA PLAINE DU NORD 147

L'histoire agraire de la Plaine du Nord 149

- Une succession de productions 149
- Les leçons de l'histoire 150

Des systèmes de culture et d'élevage variés 152

- La culture de la canne 152

- La culture de la banane 154
- Les associations vivrières 155
- Les autres systèmes de cultures 157
- L'élevage 158
- Un choix économique plus qu'agronomique 159

La logique de fonctionnement économique des exploitations 160

- Les salariés agricoles, métayers et fermiers (type 1) 161
- Les petits propriétaires (type 2) 164
- Les moyens propriétaires (type 3) 166
- Les exploitations capitalistes (type 4) 168
- Une sous-utilisation des ressources nationales : terre et travail 169

Quelle politique agricole pour la Plaine du Nord 171

- Les causes des difficultés de l'industrie sucrière 171
- En cas de fermeture de l'USN : quelles évolutions ? 173

Définir l'exploitation et la situer dans son environnement

Les exploitations agricoles haïtiennes se présentent, pour la plupart, comme des exploitations *familiales*, car le rôle de la famille y est essentiel. Pour comprendre le fonctionnement de ces *unités de production*, il faut en analyser chaque composante, puis les resituer dans leur environnement économique et social.

Des exploitations essentiellement familiales

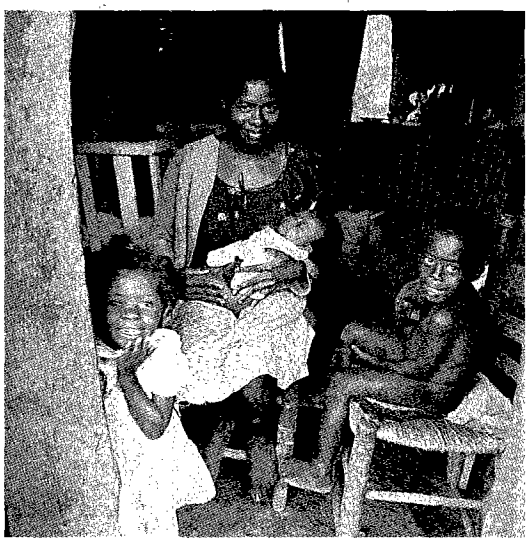
• La construction même de l'exploitation

L'exploitation est constituée autour de la maison d'habitation *(la kaye)* occupée par une famille: un couple et ses enfants, une femme et ses enfants....
Cependant, à certains moments de l'histoire de l'exploitation, il se peut que la maison ne soit pas occupée par une famille, mais seulement par un jeune n'ayant pas encore fondé une famille, ou par une personne seule dont la famille (enfants, adultes...) n'est plus présente.
Il se peut aussi que la maison ne soit pas encore construite: c'est le cas chez les jeunes hommes qui sont en train de constituer leur exploitation. Les constructions sur l'exploitation se limitent alors à une cuisine. La maison sera construite progressivement avec les premiers revenus de l'agriculture ou de l'élevage. La maison terminée, le jeune homme pourra alors prendre femme.
Une même unité de résidence, c'est-à-dire une même maison ou plusieurs maisons rassemblées dans la même cour, peuvent abriter plusieurs exploitations. C'est notamment le cas lorsqu'un jeune continue à vivre avec ses parents, mais dispose déjà de parcelles et d'animaux dont il a, seul, la responsabilité.

La kaye est le centre de l'exploitation familiale.

Assurer la subsistance de la famille est le premier objectif de l'exploitation agricole (photos G. de Laubier).





• Son fonctionnement

Le travail nécessaire au fonctionnement de l'exploitation (travail sur les jardins, soins aux animaux, vente des produits,...) est essentiellement fourni par les membres de la famille.
Cependant une part plus ou moins importante de travail peut être réalisée par des *ramponneaux*, des *coumbites* ou encore par des *journées* achetées à des voisins, des jeunes sans terre,....
Inversement, certains membres de la famille peuvent consacrer une partie de leur travail hors de l'exploitation familiale.
Ce travail familial hors exploitation peut être agricole (notamment lorsqu'il y a vente de *journées* à un voisin...), ou non-agricole. C'est souvent le cas des femmes qui font du commerce ; parfois celui des hommes qui ont une activité artisanale par exemple. Ces activités familiales hors exploitation sont importantes à considérer dans l'analyse du fonctionnement de l'exploitation. En effet, elles réduisent la force de travail disponible mais génèrent des revenus complémentaires, parfois utilisés pour l'activité agricole (achat d'un animal, de semences...).

• Ses objectifs

Le premier objectif poursuivi est d'assurer, par l'activité agricole, la subsistance des travailleurs, c'est-à-dire de la famille. Le travail familial investi sur l'exploitation vise donc d'abord à produire pour satisfaire les besoins de la famille.
Il est important de remarquer que les besoins sont de différents ordres:
• des besoins alimentaires pouvant être satisfaits par des productions réalisées

sur l'exploitation même: céréales, fruits, légumes....
• des besoins alimentaires qui ne peuvent pas être satisfaits par des produits en provenance de l'exploitation: sel, huile, poisson....
• des besoins non alimentaires nécessitant pour être satisfaits de disposer d'argent : achat d'outils, habits, écolage des enfants, frais de maladie....
La satisfaction de l'ensemble des besoins de la famille peut donc difficilement être obtenue à partir de la seule autoconsommation des produits de l'exploitation. Il est indispensable que la famille vende au moins une partie de ses productions pour obtenir un revenu dit monétaire (c'est-à-dire sous forme d'argent); les exploitations doivent donc, de ce point de vue, être *marchandes*. Une exploitation est qualifiée de marchande lorsqu'elle vend une part de ses productions sur le marché. Si toutes les productions de l'exploitation sont utilisées ou consommées directement par la famille, l'exploitation est dite en *autosubsistance*.

Cependant, toutes les exploitations agricoles haïtiennes ne sont pas des exploitations familiales. Il existe des exploitations qui utilisent pour l'essentiel ou quasi-exclusivement de la main-d'œuvre fournie par des travailleurs salariés (temporaires ou permanents, journaliers, travailleurs engagés pour des contrats à la tâche,...). Ce type d'exploitation est appelée *exploitation capitaliste*.

Dans l'exploitation capitaliste,contrairement à l'exploitation familiale, il y a séparation entre celui qui fournit le capital (le propriétaire) et ceux qui fournissent le travail (les salariés). Ces exploitations sont généralement de grande, voire de très grande taille: d'une dizaine à plusieurs centaines de carreaux. Elles sont dirigées par des exploitants individuels ou des sociétés.

Qu'est-ce qu'une exploitation agricole?

LES ÉLÉMENTS D'UNE EXPLOITATION AGRICOLE

Une exploitation agricole, dans son fonctionnement productif, c'est-à-dire en tant qu'unité de production, doit réunir différents éléments, tous nécessaires pour qu'une production, qu'elle soit végétale ou animale, puisse être entreprise. Ces éléments sont: la terre, le travail (humain) et les moyens de production.

• La terre

C'est évidemment le support indispensable pour toute production, même pour les productions "hors-sol"* qui ne nécessitent que très peu de terre (à la limite seulement l'emplacement pour des bâtiments).

* La production de porcs réalisée dans des exploitations spécialisées achetant la totalité des aliments pour les animaux en dehors de l'exploitation est un exemple de production hors-sol.

• Le travail humain

Toute activité productive est impossible sans la mise en oeuvre de travail, que ce travail soit fourni par la famille, par des salariés ou par toute autre personne en relation avec l'exploitation.

• Les moyens de production

Ils correspondent à tous les autres biens ou matériels qui vont être utilisés au cours de la production :

• outils et machines: houe, machette, attelage de trait, charrue, tracteur,...
• bâtiments, infrastructures: maison d'habitation, intallations de stockage (grenier, drums,...), glacis de séchage, citerne, porcherie, ...
• animaux reproducteurs (mâles et femelles),
• semences, engrais, produits de traitements, aliments pour le bétail achetés (son pour les porcs)...
• aménagements fonciers: canaux et parcelles planées pour l'irrigation, terrasses, canaux de contour...
• plantations pérennes: café, cacao, canne, banane...

On regroupe souvent ces biens en deux catégories:

• les biens qui vont servir à plusieurs cycles de production (outils, bâtiments, cheptel reproducteur, aménagements fonciers, plantations). On les appelle aussi moyens de production à usage (ou à consommation) pluriannuel.
• les biens qui vont entrer dans le processus de production pour être transformés au cours d'un cycle. Ils sont encore appelés *consommations intermédiaires* ou intrants (inputs en anglais). Ce sont: semences, engrais, produits de traitement, aliments pour le bétail achetés, ...

L'exploitation agricole, en tant qu'unité de production, peut donc être définie comme **une combinaison de terre, travail et moyens de production choisie**

par l'exploitant pour artificialiser le milieu en sa faveur. Autrement dit, l'exploitation agricole applique du travail et des moyens de production aux écosystèmes dans lesquels elle se trouve afin d'assurer au moins la subsistance de ses travailleurs.

CERNER L'EXPLOITATION

Il est souvent difficile de cerner les limites exactes de l'exploitation agricole.

Prenons l'exemple de la famille de Relus
Relus a 45 ans. Il habite l'essentiel de l'année à "Tête de l'eau", où il a une femme, Anilia, et cinq enfants. Les deux ainés, Gérard (21 ans) et Lucien (18 ans), sont suivis de deux filles; puis d'un très jeune garçon, Elifet.
A "Tête de l'eau" et dans ses environs, Rélus cultive sept jardins, totalisant un carreau et demi. Il a aussi deux boeufs, trois chèvres (dont Elifet s'occupe). En plus de ces sept jardins cultivés sous la responsabilité du père, chacun des deux fils cultive de son côté d'autres parcelles. Gérard travaille deux jardins : le premier lui a été cédé par son père, et le second est "affermé", c'est-à-dire en fermage. Lucien cultive un seul jardin, donné par Rélus, mais a en plus un jeune boeuf, qu'il laisse pâturer sur les terres de la famille. Le petit Elifet possède lui-même déjà un jeune cabrit. Anilia tient un petit commerce, avec la plus jeune de ses filles.
L'autre fille fait un peu de couture, et vend les vêtements fabriqués.

Dans cet exemple, comme souvent en Haïti, il n'y a pas coïncidence exacte entre *l'unité de résidence, l'unité de production, l'unité de consommation* et *l'unité d'accumulation*. Ainsi, toute la famille résidant dans la même *kaye*, nous sommes en présence d'*une seule unité de résidence*. Si tout le monde mange la même cuisine, il n'y a également qu'*une seule unité de consommation*. En réalité, ceci n'est pas vrai: chacun des grands enfants est individuellement responsable lorsqu'il s'agit d'acheter une chemise... ou de jouer à la *borlette*.

Lorsqu'enfin on considère la production, on peut identifier *six unités de production* :
- la première constituée de Relus et de sa famille à temps partiel, de ses sept jardins, deux boeufs, trois chèvres et six poules....;
- la seconde avec Gérard (à temps partiel) et de ses deux parcelles,
- la troisième avec Lucien, son jardin et son jeune boeuf,
- la quatrième avec Elifet et son cabrit,
- la cinquième avec le commerce d'Anilia,
- la sixième avec l'atelier de couture de la jeune fille.

Figure 52 : la famille de Relus, six unités de production

Le travail	La terre	Les moyens de production	UP	Le travail	Les moyens de production	UP
Relus	J1 J2 J3 J4 J5 J6 J7	B1 B2 C1 C2 C3	**UP1**	Anilia 1ère fille	fond de commerce	**UP5**
Gérard	J8 J9		**UP2**	2nde fille	atelier couture	**UP6**
Lucien	J10	B3	**UP3**			
Elifet		C4	**UP4**			

J1 : jardin n°1 ; B1 : boeuf n°1 ; C1 : cabri n°1.

Les quatre premières sont des unités de production agricoles, les deux dernières sont des unités de production familiales, mais non agricoles.
En théorie, *chaque unité de production est caractérisée par un centre de décision unique*. Dans la pratique, la distinction est souvent malaisée: ainsi le boeuf de Lucien est bien reconnu par tous comme sa propriété personnelle, puisqu'il l'a acquis grâce à la vente de ses journées de travail. Mais comme il pâture le plus souvent dans les jardins de Relus, peut-on vraiment le considérer comme élément

d'une exploitation à part?
Pour simplifier, on considèrera souvent, dans une première approche, qu'il n'y a là qu'une seule exploitation agricole. On fait alors l'assimilation entre l'unité de résidence, l'unité de consommation et l'unité de production. Mais on gardera présent à l'esprit que cette assimilation est abusive, et par une analyse plus approfondie, il faudra faire la distinction entre les différentes unités, puisque chacune met en jeu une combinaison différente de terre, de travail et de moyens de production.

Figure 53 : la famille de Relus, une exploitation agricole et des activités annexes

<table>
<tr><td>Relus</td><td>J1 J2 J3
J4 J5 J6 J7</td><td>B1 B2
C1 C2 C3</td><td rowspan="4">unité de production agricole
=
exploitation agricole</td><td>Anilia
1ère fille</td><td>fond de commerce</td><td rowspan="4">unité de production non agricole
=
activités annexes</td></tr>
<tr><td>Gérard</td><td>J8 J9</td><td></td><td rowspan="3">2nde fille</td><td rowspan="3">atelier couture</td></tr>
<tr><td>Lucien</td><td>J10</td><td>B3</td></tr>
<tr><td>Elifet</td><td></td><td>C4</td></tr>
</table>

L'exemple présenté ici apparait complexe, mais la réalité l'est souvent encore davantage. Il peut en effet y avoir plusieurs unités de consommation au sein d'une même unité de résidence (fréquemment si l'un des enfants est "placé"). Un même exploitant peut aussi avoir installé une *femme-jardin* sur une partie éloignée de son exploitation: il y a alors une seule exploitation pour deux résidences...
Pour un agronome, comprendre ces situations est nécessaire pour pouvoir expliquer les pratiques agricoles des paysans. Ainsi pourra-t-il identifier les facteurs de blocage du développement pour une exploitation, puis un quartier et enfin une petite région.

Le commerce pratiqué par une femme ou une fille est considéré comme extérieur à l'agriculture, tout comme l'artisanat souvent pratiqué par les hommes, tels ces scieurs de long.
(photos D. Mermet).





CARACTERISER L'APPAREIL DE PRODUCTION

La première étape dans la description et l'analyse d'une exploitation agricole est la caractérisation qualitative et quantitative de son *appareil de production* (terre, travail, moyens de production).

LA TERRE OU FONCIER

Le foncier de l'exploitation est constitué par l'ensemble des terres exploitées (jardins, *raks*, pâturages pour le bétail, bois,...) et des superficies construites (occupées par la *kaye*, la cuisine, le glacis,...).
Les jardins sont des parcelles cultivées. Celles-ci peuvent être effectivement en culture ou en jachère. Les *raks* sont des surfaces non cultivées, mais utilisées collectivement pour le pâturage des animaux.

La nature des terres

Elle peut être appréciée par des caractéristiques physiques et par la nature des écosystèmes représentés sur l'exploitation: type de sol, nature du sous-sol, niveau de fertilité, morne/plaine, humide/sec, pente, exposition, altitude,...
Ces renseignements sur le foncier de l'exploitation sont, dans certains cas, décisifs. En effet, certains exploitants cherchent à disposer de jardins dans différents écosystèmes, ce qui peut leur permettre par exemple :
• de cultiver un plus grand nombre d'espèces (par exemple riz irrigué ou inondé en plaine ou dans des bas-fonds et espèces pluviales dans les mornes) ;
• de décaler les calendriers culturaux pour mieux faire face aux pointes de travail (par exemple en disposant de jardins situés à différentes altitudes) ;
• de réduire les risques de mauvaise récolte; un accident climatique a moins de chances de se produire également et simultanément sur tous les jardins s'ils sont dispersés dans différents écosystèmes.

La superficie



La terre, la force de travail et les moyens de production (ici un outil et les semences) constituent les bases de l'appareil de production (photo G. de Laubier).

Elle est une donnée essentielle à connaître pour qui s'intéresse à une analyse économique de l'exploitation.
La superficie totale de l'exploitation comprend les superficies exploitées (jardins, terres utilisées par le bétail) et les surfaces construites. Les unités de mesure habituellement utilisées sont le carreau (c) ou l'hectare (ha), 1 c = 1,29 ha.
Cependant, dans certaines régions, les paysans utilisent d'autres unités ; il conviendra d'en réaliser une estimation en carreaux avant d'entreprendre tout travail d'analyse économique dans ces régions.

Lors d'une enquête, on ne cherchera pas à connaître directement la superficie totale de l'exploitation. On préfèrera faire l'inventaire de toutes les parcelles, en identifiant chacune par le nom du lieu-dit où elle est située. On demandera la surface de chacune, puis on effectuera la somme pour calculer la superficie totale de l'exploitation.
Il est rare que le premier inventaire suffise pour dresser la liste de toutes les parcelles de l'exploitation, car l'enquêté en omet souvent quelques-unes, soit volontairement, soit involontairement. L'expérience et le savoir-faire de l'enquêteur permettent de réduire ces omissions.
Lors de l'étude d'une exploitation, il est parfois souhaitable de visiter toutes les parcelles afin d'en estimer la superficie plus précisément que ce qui peut être fait à partir des déclarations de l'exploitant.

Le mode de tenure

Il définit la nature des relations juridiques existant entre l'exploitant et le sol qu'il utilise.
La situation foncière en Haïti se caractérise par une très grande diversité des modes de tenure, avec des différenciations régionales importantes. Pour simplifier, nous n'en distinguerons ici que quatre grands types.

• Les terres en propriété
Les terres dont les exploitants sont propriétaires sont exploitées *en faire-valoir direct*. Il s'agit d'abord des parcelles achetées, en bonne et due forme. On trouve également dans cette catégorie les surfaces héritées, pour lesquelles il y a eu un partage formel, avec arpentage et légalisation par un notaire.
Parcelles achetées et héritées avec séparation formelle représentent les *'té tit'* pour lesquelles l'exploitant dispose d'un titre individuel de propriété. L'exploitant propriétaire peut utiliser ces terres à sa guise, en toute liberté. Il est très rare que son droit de propriété soit remis en cause. On dit que la *sécurité de tenure est forte*.

Parmi les terres en propriété, on classe également les *terres en indivision*. Celles-ci sont des terres héritées, mais qui n'ont pas été officiellement partagées entre les

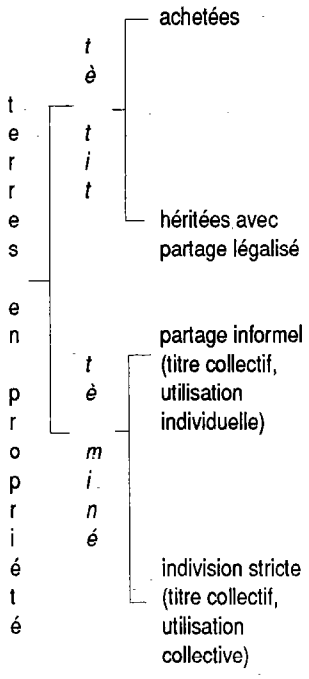


Figure 54 : les terres en propriété

héritiers. La propriété est collective. Ce sont les terres "mineures", *'té miné'*, au sens strict.

Les transactions foncières au moment d'un héritage peuvent se dérouler de différentes manières:
. soit les co-héritiers n'arrivent pas à se mettre d'accord pour procéder à un partage formel du foncier et la terre reste en indivision stricte ; chacun des cohéritiers est libre de l'utiliser comme bon lui semble.
. soit la taille des parcelles résultant de la division serait si faible que les dépenses nécessaires à l'établissement d'un titre de propriété (frais d'arpentage et de notariat) dépasseraient la valeur de la terre. Les co-héritiers peuvent alors choisir d'exploiter les terres en indivision stricte. Mais ils peuvent aussi procéder, d'un commun accord, à un partage sans l'officialiser avec l'établissement de titres de propriété par un notaire. Dans ce cas, la sécurité de tenure pour chaque "propriétaire" est moindre que lorsqu'il y a émission de titres de propriété, car le partage peut être remis en cause en cas de mésentente. On dit qu'il y a *partage informel.*

L'indivision en partage informel est le statut foncier le plus courant au sein de la petite paysannerie haïtienne. L'indivision peut être de première génération (il s'agissait d'une *'té tit'* d'un des parents), mais aussi de seconde, troisième génération ou au-delà. L'indivision peut remonter au-delà des souvenirs des occupants actuels.
Plus l'indivision est ancienne, plus le risque d'un conflit entre les héritiers est important; la sécurité de tenure devient alors très faible.
Les conséquences de l'indivision sont très graves en Haïti. L'indivision est souvent accusée de décourager l'occupant de protéger sa terre, et encore plus de l'améliorer ou d'y faire des investissements susceptibles d'augmenter sa productivité.

• Les terres en métayage
Il s'agit d'un mode de *faire-valoir indirect*: l'exploitant n'est pas le propriétaire direct de la terre. L'exploitant et le propriétaire établissent un contrat oral donnant droit à l'exploitant (appelé métayer) d'utiliser les terres du propriétaire, pour une durée déterminée, et *en échange d'une part déterminée de la récolte.*
Cette part s'élève généralement en Haïti au tiers ou à la moitié de la récolte. Le contrat est le plus souvent de courte durée, pouvant se réduire à une saison de culture.
Ces terres sont dites *'socié'* ou *'de mouatié'*. La sécurité de tenure est faible. Un métayer n'a aucun intérêt à améliorer la qualité de sa terre; dans la plupart des cas, cela encouragerait le propriétaire à la reprendre pour l'exploiter directement.

• Les terres en fermage
Il s'agit encore d'un mode de *faire-valoir indirect.* L'exploitant et le propriétaire établissent un contrat (appelé bail) pour une durée déterminée, par lequel l'exploitant (appelé fermier) pourra utiliser les terres *en échange d'une somme déterminée et réglée au moment de l'établissement du contrat.*
La durée des baux est très variable. Elle peut ne pas excéder une saison de culture dans certaines plaines rizicoles (Artibonite, Solon, Saint Raphaël, ...); le fermage est alors appelé *'ferm'*. Le bail peut porter sur un grand nombre d'années; c'est généralement le cas dans les régions de morne et il est alors appelé *'potek'*.

• Les terres occupées
Il peut arriver que des exploitants utilisent des terres dont ils ne sont pas propriétaires légaux et pour lesquelles ils n'ont pas établi de contrat avec le propriétaire. Cette situation, souvent, concerne des terres occupées depuis très longtemps et dont le nom des propriétaires est méconnu.
Ces terres peuvent faire l'objet de transactions (ventes, locations, partages entre héritiers, ...) mais il n'est pas possible d'établir de contrats ni de titres de propriété.

Dans la caractérisation du foncier d'une exploitation, il importe de bien préciser le mode de tenure pour chaque jardin de l'exploitation. **Mais attention à ne pas confondre propriété foncière et exploitation agricole. Les parcelles d'une même propriété foncière peuvent être confiées à des exploitants diffé-**

rents, et une même exploitation peut rassembler des parcelles aux modes de tenure très variés.

Un paysan cultive des jardins de statut multiple: propriétaire de certains jardins, il en cultive d'autres en métayage ou en fermage. Des terres indivises mais informellement partagées peuvent être cultivées. Il peut enfin avoir accès à des terres indivises non partagées, par exemple pour le pâturage de son bétail.
Dans une enquête, on n'oubliera pas, après avoir fait l'inventaire des jardins et avoir caractérisé leur statut de demander à l'exploitant s'il ne possède pas en outre d'autres parcelles qu'il a *données* en métayage ou en fermage à d'autres paysans. L'inventaire et la caractérisation du foncier est d'un grand intérêt pour avoir une idée du niveau social et économique d'une exploitation agricole. Ils permettent de distinguer les paysans qui ont plus de jardins ou moins, et ceux qui sont plutôt propriétaires de ceux qui sont métayers.

Le capital foncier

Il est égal à *la valeur des terres en propriété.*
Bien que difficile à connaître précisément, on peut en faire une estimation simple après avoir demandé à des exploitants locaux à quel prix se vendent, en général, des terres de qualité analogue à celles de l'exploitation étudiée.

LE TRAVAIL

La description de l'appareil de production nécessite l'évaluation du travail effectivement dépensé dans l'activité agricole pendant un cycle de production (généralement un an). Ce travail peut être fourni :
• par la main-d'oeuvre dite "familiale". Il s'agit de la main-d'oeuvre fournie par les personnes de la famille vivant sur l'exploitation (dans la *kaye*) ;
• par une main-d'oeuvre dite "extérieure" (à l'exploitation): groupes d'entraide (*corvées*), associations de travail (*escouades, ramponneaux, coumbites)*, salariés ou journaliers.

L'analyse économique d'une exploitation agricole demande une *évaluation quantitative du travail utilisé sur l'exploitation.*
Cette évaluation est délicate, surtout pour la main-d'oeuvre familiale. En effet, les tâches domestiques, qui ne doivent pas être prises en compte dans l'analyse de l'*unité de production,* sont difficiles à distinguer des tâches agricoles. De plus, toute la main-d'oeuvre familiale ne s'investit pas toujours totalement dans un travail sur l'exploitation : commerce pour la femme, travail d'artisanat, participation à des échanges ou à des groupes de travail,....

En première approximation, on peut évaluer, en pourcentage, la part de travail que consacre chaque individu de la famille à l'activité agricole (au sens large, c'est-à-dire y compris l'élevage). Par exemple, la femme de l'exploitant peut être comptée à 80 % si elle consacre une journée par semaine à aller au marché, et les autres jours dans les jardins. Si, en revanche, elle tient une petite boutique, qui exige sa présence quotidienne, elle ne pourra être comptée qu'à 20 %.

Pour aller davantage dans le détail, on peut repérer, sur toute la durée d'un cycle de production, les principales périodes de travail et lister, pour chacune d'entre elles, le temps de travail fourni par la main-d'oeuvre "extérieure". On obtient, en additionnant ces deux types de travail, le nombre total d'heures de travail consacrées annuellement à la production agricole. On peut ensuite transformer cette valeur avec une unité de mesure plus simple (par exemple en journées de 6 ou 8 ou... heures de travail).

Une autre méthode, encore plus précise mais plus difficile à mettre en oeuvre consiste à faire l'inventaire, jardin après jardin, des travaux culturaux entrepris lors du dernier cycle: préparation du sol, semis, sarclages, ... Pour chacun de ces travaux, on reconstitue le nombre de journées qui ont été nécessaires, puis on additionne. On fait ensuite la même chose pour le bétail.

On peut remarquer que de tels calculs ne tiennent pas compte des différences dans la qualité de la force de travail des différents travailleurs (âge, force physique, état de santé, savoir-faire technique...)

LES MOYENS DE PRODUCTION

Pour connaître les moyens de production d'une exploitation, il faut en faire un inventaire à une date déterminée.



L'outil le plus courant est la houe dont il existe de nombreuses formes. La longueur du manche et la largeur du fer doivent être adaptées aux utilisateurs de l'outil et aux types de sols (photo G. de Laubier).

Là encore, tous les outils utilisés ne sont pas automatiquement en propriété. Une houe peut, par exemple, être cédée par un tiers au paysan en échange de services: une demi-journée de travail par exemple.

Parmi les moyens de production, une attention particulière est à porter au bétail: on distingue les animaux par leur espèce, leur âge, leur fonction (reproduction, engraissement, transport, traction...) et éventuellement leur état (femelles en gestation).
Tous les animaux ne sont pas en propriété. Certains sont en *gardiennage*, c'est-à-dire soignés et entretenus par l'exploitant alors qu'ils appartiennent à un tiers. En échange, l'exploitant reçoit une part du produit, par exemple un veau sur deux dans le cas d'une vache ou une part de la valeur à la vente dans le cas d'un jeune boeuf. Le gardiennage représente, pour les animaux, ce que le métayage est au foncier.

Lorsqu'on cherche à comparer plusieurs exploitations, il peut parfois être intéressant de faire une évaluation quantitative des moyens de production avec une unité de mesure homogène pour tous ces biens.
Les moyens de production sont tous de l'argent, du capital que l'exploitant a dû investir, à un moment ou à un autre, pour pouvoir en disposer. On peut donc calculer leur valeur.

• **Le capital fixe d'exploitation est la valeur des biens qui servent à plusieurs cycles de production.** Exemple: une houe, une vache, un glacis de séchage.

• **Le capital d'exploitation circulant est la valeur des consommations intermédiaires, consommées pendant un cycle de production.** Exemple: un lot de semences, un sac d'engrais, des aliments concentrés pour les porcs.

• **Le capital total d'exploitation est égal à: capital foncier + capital fixe d'exploitation + capital circulant d'exploitation.**

Parmi les moyens de production, ne pas oublier les éléments de construction qui ont une fonction dans la production agricole : ainsi les glacis, les greniers ou les citernes individuelles (photo D. Mermet et G. de Laubier).





Le bétail est un moyen de production important. Même s'il n'est pas en propriété, il permet de transformer des végétaux en viande ou en lait (photo G. de laubier).



L'exploitation dans son environnement économique et social

L'agriculteur haïtien ne produit pas de façon isolée. Les exploitations agricoles sont des systèmes "ouverts" dans la mesure où, pour pouvoir réaliser leur activité de production, les exploitants sont presque toujours amenés à nouer des relations de natures diverses avec leur environnement économique et social.

Ces relations se traduisent par la mise en rapport de l'exploitant avec des agents économiques extérieurs à l'exploitation. Ces rapports sociaux sont appelés *rapports de production et d'échange* et forment la base des conditions économiques et sociales de la production pour les exploitants.
Citons par exemple:
• rapport avec un propriétaire foncier pour obtenir un jardin en fermage ou en métayage,
• rapport avec des agriculteurs voisins ou des commerçants pour l'achat de semences,
• rapport avec des commerçant (e)s et des transporteurs pour la vente des productions,
• rapport avec d'autres agriculteurs pour établir les échanges de travail, pour acheter ou vendre des journées de travail,
• rapport avec des *'gro nèg'* pour emprunter l'argent nécessaire à l'achat de semences ou d'aliments,
• rapport avec le notaire et l'arpenteur pour acheter un morceau de terre.

Nous allons étudier quelques-unes des conditions économiques les plus déterminantes pour l'activité agricole et leur influence sur le fonctionnement de l'exploitation. Car le choix des types de production et des techniques de production n'est pas seulement conditionné par la nature et l'importance des moyens de production dont disposent les exploitants, il dépend aussi étroitement des rapports que l'exploitant est en mesure d'établir avec son environnement économique.

L'ACCÈS À LA TERRE

Pour les exploitants agricoles haïtiens, l'accès à la terre représente un enjeu considérable. Du fait de la très forte pression démographique, la concurrence pour accéder au foncier est très vive et le coût à payer pour disposer d'un terrain à cultiver est toujours très élevé.

LA SÉCURITÉ DE TENURE

Les conditions d'accès au foncier déterminent le niveau de sécurité dont l'exploitant peut jouir sur les terres qu'il cultive. La sécurité de tenure est satisfaisante lorsque l'exploitant peut utiliser la terre à sa guise et pendant une durée assez

longue et connue d'avance.
Lorsque la sécurité sur le foncier est faible, l'agriculteur n'a pas d'intérêt à y investir du capital ou du travail qui risqueraient de bénéficier au propriétaire (cas de faire-valoir indirect) ou aux autres co-exploitants (cas d'indivision).

• Ainsi, **les terres en indivision stricte**, c'est-à-dire non partagées (même informellement), demeurent-elles en général non cultivées. En effet, aucun des héritiers ne se risquera à y semer une culture, puisque n'importe lequel de ses frères ou soeurs peut venir y attacher un animal au piquet. Ces terres sont généralement utilisées comme terres de parcours pour l'élevage.
Ce sont souvent des jardins trop petits pour être partagés au moment de l'héritage ou de trop mauvaise qualité. Une exception notable existe dans certaines régions : il s'agit du jardin boisé entourant la maison, le jardin *'lakou'*. La fertilité de celui-ci est élevée et il est planté d'espèces riches (arbres de charpente, fruitiers, caféiers, bananiers...). A la disparition des parents, il est fréquent que les héritiers ne puissent se résoudre à l'attribuer à un seul d'entre eux. Ce jardin reste alors en indivision et tous les membres de la famille peuvent venir y prélever du bois, des fruits ou des plants. Comme personne ne veut l'entretenir, ce jardin périclite rapidement, alors qu'il avait fallu beaucoup de travail pour le constituer.
L'indivision n'est donc pas seulement un obstacle à la capitalisation; elle est aussi une source importante de décapitalisation.

• **La faible durée des contrats de métayage** (qui, de plus, sont souvent seulement oraux) incite rarement les exploitants à investir autre chose que leur propre travail sur les parcelles concernées. Il n'y a pas lieu de s'étonner si les métayers ne sont pas enclins à épandre des engrais ou entreprendre des améliorations foncières...pour le bénéfice de leurs succeseurs!

• En revanche, **le paysan qui exploite ses propres terres** sait qu'il pourra lui-même bénéficier de tout investissement à moyen et long terme. Il aura tout intérêt à entretenir son patrimoine en maintenant ou améliorant la fertilité, en plantant des arbres, en utilisant des techniques ou des dispositifs anti-érosifs...
D'une façon générale, les maisons d'habitation sont construites sur des parcelles en propriété qui bénéficient par ailleurs d'importants transferts de fertilité (résidus de culture provenant d'autres parcelles, déjections animales,...) et sur lesquelles sont très souvent établis des jardins boisés.
Les paysans mettent en place des plantations pluriannuelles préférentiellement - voire exclusivement - sur des parcelles en propriété ou là où ils bénéficient d'une grande sécurité de tenure.

• **Les fermiers de l'Etat** bénéficient généralement des terres pour des durées indéterminées, souvent très longues. Certains baux semblent même pouvoir être hérités de génération en génération. La sécurité de tenure peut donc y être assez élevée.
Toutefois, il est fréquent que les terres de l'Etat soient attribuées à des "grands fermiers" qui résident en ville et sous-louent ces terres, par petits morceaux, à des paysans. La sécurité de tenure est alors faible.

• **Sur les terres "occupées" de fait,** la sécurité de tenure est assez faible, les exploitants (et/ou acquéreurs s'il y a eu une transaction avec les précédents occupants) pouvant se trouver privés de tout recours légal en cas d'éventuels conflits ou procès.

LA RENTE FONCIÈRE

Ces conditions d'accès au foncier déterminent également le coût que doivent payer les exploitants pour pouvoir utiliser ce foncier. Ce coût, versé au propriétaire foncier, est appelé *rente foncière*.
La rente foncière et le prix des terres en Haïti sont très élevés en raison de l'importante demande de foncier de la part d'une population nombreuse. On dit qu'il y a une forte *pression foncière*.

Le métayage : une part de la récolte

• **La rente foncière**, dans le cas du métayage, **est payée au propriétaire au moment de la récolte**, c'est un pourcentage fixé de la récolte.

Lors de la récolte, on appelle le propriétaire et on procède au partage. Les modalités de celui-ci sont diverses :

• soit on partage le jardin et le propriétaire effectue lui-même la récolte sur la partie qui lui revient. Dans ce cas, le choix de l'emplacement (plus ou moins fertile) est de grande importance ;
• soit on récolte d'abord, puis on met en tas et on partage. Cette solution est en général préférée par les propriétaires qui sont présents sur place.
Le taux de rente foncière varie, selon les régions, entre un tiers et la moitié de la récolte. Plus la terre est riche et productive, plus ce taux est élevé. Plus la pression foncière est forte, plus ce taux est également fort.
A cette rente "en nature", le métayer devra fréquemment ajouter d'autres prestations à son propriétaire, comme par exemple des journées de travail ou des services personnels (s'occuper d'un animal, aller chercher de l'eau). Ces prestations ne sont jamais exigées dans le contrat oral passé entre les parties, mais sont souvent indispensables si le métayer veut continuer à disposer du jardin une année supplémentaire. Ces services représentent une *rente masquée* en travail.

En cas de mauvaise récolte, ce que devra payer le métayer sera réduit en proportion. Ainsi, si pour un jardin de haricots, un paysan, métayer à 50 %, récolte 8 q/ha en bonne saison, il paiera 4 q de rente foncière. Mais si la saison est défavorable et qu'il ne récolte que 2 q/ha, il devra donner seulement 1 q de haricots au propriétaire. Il lui restera alors 1 q, ce qui représente à peu près ce qu'il avait dû mettre comme semence. De ce point de vue, la prise de terres en métayage convient assez bien aux paysans les plus pauvres puisque le paiement de la rente foncière ne leur fait pas prendre un risque trop important. Mais c'est aussi pour le métayage que la rente est la plus élevée.

• Dans le cas du métayage, **la fixation de la rente sous forme d'une part de la récolte** a une conséquence essentielle sur l'investissement en travail et en capital de l'exploitant.



Le métayage : un tas pour l'exploitant, un tas pour le propriétaire (photo G. de Laubier).

Dans la mesure où les frais de culture sont en général à la charge de l'exploitant, ce dernier hésite à utiliser des engrais, des produits phyto-sanitaires ou de la main-d'oeuvre salariée car l'accroissement de la production qui en résulte, une fois amputé de la part qui revient au propriétaire, ne permet pas toujours de compenser les frais correspondants.

Prenons l'exemple de l'engrais. Supposons qu'une application de 10 $ d'engrais permette de doubler la production en valeur d'un jardin qui passe de 15 à 30 $.

Bénéfice d'exploitation	Paysan propriétaire	Paysan métayer à 50%
• **sans engrais**	**15$**	15$ x 0,50 = **7,5$**
• **avec engrais** (prix de l'engrais 10$)	30$ - 10$ = **20$**	(30$ x 0,50)- 10$ = **5$**

On voit que seul le propriétaire-exploitant a intérêt à mettre de l'engrais. Le métayer, lui, gagne moins d'argent s'il met des engrais que s'il s'abstient. Bien entendu, ce n'est pas toujours le cas et tout dépend du niveau des prix du produit et des intrants, ainsi que du taux de rente foncière. Objectivement, **le métayer a toujours intérêt à cultiver avec moins d'intrants que le propriétaire.**

Le raisonnement sur l'engrais est aussi valable pour la quantité de travail fournie par l'exploitant sur le jardin. C'est en partie parce que les métayers n'ont pas intérêt à fournir les mêmes soins aux cultures que les parcelles en métayage apparaissent souvent moins bien entretenues ou sarclées en retard.
On dit que le métayage est un *facteur d'extensification* de l'agriculture.

Le fermage : le loyer de la terre

• Dans le cas du fermage, **la rente foncière** (encore appelée loyer de la terre) **est payable avant la récolte.** L'exploitant doit être en mesure de payer la rente pour toute la durée du fermage, au moment de l'établissement du "contrat". Ainsi, pour un fermage de sept ans à 10 $ par an, le fermier doit-il payer 7 x 10 $ = 70 $ dès la conclusion de l'accord. Ce système présente quelques risques pour le preneur dans la mesure où il ne peut être sûr que la récolte permettra de compenser les dépenses effectuées, et en particulier la rente. A l'inverse du métayage, la prise de terres en fermage n'est pas à la portée de toutes les bourses; elle est généralement le fait d'exploitants plus aisés.

• **La rente foncière est variable suivant la nature des contrats de fermage.**
Le fermage de courte durée *(ferm)* traduit une forte dépendance du preneur à l'égard du propriétaire et le poids de la rente est à peu près du même ordre que dans le cas du métayage.
Les fermages de longue durée *(potek)* ont une tout autre signification. Un propriétaire cède souvent ses terres en location lorsqu'il doit faire face à des besoins d'argent immédiats. Il consent donc à louer ses terres à relativement bas prix à ceux qui peuvent fournir tout de suite les sommes correspondant à la rente foncière. Le rapport de force est alors beaucoup plus favorable à celui qui loue les terres, et le poids de la rente foncière est d'autant plus bas que la durée du bail est longue.

Calculons à titre d'exemple la rente foncière d'un jardin de 1/4 de carreau, cultivé un an sur deux et affermé pour cinq ans au prix de 30$ au total.
• la rente annuelle est de 30/5 = 6$.
• la rente annuelle par carreau est de : 6 $/0,25 c = 24 $/c
• la rente par culture est de : 30/3 = 10$ (trois cultures en sept ans)
• la rente par culture et par carreau est de : 10 $/0,25 c = 40 $/c
Comme 1 c = 1,29 ha, tous ces chiffres doivent être divisés par 1,29 pour obtenir des rentes par hectare. Ainsi la rente par culture et par hectare est de
40$ / 1,29 = 31 $
Supposons que ce jardin ait permis de produire 70 "marmites" de haricots (pois noir), soit 210 kg, le rendement par carreau a été de 70 m X 4 = 280 marmites ou = 840 kg/carreau. Si le haricot peut être vendu à 3 $ par marmite, le produit brut est

de : 280 X 3$ = 840$/carreau.
En métayage au tiers, la rente par culture et par carreau aurait été de :
840 / 3 = 280 $ et de 420$ en métayage à moitié. Ces chiffres sont à comparer aux 40 $ de rente par culture et par carreau dans le cas du *potek*.
On voit que la différence de rente foncière entre le métayage et le *potek* peut être considérable.

Certains paysans aisés qui ont accès à des terres en *potek* ne manquent d'ailleurs pas de recèder ces mêmes terres en métayage à de tout petits paysans, afin de profiter sans effort de la différence de montant des rentes correspondant à ces deux modes de tenure. Remarquons enfin que, contrairement au métayage, le fermage n'est pas un facteur d'extensification. Un paysan a le même intérêt économique à augmenter son rendement, qu'il soit fermier ou qu'il soit propriétaire.

• Les terres appartenant au domaine national sont pour la plupart cédées par l'Etat en fermage contre paiement d'une rente annuelle au service des contributions. Le loyer de la terre est généralement très faible, souvent de dix fois inférieur à celui demandé par des propriétaires privés. Les grands fermiers de l'Etat, bénéficiant d'une bonne sécurité de tenure, se considèrent quasiment comme "propriétaires" et en profitent pour recéder les terres à de tout petits paysans (en fermage ou en métayage) afin de tirer un bénéfice de l'écart entre le niveau des rentes, sans avoir aucunement besoin de travailler.

• La rente foncière payée par les exploitants occupant des terres sans titre de propriété ou sans contrat, est évidemment nulle.

L'ACCÈS AUX MOYENS DE PRODUCTION

L'agriculteur haïtien produit parfois lui-même dans son exploitation certains moyens de production dont il a besoin pour mettre en oeuvre ses productions animales et végétale : semences, haies vives, greniers (colombiers), fumier et animaux reproducteurs.
Mais, dans un très grand nombre de cas (houe, machette, arrosoirs, charrue, engrais minéraux, semences améliorées, vaccins, produits phytosanitaires,...), l'exploitant doit s'approvisionner à l'extérieur de son exploitation: chez des voisins, dans des boutiques, auprès des commerçantes sur les marchés locaux ou régionaux, etc.

Les modes d'accès à ces différents moyens de production peuvent être très divers selon que l'exploitant a pu ou non dégager préalablement des revenus suffisants pour s'autofinancer, c'est-à-dire acheter ces biens au comptant avec ses propres revenus.
L'histoire haïtienne montre que, dans leur immense majorité, les paysans ont toujours éprouvé de grandes difficultés pour épargner et dégager les ressources qui leur permettraient de développer ou d'améliorer leurs moyens de production. Un achat au comptant est alors impossible et les exploitants ont recours à l'achat à crédit ou à la prise d'animaux en métayage.

L'ACHAT AU COMPTANT

Lorsque l'agriculteur dispose de ressources monétaires suffisantes au moment de la transaction, quitte à devoir vendre un animal pour la circonstance, l'achat peut se faire au comptant.
L'acheteur s'efforce alors, dans la mesure du possible, de mettre en concurrence les divers fournisseurs afin d'obtenir le meilleur rapport qualité/prix.
Mais peu de commerçants disposent de toute une gamme d'intrants et de matériels agricoles. Face à cette situation de monopole, l'agriculteur doit alors accepter le prix qu'ils proposent.
Aujourd'hui les petits commerçants privés hésitent souvent à commercialiser de telles marchandises car la demande leur paraît encore insuffisante et aléatoire du fait du faible pouvoir d'achat de la paysannerie.

L'ACHAT À CRÉDIT

Nombreux sont les petits paysans qui ne peuvent renouveler ou acheter de nouveaux moyens de production sans avoir recours au crédit.
Le crédit agricole officiel n'a jamais représenté de très grosses sommes d'argent et ne bénéficie en réalité qu'à un très faible nombre d'exploitants (5 % du total environ).

• L'Institut du Développement Agricole et Industriel (IDAI) a longtemps octroyé des prêts de campagne (pour un cycle de production) et d'équipement à des producteurs individuels, pour les productions de riz, coton, haricot, dans les plaines de l'Artibonite, des Gonaïves et des Cayes, sur le plateau central et dans la région de Jacmel. Mais ces crédits n'ont généralement concerné qu'une minorité d'exploitants parmi les plus aisés.
• Le Bureau du Crédit Agricole (BCA) concède des prêts de campagne à de plus petits agriculteurs, pour les cultures vivrières et l'engraissement animal, à condition que les bénéficiaires constituent des groupements à caution solidaire (sociétés agricoles de crédit).
• A cela, s'ajoutent aussi des crédits qui sont fournis par des organismes de développement régional du type O.D.V.A. (Artibonite), O.D.N. (Nord), O.D.P.G. (Gonaïves), et les avances faites par certaines compagnies industrielles (Usine Sucrière du Nord, "Comme il faut",...).

De l'avis unanime, les prêts fournis par des organismes officiels n'ont jamais permis de répondre aux immenses besoins de financement de la paysannerie.
La paysannerie a donc largement recours au crédit fourni par de petits commerçants et des spéculateurs locaux. En cas de difficultés de trésorerie, les paysans leur achètent à crédit les biens dont ils ont besoin, ou leur empruntent les fonds qui leur sont nécessaires.
Les taux d'intérêts (1) pratiqués sont extrêmement élevés, pouvant dépasser 100 % par an. L'emprunteur risque donc de devoir hypothéquer (2) ses futures récoltes ou ses terres.

(1) Le taux d'intérêt est égal (exprimé en %) à:
100 X (1 - capital remboursé/capital emprunté)
(2) L'hypothèque consiste, pour une personne réalisant un emprunt, à donner un de ses biens en propriété (ici les récoltes ou les terres) comme garantie du remboursement de l'emprunt. Si l'emprunt ne peut être remboursé lorsqu'il arrive à échéance, le prêteur a le droit de faire vendre le bien hypothéqué pour obtenir le remboursement de la créance.



On va chercher du crédit chez les notables du bourg mais aussi chez les paysans plus aisés de la localité (photo D. Mermet).

La *vente sur pied* des récoltes est un autre moyen de se procurer les liquidités dont une famille paysanne peut avoir besoin.
Cette pratique est plus fréquente pour le café, qui est une culture uniquement destinée à la vente (on parle de *culture de rente*), que pour les vivres. Elle consiste à vendre le produit d'une culture bien avant sa récolte. Le prix fixé est évidemment marqué par une décote d'autant plus importante (par rapport au prix attendu à la récolte) que le stade de la culture est précoce.

On distingue :
• la *vente sur pied d'une surface* : on vend la récolte d'une certaine surface de jardin. L'acheteur supporte le risque d'un éventuel accident cultural sur le jardin (passage d'une tempête, par exemple...),
• *la vente sur pied d'une quantité* : l'exploitant promet un certain volume de la récolte. L'acheteur ne supporte plus alors le risque cultural, et la décote de prix est un peu moins élevée.

Cette procédure n'est pas sans risque pour les producteurs et l'on comprend que les paysans, souvent endettés (3) pour les besoins de consommation familiale, hésitent à s'endetter encore davantage pour améliorer leurs moyens de production. Le besoin d'argent pour l'équipement des unités de production n'en reste pas moins réel.

(3) On dit qu'une personne est endettée lorsqu'elle a réalisé un emprunt qu'elle n'a pas encore totalement remboursé.

L'ACCÈS À LA MAIN-D'ŒUVRE "EXTÉRIEURE" : LES RELATIONS ENTRE AGRICULTEURS

Pour mener à bien les travaux agricoles, les paysans sont fréquemment amenés à établir entre eux des relations plus ou moins stables et complexes.
Trois catégories de rapports peuvent être distinguées : la coopération simple, la coopération élargie et le salariat.

LA COOPÉRATION SIMPLE: LES ESCOUADES OU L'ÉCHANGE MUTUALISTE

• **Les escouades sont des associations d'échange de travail** qui regroupent un nombre limité de travailleurs ayant, en principe, les mêmes droits et les mêmes obligations les uns envers les autres. Selon les régions, on les appelle aussi *kolonn, chenn, kouadi, mazinga, ramponneau.*
Pour mieux en saisir le fonctionnement, prenons l'exemple d'une escouade de cinq personnes A, B, C, D et E. Le premier jour, l'ensemble de l'escouade travaille pour A, le second pour B et ainsi de suite jusqu'à la fin du cinquième jour, où après avoir travaillé pour E, chacun se retrouve dans une situation où il a reçu autant qu'il a donné.

L'intérêt des exploitants à participer à de telles associations réside dans le fait qu'il est souvent plus facile et plus rapide de réaliser certains travaux en groupe qu'isolément (par exemple: la défriche). Ces associations permettent, par ailleurs, à chacun d'affronter les pointes de travail aux moments optima, en concentrant la force de travail du groupe pendant les quelques jours adéquats pour la réalisation des travaux. Elles évitent ainsi les retards qui occasionnent des pertes de récolte, sans pour autant payer plus cher la main-d'oeuvre. Les pointes de travail peuvent intervenir à des moments différents pour les membres d'un même groupe, car les systèmes de culture d'une même zone peuvent être variés et les dates de travaux très échelonnées. La capacité qu'ont les associations de faire face aux pointes de travail de chacun des membres dépend surtout de la souplesse avec laquelle ceux-ci parviennent à s'échanger leurs tours dans la rotation.

Travailler vite et au bon moment : la première fonction de l'escouade. Cependant les escouades de jeunes ou de paysans sans terre sont une forme déguisée de salariat (photo G. de Laubier).



• **Les escouades sont de deux types,** selon les rapports sociaux existant entre les membres.
. Les unes rassemblent des paysans de même catégorie sociale, par exemple des jeunes démarrant leur exploitation. Au lieu de travailler chez les uns et les autres, l'escouade travaille alors souvent chez un tiers, qui rémunère alors celui des membres dont c'est le tour. La "vente des tours" est un phénomène de plus en plus fréquent: l'échange mutualiste dérive vers le salariat.
. Les autres rassemblent des exploitants de niveau différent, qui jouent alors sur la complémentarité de leurs besoins pour tirer avantage de l'escouade. Dans ce deuxième cas, l'échange entre les membres est fréquemment inégalitaire. Ainsi, une escouade peut parfaitement rassembler plusieurs paysans dont l'un est le propriétaire de jardins cultivés par les autres en métayage. On constate alors que le propriétaire est favorisé dans le fonctionnement de l'escouade. On lui "offre" des tours. Lorsqu'on travaille pour lui, on arrive plus tôt au jardin, on part plus tard et on s'active davantage.

LA COOPÉRATION ÉLARGIE: LE *COUMBITE* OU *KOVÉ*

Entre paysans voisins, il est fréquent de pratiquer l'entraide dans le travail agricole. Cette entraide peut prendre la forme de "coups de main" que l'on se donne mutuellement de temps à autre, pour effectuer certains gros travaux qu'un exploitant et sa famille ne sauraient réaliser tout seuls. Cette forme d'entraide repose alors, implicitement, sur la réciprocité des services rendus entre agricul-

teurs sans que l'apport en travail des uns et des autres soit nécessairement comptabilisé. Celui qui invite au travail offre la nourriture à ses invités. En principe, il devra ensuite répondre aux invitations de ceux qui sont venus travailler chez lui.

La coumbite est une forme d'entraide sans réciprocité automatique... mais où la distribution de nourriture joue un grand rôle (photo G. de Laubier).





Dans la réalité, on constate là aussi que la réciprocité n'est que rarement complète. Dans un quartier, ce sont les plus gros agriculteurs qui organisent le plus de *'kové'*. Beaucoup de paysans y participent, car ils sont souvent redevables envers l'organisateur (jardin en métayage, petit crédit accordé ou espéré,..). L'organisateur peut, en offrant un repas modeste, disposer d'une main-d'oeuvre à très bas coût.
Il est néanmoins possible aux plus petits paysans d'organiser une *'kové'*. Mais ils devront alors offrir davantage de nourriture pour attirer leurs invités. Le travail leur revient alors aussi cher, voire davantage que s'il avait été fait par des salariés.

Figure 55 : exemples de *coumbites* organisés pour les semis de haricots à Rey (Miragoane).

organisateur	nombre de participants	coût du repas $	total heures travaillées	coût de l'heure $
propriétaire local (plus de 15 carreaux)	56	18,4	99 h	0,19
paysan modeste (1,5 carreau)	16	5,6	18 h 30	0,30
paysan pauvre (1/4 c. en indivision)	8	4,2	9 h 20	0,45

LE SALARIAT INDIVIDUEL

Nombreux sont aujourd'hui les paysans aisés qui ont recours à des travailleurs salariés individuels, permanents ou temporaires, pour la réalisation de travaux agricoles. Ces travailleurs sont généralement des paysans sans terre ou de petits exploitants dont les surfaces ne sont pas suffisantes pour assurer le plein emploi de leur main-d'oeuvre familiale. Ces *'djobistes'* peuvent être payés à la journée ou à la tâche (au forfait). Dans ce dernier cas, ils restent relativement libres d'organiser leur travail comme ils l'entendent et peuvent même faire appel à des aides extérieurs qu'ils rémunérent à leur tour. Cette forme de travail salarié s'étend de plus en plus actuellement, notamment dans les zones de plaine et les quelques grandes plantations en faire-valoir direct ou par l'intermédiaire de gérants.

Il est à noter enfin, la présence de *'restavecs'* dans certaines familles paysannes aisées qui acceptent d'élever des enfants qui leur ont été confiés par les familles les plus misérables. Ces *'restavecs'* effectuent généralement les tâches les plus ingrates sur les exploitations et ne bénéficient en échange d'aucune rémunération en dehors des soins qui leur sont apportés quotidiennement par les familles d'accueil.

LA COMMERCIALISATION DES PRODUCTIONS AGRICOLES

On appelle conditions d'échange les relations qui s'établissent avec le marché, que ce soit pour la vente ou l'achat des produits.
L'économie coloniale agro-exportatrice était déjà totalement intégrée aux échanges marchands(*) internationaux: exportations de coton, de sucre et de café, et importations d'esclaves et de produits manufacturés.
Depuis l'indépendance, la paysannerie haïtienne n'a cessé de commercialiser une partie plus ou moins importante de ses productions (café, vétiver, haricot, produits animaux...) de façon à pouvoir acheter sur les marchés les biens qu'elle ne pouvait produire par elle-même (outils, sel, poisson séché...).
Certaines conditions de la commercialisation des produits agricoles sont déterminantes dans la conduite de l'exploitation paysanne. Ce sont:
- la nature du circuit de commercialisation,
- le prix des produits sur le marché et ses fluctuations,
- le niveau de dépendance de l'exploitant avec le(s) commerçant(s),

(*) Les échanges sont des mouvements de marchandises qui s'effectuent directement ou par l'intermédiaire de la monnaie. Dans ce dernier cas, les échanges sont dits marchands.

LES CIRCUITS DE COMMERCIALISATION

Des producteurs aux consommateurs, les produits agricoles transitent par des circuits de commercialisation où une même marchandise peut être achetée et vendue plusieurs fois par des agents économiques différents.
Ces circuits sont de nature différente pour les circuits vivriers et les denrées d'exportation. La nature du circuit de commercialisation détermine le *coût de la commercialisation* pour le producteur. Ce coût peut être appréhendé par la différence entre le prix payé par le consommateur et celui perçu par le producteur.

La commercialisation des produits vivriers

Si l'on excepte les produits vivriers que les consommateurs achètent parfois directement aux producteurs, l'essentiel des vivres commercialisées passent entre les mains de commerçantes appelées *'Madam Sara'*. Leur travail consiste principalement à acheter ces vivres sur un marché et à les revendre un peu plus cher sur un autre.
On a coutume de distinguer deux grands types de *Madam Sara*.

Figure 56 : les deux types de Madam Sara

		Revendeuse (Sara locale)	Grossiste
Capital investi		faible	fort
Produits transportés		produits de faible valeur volumique, mais difficile à rassembler : fruits, tubercules, volailles.	produits de forte valeur volumique faciles à rassembler en quantité importante : grains.
Objectif		valorisation du travail de collecte au niveau local	valorisation du capital investi
Centres d'approvisionnement	chez le producteur	oui	non
	marchés	sur les sentiers, près des centres de production	sur la route, près du lieu de marché
Partenaire d'amont		producteurs	producteurs et revendeuses

- **les petites revendeuses de détail** résident généralement en milieu rural. La plupart sont elles-mêmes agricultrices. Elles achètent des produits diversifiés (fruits, tubercules, céréales,...) sur les marchés de leur alentour immédiat.

• **Les grossistes** résident en ville et rachètent des produits souvent de même nature (haricot, céréales,...) aux petites vendeuses locales pour les revendre ensuite sur les plus gros marchés urbains. Ces grossistes se consacrent uniquement à leur activité commerciale et leur fonds de roulement dépasse souvent 500$.

Les premières se consacrent au petit commerce afin d'accroître leurs revenus lorsque leur force de travail ne peut être pleinement employée aux tâches agricoles sur leur exploitation. Les secondes exercent leur activité à plein temps avec l'objectif de valoriser au mieux le capital-argent dont elles disposent. Mais la différence n'est pas toujours aussi tranchée: il peut arriver qu'une petite revendeuse locale devienne progressivement commerçante grossiste à plein temps au fur et à mesure que son capital s'accroît.





De la petite revendeuse aux marchés de Port au Prince (le marché de la Croix des Bossales), les circuits de commercialisation mobilisent beaucoup d'intermédiaires (photos D. Mermet et G. de laubier)

La part du prix payé par le consommateur qui passe aux mains des commerçantes est évidemment fonction du produit et de la distance entre le lieu de production et le lieu de consommation. Elle peut varier de 20 à 50%, ce qui est relativement faible en comparaison de celle relative aux denrées d'exportation.
Cette situation relativement favorable aux producteurs résulte de la multiplicité des commerçantes. Etant en concurrence, chacune d'elles a intérêt à offrir les conditions les plus avantageuses à sa clientèle afin de la conserver et de l'étendre.

La commercialisation des denrées d'exportation

A la différence des produits vivriers, la commercialisation des denrées d'exportation (café, cacao, sisal, vétiver...) n'est pas aux mains d'une multitude d'opérateurs. Elle dépend d'un nombre réduit de *maisons d'exportation* qui, en outre, établissent entre elles des accords implicites pour leurs zones de collecte respectives.
La concurrence entre les commerçants est très réduite. Le négoce présente donc peu de risques pour les maisons d'exportations et les producteurs se voient quasiment imposer le prix d'achat de leurs produits.

On peut remarquer que la faiblesse du mouvement coopératif n'a pas encore permis de remettre en cause la toute puissance des négociants qui assurent parfois eux-mêmes la première transformation des denrées (décortiquage et déparchage du café, extraction des huiles essentielles...).

LE PRIX DES PRODUITS SUR LE MARCHÉ

Le prix des produits subit des variations interannuelles en fonction des quantités récoltées. Il existe aussi des variations de prix selon la saison: les prix sont bas pendant les périodes de récolte et s'élèvent dans les périodes "de soudure" (avant récolte). Ces variations, particulièrement sensibles pour les produits vivriers, peuvent être considérablement amplifiées par la *spéculation* réalisée par certains commerçants.
La spéculation est d'autant plus importante que la concurrence est faible entre les commerçants. Les commerçants qui disposent de moyens de stocker des vivres tirent profit de la situation en achetant à bas prix au moment de la récolte pour revendre à des prix élevés à la période de soudure.

Les agriculteurs les plus soumis à ces variations de prix sont ceux qui ne disposent pas de moyens de stockage ou ceux qui, endettés, doivent vendre immédiatement à la récolte pour rembourser leurs dettes.

Un marché rural
(photo G. de Laubier).



Ces mouvements de prix ont des conséquences très importantes sur les économies des exploitations agricoles. Le cas des haricots est révélateur car l'investissement en semences y est particulièrement élevé (la graine est grosse). Il n'est pas rare que les prix varient du simple au double dans l'année, les prix les plus élevés intervenant au moment des semis (beaucoup de paysans achètent sur le marché), alors que les plus bas cours se constatent au moment des récoltes.

Si un paysan récolte 3 q/ha, alors qu'il lui a fallu 1 q/ha de semence, la marge réalisée est de 2 q. Mais si le prix double au moment des semis, il faut vendre 2 q pour couvrir le coût des semences. Il ne reste alors qu'un quintal par hectare pour rémunérer le travail agricole. Si le paysan est métayer et ne touche en réalité de 1,5 q à la récolte, on calcule aisément qu'il subit alors une perte financière nette.

LE NIVEAU DE DÉPENDANCE AVEC LE COMMERÇANT

Il peut exister des relations de dépendance assez fortes entre l'agriculteur et le commerçant. Cette dépendance est établie le plus souvent à travers des mécanismes d'*usure*. Les prix sont alors imposés aux producteurs.

• Les commerçants qui spéculent sur les variations de prix des produits vivriers peuvent aussi être usuriers dans la mesure où en période de soudure ils revendent fréquemment les produits à crédit avec des taux d'intérêt très élevés.
Les agriculteurs les plus démunis doivent avoir recours au crédit usuraire qu'ils proposent pour acheter vivres et semences. Certains sont même contraints d'hypothéquer leurs futures récoltes, voire de vendre celles-ci "sur pied" à leurs prêteurs pour des prix très bas.

• Les maisons d'exportation accordent généralement des avances monétaires aux "spéculateurs" (*) des bourgades de l'arrière-pays. Ces avances sont le principal moyen dont disposent les exportateurs pour s'assurer un approvisionnement régulier. Les "spéculateurs" accordent ensuite eux-mêmes des crédits à des taux usuraires aux habitants producteurs lorsque ceux-ci ont des besoins financiers importants. Le remboursement s'effectue aussi par le biais de la fourniture de denrées, au moment de la récolte, à des prix fixés unilatéralement par "les spéculateurs" dont les producteurs sont devenus dépendants.

(*) Les spéculateurs sont des agents liés aux maisons d'exportation, chargés par elles de collecter les denrées autour de leur résidence.

• Consciente de sa dépendance et de sa vulnérabilité face au quasi-monopole des

négociants, la paysannerie limite depuis de nombreuses années les superficies consacrées aux cultures d'exportation pour se tourner davantage vers les cultures vivrières.

Dans leur immense majorité, les paysans, même ceux qui disposent de peu de surface et vivent dans des régions isolées, produisent des marchandises destinées à la vente. Mais ils n'ont pas tous intérêt à se *spécialiser* pour produire un ou quelques produits pour lesquels les conditions écologiques, les techniques utilisables par eux et les prix de marché sont particulièrement favorables.

Les agriculteurs ont intérêt à se spécialiser dans une ou plusieurs productions destinées à la vente lorsque leurs prix sont favorables et lorsque les conditions d'approvisionnement et de commercialisation sont relativement sûres, stables et rémunèrent correctement leur travail. Lorsque les conditions de marché sont aléatoires et défavorables, ils ont au contraire intérêt à se soustraire aux échanges marchands, à produire en priorité pour l'autoconsommation une gamme la plus large possible de productions animales et végétales.

Il est, cependant, rarement possible de produire sur l'exploitation tous les biens de première nécessité et l'agriculteur se trouve malgré tout dans l'obligation de vendre quelques produits pour pouvoir acheter ceux dont il a besoin. Son intérêt peut être alors de ne commercialiser que des surplus vivriers lorsque les conditions de marché sont favorables.

LES RELATIONS AVEC L'ETAT

La politique agricole définie et menée par l'Etat influence le choix et l'évolution des processus de production mis en oeuvre par les exploitants.
Les interventions de l'Etat en matière de production agricole peuvent prendre des formes multiples et variées: modalités diverses de taxation des produits à l'importation et à l'exportation, politiques de prix, taxes et subventions aux productions, mise en place d'infrastructures, recherche agronomique et vulgarisation agricole, prévention vétérinaire et protection phytosanitaire, réforme agraire,...
L'Etat haïtien a presque toujours privilégié deux grands types d'intervention: la taxation des produits agricoles et la mise en oeuvre de projets de développement rural.

• **La taxation des produits agricoles** a longtemps été pratiquée et a constitué la principale ressource budgétaire de l'Etat. Depuis 1986, ces taxes ont considérablement diminué et même parfois totalement disparu.
Les taxes à l'importation des produits vivriers protégèrent pendant longtemps les produits vivriers nationaux et l'agriculture nationale. En effet, ces taxes élevaient le prix relativement bas des biens produits à l'étranger, et les rendaient non concurrentiels avec les produits nationaux. Ainsi, les importations étaient-elles limitées et les prix relativement élevés (donc favorables aux producteurs) sur le marché intérieur.
La contrebande, qui a pris de l'essor à partir de 1986, occasionna une chute des prix agricoles sur le marché haïtien et contribua notablement à fragiliser la production vivrière des régions les plus spécialisées (comme la plaine rizicole de l'Artibonite).

• Le Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural, avec l'appui fréquent de certaines agences de financement international, a promu de nombreux **"projets de développement rural intégré"**. Ces projets ont pour objectif d'apporter un appui scientifique, technique, financier et matériel aux exploitants de régions définies.
L'expérience de ces projets montre qu'il est souvent inutile de proposer des solutions toutes faites aux agriculteurs tant que l'on ne connaît pas précisément leur savoir-faire, leurs intérêts et les moyens dont ils disposent pour les satisfaire. Toute "solution" issue des stations expérimentales ou en provenance de l'étranger doit pouvoir faire l'objet d'adaptations progressives par les intéressés eux-mêmes.

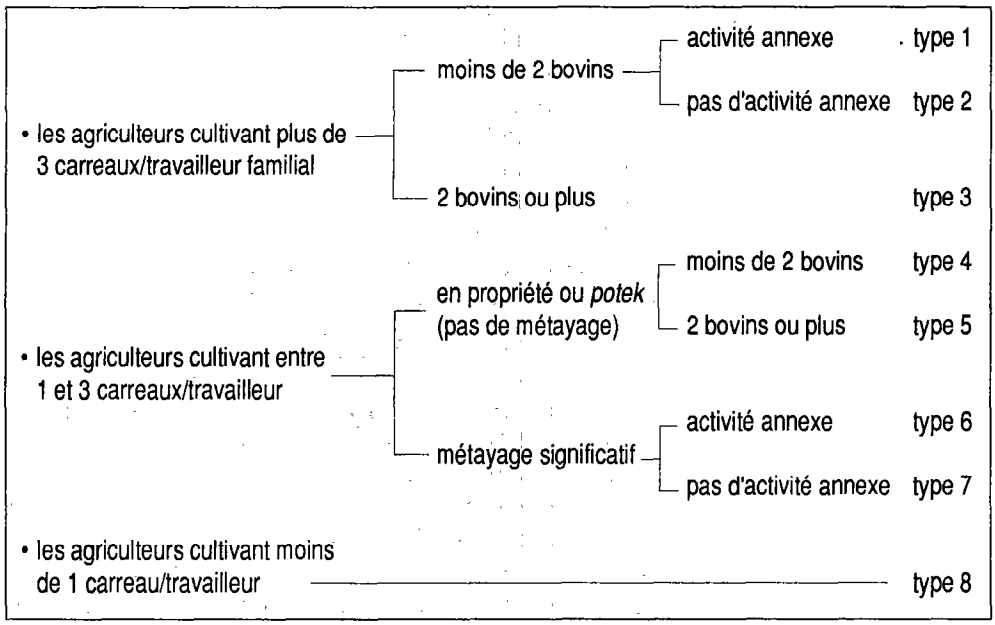
La réaction des agriculteurs aux diverses interventions de l'Etat diffère suivant les conditions économiques et sociales dans lesquelles opère chacun d'eux.
Quelles que soient, par ailleurs, les grandes options de politique agricole des gouvernements, l'Etat doit toujours être à même de concevoir et de créer les conditions socio-économiques permettant à la plus grande majorité des agriculteurs d'avoir intérêt à produire dans le sens souhaité et leur en donnant les moyens matériels et financiers.

En résumé, nous avons vu que :
• Si chaque agriculteur dispose de moyens de production, leur distribution parmi la population rurale est inégale. La *structure des exploitations* est un paramètre essentiel pour comprendre les choix de production que fait l'exploitant et les résultats qu'il obtient.
• Chaque agriculteur est inséré, à sa manière, dans des rapports sociaux de production et d'échange qui sont également déterminants dans les choix de production.

En fait, la paysannerie haïtienne frappe d'abord par sa diversité. Loin d'être un ensemble homogène sur lequel on pourrait intervenir sans discernement, la paysannerie est un assemblage complexe de situations différentes mais très imbriquées entre elles, un peu comme un puzzle.
Pour reconstituer la réalité agraire d'une région, puis la comprendre, il est souvent utile de commencer par classer les exploitations, comme on classerait les pièces d'un puzzle selon les formes ou les couleurs avant d'en entamer le montage. On regroupe ainsi dans une même catégorie ou "type" des exploitations qui "se ressemblent" soit par les moyens de production dont elles disposent, soit par les rapports sociaux dans lesquels elles sont engagées.
On bâtit ainsi une *typologie*. Comme celle-ci est surtout basée sur la structure des exploitations, on parle de *typologie structurelle*.

Quelques exemples de typologie structurelle :
• **la plus simple :**
"Les gros, les moyens et les petits paysans" (mais encore faut-il définir ce que l'on entend par gros ou petit...).
• **ou plus précise :**
- les agriculteurs cultivant plus de 5 carreaux,
- les agriculteurs cultivant entre 2 et 5 carreaux,
- les agriculteurs cultivant moins de 2 carreaux.
• **ou plus compliquée**, la typologie suivante :

Figure 57 : un exemple de typologie structurelle



Le choix des critères qui sont retenus pour bâtir une typologie structurelle doit se faire, non pas au hasard, mais de façon raisonnée : on retiendra les critères qui semblent les plus déterminants, dans la région étudiée, pour expliquer les choix de production des agriculteurs et leurs résultats économiques.

Décrire le fonctionnement de l'exploitation et mesurer les résultats économiques

L'appareil de production est mis en oeuvre au niveau de l'exploitation pour aboutir à des productions végétales et animales. L'exploitant organise une **combinaison cohérente dans l'espace et le temps des capacités de production (terre, travail, capital) en vue de la production.**

Il est essentiel d'identifier les relations qui s'établissent, dans cette combinaison, entre les différents éléments de l'appareil de production, certaines de ces relations pouvant être déterminantes dans les résultats obtenus. C'est ce qu'on appelle étudier le fonctionnement d'une exploitation agricole.

Pour porter un jugement sur l'exploitation, il faut aussi mesurer ses performances économiques. L'étude du fonctionnement et le calcul économique permettent de classer les exploitations beaucoup plus finement que par leurs structures. On peut alors adapter les interventions de développement agricole aux besoins réels des paysans.

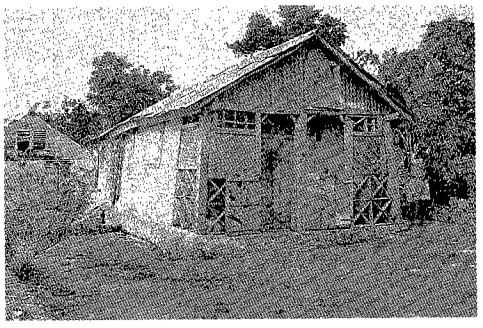
Deux exploitations en fonctionnement : Dieujuste et Luckner

En comparant l'exploitation à un moteur automobile, on comprend tout l'intérêt de l'étude de son fonctionnement. Ainsi pour décrire une voiture, il n'est pas nécessaire de connaître comment fonctionne le moteur. On donne sa couleur, sa forme, ses caractéristiques techniques, ses performances. De la même façon, on peut décrire une exploitation agricole par tous les critères que nous avons détaillés dans le chapitre précédent: le foncier, le travail, les moyens de production. On peut aussi préciser ses performances par le calcul économique ou les rendements obtenus.

Cependant, il serait risqué de modifier des réglages ou de changer des parties du moteur sans savoir comment il fonctionne. Bien des parties sont en effet interdépendantes: la carburation et l'allumage, les transmissions et l'embrayage, etc. L'intervention sur l'une d'entre elles a des conséquences sur les autres. On dit que les éléments sont interreliés. Les rapports qu'ils établissent entre eux constituent le fonctionnement du moteur.

Il en est de même pour une exploitation agricole. Il est utile de comprendre son fonctionnement pour déterminer des interventions adaptées, ou pour prévoir les effets d'une action de développement ou de politique agricole. Parmi les relations les plus importantes à prendre en compte, citons :

- les affectations du foncier dans le temps et vers différentes productions: successions culturales, rotations, assolements...
- les affectations de la main-d'oeuvre dans l'espace et le temps: étude du calendrier de travail (pointes de travail, temps morts...), itinéraires techniques...
- les affectations dans le temps du capital, analyse de la trésorerie au cours d'un cycle de production (déficits...)
- les relations entre l'agriculture et l'élevage : calendriers fourragers, complémentarité ou concurrence pour les temps de travaux, utilisation des animaux pour la reproduction de la fertilité sur les jardins...





L'habitat, premier témoin du niveau social des familles (photos G. de Laubier et D. Mermet).

De nombreuses études ont été réalisées en Haïti sur le fonctionnement d'exploitations agricoles, notamment par des étudiants et des enseignants de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire. Bien comprendre comment fonctionne une exploitation agricole exige des suivis très fins, avec des enregistrements répartis sur toute une année. Sans rentrer dans les détails, ce qui serait trop long dans le cadre de ce manuel, nous pouvons prendre, à titre d'exemple, le cas de deux exploitations différentes localisées à Changieux, sur la commune de l'Asile, dans le Département du Sud.

Dieujuste et Luckner

Dieujuste a 54 ans. C'est un exploitant moyennement aisé qui dispose de neuf carreaux de terre. Il travaille avec sa femme et son dernier fils, Emmanuel, 28 ans, qui se prépare à quitter la famille pour fonder son propre foyer (il a construit sa maison sur une parcelle voisine).

Luckner a 32 ans. C'est un exploitant beaucoup plus pauvre, qui dispose seulement d'un carreau et demi, ce qui est peu dans cette région de mornes où la pression foncière n'est pas très forte. Lui et sa femme ont trois enfants en bas âge, qui ne sont pas encore en mesure de travailler, mais qui, en revanche, pèsent lourdement sur l'économie du ménage.

PREMIÈRE ÉTAPE : CARACTÉRISATION DES EXPLOITATIONS

Figure 58 : ressources de Dieujuste et de Luckner en foncier et mode de faire-valoir

	Surface exploitée directement (carreaux) (SED)					Surface cédée faire-valoir indirect (carreaux)	
	Propriété divisée	Indivision non partagée	Pris en "potek"	Pris en métayage	total	métayage	potek
Dieujuste	5	0,25	2	0,25	7,5	1,5	-
Luckner	0,25	0,5	-	0,75	1,5	-	-

Figure 59 : ressources de Dieujuste et de Luckner en main-d'oeuvre

	Main-d'oeuvre familiale				SED / MOF	Achat M.O salariée	Vente M.O salariée
	Chef d'exploitation	épouse	enfants	Total MOF			
Dieujuste	1	0,2	1	2,2	3,4	Oui	Non
Luckner	1	0,7	-	1,7	0,9	Non	Oui

• Sur les 9 carreaux dont il dispose, Dieujuste n'en exploite que 7,5. Il cède 1,5 carreau en métayage, dont la moitié à Luckner. On peut être surpris de constater que simultanément Dieujuste prend des jardins en faire-valoir indirect et en cède d'autres. Ainsi que nous l'avons déjà souligné, cette situation est assez courante: Dieujuste cède d'abord des terres en métayage, avec une rente élevée, mais en prend d'autres en "potek", avec une rente très faible. Il en prend aussi en métayage, ce qui est plus étonnant, mais c'est pour disposer d'un jardin situé assez

haut en altitude, là où il n'en possède pas lui-même et où le haricot de juillet "vient" bien.

• Luckner ne dispose que d'un seul jardin en propriété pleine et entière (0,25 carreau). L'essentiel de la surface qu'il travaille est soit en indivision (0,5 carreau), soit en métayage (0,75 carreau, appartenant à Dieujuste). Le jardin en indivision correspond à un héritage de son père, ses frères et soeurs ayant tous migré à Port-au-Prince depuis plusieurs années.

* SED : surface exploitée directement.
MOF : main-d'œuvre familiale.

• Au total, l'exploitation de Dieujuste est caractérisée par un rapport SED/MOF* assez élevé. Chaque *unité de main-d'oeuvre* exploite 3,4 carreaux, contre 0,9 chez Luckner. Aussi Dieujuste doit-il fréquemment recourir à de la main-d'oeuvre extérieure: il propose des "djobs" à la tâche et surtout, il participe à une *escouade*. Jamais il ne vend son tour, mais il achète fréquemment le tour de ses associés. Luckner, en revanche, fait exactement l'inverse: il vend souvent son tour pour se procurer une petite somme d'argent.

• Les moyens de production des deux exploitations sont également sensiblement différents (figure n° 59).

Figure 60 : moyens de production des exploitations de Dieujuste et Luckner

	Outils possédés	Bétail
Dieujuste	3 houes, 1 pioche, 3 machettes 1 barre à mine, 2 "louchettes"	1 vache + 1 veau 1 jeune boeuf pour Emmanuel plusieurs cochons achetés puis revendus
Luckner	1 houe, 1 machette	2 truies en gardiennage

DEUXIÈME ÉTAPE : L'ANALYSE DU FONCTIONNEMENT

Examinons quelques-unes des conséquences de ces différences structurelles sur le fonctionnement des exploitations de Dieujuste et de Luckner, en regardant plus particulièrement les systèmes de culture, les calendriers de travail et les systèmes d'élevage.

LES SYSTÈMES DE CULTURE

L'assolement

On appelle *assolement* l'affectation des jardins aux différentes utilisations agricoles : les cultures ou associations de culture, bien entendu, mais aussi les jachères et les pâturages.
Un assolement est donc une photographie de l'utilisation des jardins à un moment donné. L'assolement change d'une saison à l'autre.

Figure 61 : assolement de Luckner

N° du jardin	Localisation	Superficie carreaux	Destination
1	Fond Palmiste	0,25 (propriété)	0,10 c : maison 0,15 c : jardin de mars haricot-maïs puis sorgho (pas de patate)
2	Nan Salo	0,50 (indivision)	0,35 c : jachère puis jardin d'octobre haricot patate
3	La Sous	0,75 métayage (Dieujuste prop.)	jardin de mars: maïs, patate puis sorgho

Figure 62 :
assolement de Dieujuste

N° du jardin	Localisation	Superficie carreaux	Destination
1	La Sous	1,75 (propriété)	1c : café + arbres de couverture et fruitiers (notamment avocatiers, ignames et malangas sous couvert) 0,5 c : fourrages + quelques arbres fruitiers (manguiers) 0,25 c : maison d'habitation et dépendances
2	Nan Zaiguy	1,25 (propriété)	0,50 c : jardin de mars : maïs-haricot, puis sorgho 0,75 c : jachère
3	Nan Sab	1 (propriété)	jardin de mars : maïs-haricot, puis sorgho (0,25 c boisé avec arbres "véritables" et avocatiers)
4	Tet Roch	1 (propriété)	jachère
5	Platon Corail	0,25 (indivision)	pâturage permanent
6	Morne Cabrit	0,75 (pris en *«potek»*)	0,25 c : jachère 0,50 c : haricot-patate de juillet
7	Fond Pilastre	1,25 (pris en *«potek»*)	0,50 c : jachère puis haricot d'octobre 0,75 c : jachère toute l'année
8	Tête Boeuf	0,25 (pris en métayage)	haricot de juillet

• **la proportion de jachère est fonction de la disponibilité globale en terres cultivables.** Elle est plus importante chez Dieujuste que chez Luckner :
• Dieujuste a 2,75 carreaux de jachère complète soit 40 % de la superficie exploitée; ou 3,25 carreaux jusqu'en octobre, soit 46 % de la surface exploitée.
• Luckner n'a aucune jachère complète ; 0,35 carreau de jachère jusqu'en octobre, soit 23 % de la surface exploitée.
La faiblesse du foncier disponible conduit Luckner à supprimer la jachère.

• **Il en est de même pour les proportions respectives de culture de rente et de vivres.** Luckner n'a pas de jardin de café. Toute sa superficie est consacrée aux cultures vivrières, qui sont indispensables pour la subsistance de la famille. Dieujuste dispose d'un carreau en café, bien situé près de sa maison.
Ceci a des conséquences importantes sur la structure des revenus monétaires:
• Dieujuste peut compter sur les ventes de café pour obtenir l'argent indispensable aux achats de la famille (huile, pétrole,...) et aux besoins monétaires de l'exploitation: achat des semences de haricot, achat de main d'oeuvre, affermage des terres en "potek"...
• Luckner, lui, n'a pas cette ressource: il ne peut donc ni prendre de terres en potek, ni acheter de main-d'oeuvre. Il doit au contraire se salarier pour obtenir le minimum d'argent qui demeure nécessaire pour sa famille. Il ne peut pas, non plus, cultiver beaucoup de cultures coûteuses en intrants, comme les haricots. C'est faute de suffisamment d'argent, par exemple, qu'il sème le haricot beaucoup moins dense que Dieujuste.

• Dieujuste, grâce à ses jardins plus nombreux, peut **répartir les risques de mauvaises récoltes** dues à des circontances climatiques incertaines. Ainsi, il cultive le haricot de juillet en deux endroits différents:

LES CALENDRIERS DE TRAVAIL

• à "Tête Boeuf", en altitude, cette culture sera plus à l'abri des risques de sécheresse (il y pleut davantage) et des problèmes sanitaires fréquents à cette époque de l'année (cicadelles et mosaïque dorée qui sévissent en période chaude);
• à "Nan Zaiguy", il installe un deuxième jardin de juillet qui donnera bien si l'année est pluvieuse.
Luckner, qui n'a aucun jardin en altitude, est obligé de tenter "le tout pour le tout" en semant le haricot de juillet dans un seul jardin (Nan Sab, un endroit qui de plus n'est pas très favorable à cette culture). Bien qu'il ait l'exploitation la plus fragile, c'est lui qui, faute de suffisamment de terre, est obligé de prendre le plus de risques.

• **Les besoins de l'élevage se traduisent dans l'assolement.** Pour ses trois bovins, Dieujuste réserve les jachères (3,25 carreaux jusqu'en octobre) puis le jardin d'Herbe de Guinée qu'il a installé à côté de sa maison.
Grâce aux avocatiers, manguiers, palmistes et "arbres véritables" dont il dispose, il va pouvoir faire de l'engraissement de porc au moment où ces arbres fruitiers sont en production.
Mais il fait peu de patate douce, car :
• il faut faire des buttes, la récolte est étalée; la patate douce est une culture exigeante en main-d'oeuvre, ce dont Dieujuste ne dispose pas en abondance ;
• c'est une culture qui se pratique avec le haricot; sa présence réduit les densités du haricot, alors que ce dernier rapporte beaucoup plus d'argent ;
• il n'a pas de gros besoins en fanes de patate (les *bois-patate*) puisqu'il n'entretient pas de cochon en permanence.

Faute de terre, faute de jachère, Luckner ne peut pas élever de bovin. Il prend néanmoins deux truies en gardiennage, tentant ainsi de se constituer un cheptel en propriété, à partir des porcelets qui lui seront laissés. On dit qu'il fait du *naissage*. Pour satisfaire aux besoins alimentaires de ses truies, Luckner est obligé de mettre systématiquement de la patate dans ses jardins en mars, en juillet ou en octobre de façon à toujours disposer de fanes à distribuer. Cela va évidemment contribuer à réduire les densités en haricot dans ces jardins (facteur qui va se cumuler avec les faibles ressources monétaires pour l'achat des semences de haricot).
En outre, la patate douce est exigeante en main-d'oeuvre, ce dont Luckner dispose largement, mais ne coûte rien en plants.
Luckner ne peut pas faire d'engraissement, faute d'arbres fruitiers.

• **Les modes de faire-valoir expliquent une partie des choix.** Nous avons vu que Luckner ne disposait que de peu de semences de haricot. Lorsqu'il a le choix, comme par exemple en mars, il met donc du haricot dans un jardin en propriété (Fond Palmiste) plutôt que dans un jardin en métayage (La Sous). La rente qu'il paiera alors sera sous forme de patate, culture peu coûteuse pour Luckner, et non pas en haricot.

Les techniques culturales

Ce sont les techniques appliquées au jardin. L'effet des techniques culturales sur le milieu et les rendements est l'objet spécifique de l'Agronomie, et sera traité dans les chapitres 7, 8, 9 et 10. Mais ces techniques sont en partie déterminées par le fonctionnement de l'exploitation. Nous n'en citerons qu'un seul exemple: celui des techniques de plantations de patate.
• Toujours pressé par le temps du fait de la vente de nombreux tours d'escouade, Luckner plante ses patates seul, avec un minimum d'investissement. La préparation se limite à un simple coup de "louchette" (empruntée, puisque Luckner n'en dispose pas en propre).
• Pour sa part, Dieujuste, lorsqu'il prépare son jardin de juillet avec son escouade, demande à ce que l'on construise de petites buttes, ce qui facilitera le développement des tubercules (voir figure 64). La situation économique plus favorisée de Dieujuste lui permet donc plus de facilités techniques, et donc, en retour, de meilleures performances.

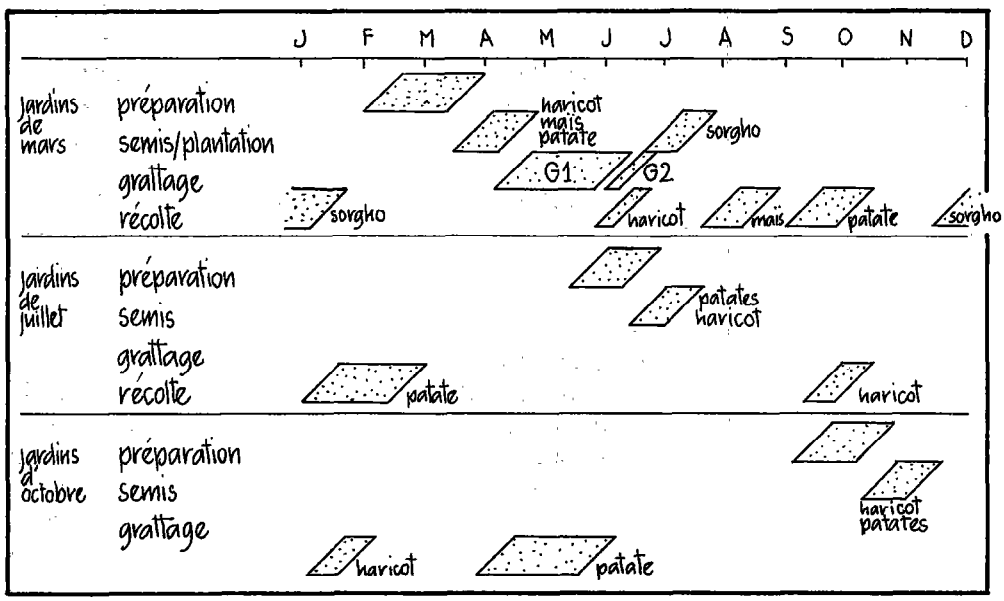
On appelle *calendrier cultural* les dates des travaux culturaux opérés sur un jardin, de la préparation des terres à la récolte.
A Changieux, il existe trois grandes époques de semis-plantation (voir figure 63).

• **Les "jardins de mars"** sont nettoyés en février et en mars. Les herbes sont rassemblées en tas et brûlées, puis on procède à la plantation des patates, sur de petites buttes préalablement constituées, et au semis du maïs et du haricot, en général en avril.
Un *"grattage"*, c'est-à-dire en réalité un sarclage, permet de contrôler les mauvaises herbes. En juin, après la récolte des haricots et un second *grattage*, on sème le sorgho, entre les plants de maïs et de patate.
On récolte le maïs en août, puis la patate et enfin le sorgho, à la fin de l'année.
Ceci est le calendrier-type, mais des variations sensibles peuvent exister entre les jardins. Il est, par exemple, fréquent qu'une des trois composantes de l'association maïs-haricot-patate soit absente. Il reste alors une association maïs-patate ou maïs-haricot ou encore haricot-patate sans que les grands traits du calendrier cultural soient bouleversés.

• **Les "jardins de juillet"** sont préparés avant le 20 juillet, semés en haricot-patate ou haricot pur. Il n'y a, en principe, pas de sarclage.

• **Les "jardins d'octobre"** sont préparés en octobre et semés en novembre (haricot seul ou haricot-patate selon les cas). La récolte du haricot est souvent l'occasion d'un sarclage de la patate.

Figure 63 : calendrier cultural type à Changieux.



Ces calendriers sont plus ou moins bien respectés selon les possibilités des exploitations. On constate en effet que les retards par rapport au calendrier "optimum" sont fréquents. A ceci, deux raisons principales:
• un manque d'argent pour acheter les semences. Ce fut le cas pour Luckner en juillet. Il a alors dû vendre, avant la mise-bas, l'un des porcelets qui allait lui revenir dans la portée d'une de ses truies. Malgré cela, il n'a pu semer que le 2 août, ses haricots sont donc arrivés à maturité mi-octobre, en pleine saison des pluies. Une partie d'entre eux a germé sur pied, l'autre s'est très mal conservée.
• une compétition dans les travaux agricoles. On parle alors de *pointe de travail*. C'est le cas de Dieujuste, dont la main-d'oeuvre est limitée, notamment en septembre. Il y a une forte compétition entre la préparation des jardins d'octobre et la récolte du café. Celle-ci est considérée comme prioritaire; c'est pourquoi Dieujuste fait peu de haricot d'octobre. Il fait appel à des salariés. Le travail est mal fait, les reprises d'adventices sont importantes et le rendement est faible:
0,8 q par hectare alors que plusieurs jardins voisins atteignent 3 q/ha.

Luckner doit faire face à une autre forme de compétition dans les travaux: c'est

celle qui s'établit entre le travail sur ses propres jardins et celui qu'il doit réaliser en vendant ses tours d'escouade pour disposer d'argent. Ainsi, en juin, à la recherche de moyens monétaires pour acheter ses haricots de juillet, Luckner a vendu tous ses tours. Il a pris du retard pour les semis de sorgho. Il a alors dû semer à la volée, technique beaucoup plus rapide, mais beaucoup moins efficace que le semis en poquet.
Là encore, les conséquences sur les rendements sont importantes: 5 q/ha pour Luckner dans son jardin de "La Sous" (*) contre 12 q/ha pour Dieujuste qui a pu semer en poquets à "Nan Zaïguy".

(*) Remarquons au passage que Luckner n'a pas appliqué cette technique du semis à la volée sur tous ses jardins de sorgho. A Fond Palmiste, là où il est propriétaire, il sème en poquets. Une fois de plus, on constate que Luckner privilégie l'utilisation de ses ressources limitées sur son jardin

Figure 64 : récapitulatif de quelques effets du fonctionnement des exploitations de Dieujuste et de Luckner sur les productions végétales.

Aspect du fonctionnement en cause	Opération culturale	Modalités	Jardin concerné	Rendement
Disponibilité en main-d'oeuvre, concurrence avec la vente de journées salariées	plantation patate	sans butte	Luckner J2	- 1t/ha tubercules - fanes : +++
		avec butte	Dieujuste J6	- 1,4t/ha tubercules - fanes : +
	semis de sorgho	à la volée	Luckner J3	2 q/ha
		en poquets	Dieujuste J2	5 q/ha
Disponibilité en main-d'oeuvre, concurrence avec la récolte du café	préparation haricot d'octobre	bâclée	Dieujuste J7	0,8 q/ha
		soignée	Luckner J2	3 q/ha
Disponibilité en trésorerie	semis du haricot juillet	semis le 15/7	Dieujuste J6	5,6 q/ha
		semis le 2/8	Luckner J2	nul

• **Remarque**
La méthode utilisée ici consiste à comparer des jardins deux à deux. Il convient de l'employer avec beaucoup de prudence. En effet, elle suppose que, hormis les techniques dont on veut comparer les effets, tous les autres paramètres conditionnant l'élaboration du rendement aient été les mêmes: les types de sol, les dates des autres travaux, les variétés utilisées, etc... On dit que les différences de traitement doivent s'exprimer "toutes choses égales par ailleurs". Dans la réalité, ce n'est pratiquement jamais le cas.

LES SYSTÈMES D'ÉLEVAGE

Nous avons déjà noté que les moyens de production propres à Dieujuste et à Luckner les amenaient à entreprendre des élevages de nature différente:
• Dieujuste possède une vache et son veau, auquel s'ajoute un jeune boeuf appartenant en fait à son fils Emmanuel. Il ne pratique l'élevage de cochon qu'à certaines périodes de l'année.
• Luckner ne possède pas d'animal en propre. Il est conduit à prendre des cochons en gardiennage.

Au-delà du choix des espèces, c'est tout le système d'élevage qui apparaît étroitement relié aux autres paramètres de l'exploitation.

• **L'acquisition et la vente d'un animal sont des moyens de réguler la trésorerie.** Ainsi, pendant l'année du suivi Dieujuste a-t-il acheté un premier cochon en mars, grâce à la vente du veau. Il en achète deux autres en septembre, grâce à l'argent provenant de la vente de son café. Il les revend tous fin décembre, à un moment où les cours sont élevés, pour racheter une vache.

• **L'arrivée ou le départ d'un animal dépend aussi de la force de travail**

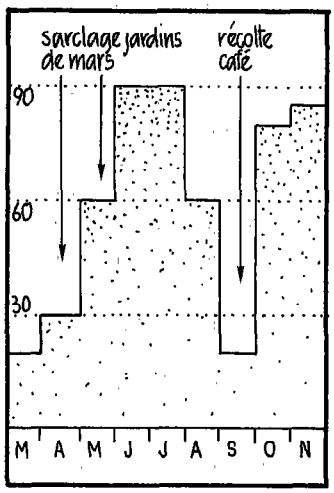


Figure 65 : temps consacré par Dieujuste à l'engraissement de son cochon (en minutes par jour).

susceptible de s'en occuper. La vente du veau peut s'expliquer par la charge de travail qu'il représentait pour le déplacer, alors que les pâturages sont éloignés après les mises en culture de mars. La femme de Dieujuste, en revanche, peut s'occuper du jeune cochon qu'il achète alors avec l'argent de la vente du veau.

Pendant tous les sarclages du maïs en mai-juin, période de l'année la plus occupée, le cochon est attaché dans les jachères, avec des apports complémentaires limités aux déchets de cuisine. L'objectif est que l'animal survive, mais en demandant le moins de travail possible. A partir de juin, les sarclages étant finis, Dieujuste décide de se consacrer à l'engraissement de l'animal. Le temps qu'il lui consacre est alors multiplié par trois (apports de mangues, de graines de palmiste, etc...) par rapport au mois d'avril.

Il diminue de nouveau en août, faute de fruits, et encore plus en septembre où la concurrence avec le travail sur le café joue à plein. L'animal est alors au pâturage, sans apport et avec des abreuvements peu fréquents. Enfin en octobre-novembre, l'animal est ramené près de la maison, au *jouk* et nourri essentiellement avec les avocats.

• **L'engraissement se fait par les apports au *jouk*** qui sont surtout constitués des fruits. Aussi Dieujuste centre-t-il la présence de ses cochons sur les périodes d'abondance des mangues (mai-juin) et des avocats (octobre-novembre).

Selon les cas, et les moments de l'année, ce sera tantôt la trésorerie, tantôt la disponibilité du travail, tantôt les ressources alimentaires qui détermineront la conduite de l'élevage.

• **Ceux qui le peuvent jouent volontiers sur les variations des cours.** Grâce à son jardin d'herbes à proximité de la rivière, Dieujuste peut acheter un bovin à bas prix en début de saison sèche et le revendre en mars à un moment où les prix sont plus élevés.

APPORTER DES AMÉLIORATIONS ADAPTÉES

• Dieujuste et Luckner, n'ayant pas les mêmes moyens de production, ni les mêmes disponibilités en foncier et en travail, sont conduits à faire des choix différents pour l'organisation de leurs productions.
Les choix de culture et d'élevage apparaissent dépendants entre eux, et étroitement liés aux disponibilités en trésorerie et en main-d'oeuvre. Comme tous ces éléments sont liés entre eux, on parle de *système de production*. Pour comprendre les choix techniques opérés par les agriculteurs, il faut s'intéresser à la totalité du système.
• Inversement, lorsqu'on examine les choix techniques de Dieujuste et de Luckner, on leur trouve une raison d'être, une justification qui tient au fonctionnement global du système de production. On dit que ces choix sont *rationnels*, affirmant ainsi *la cohérence du système.*
En d'autres termes, **Dieujuste et Luckner ont de bonnes raisons de faire ce qu'ils font, même si ces pratiques aboutissent à des résultats médiocres sur le plan technique.** Lorsqu'on est surpris par la pratique d'un agriculteur, il faut toujours se demander s'il n'existe pas une raison qui justifie cette pratique. Les agriculteurs sont souvent capables d'expliquer eux-mêmes la raison de leur choix. Ce n'est cependant pas toujours le cas et c'est alors l'analyse scientifique du fonctionnement de l'exploitation qui la fait apparaître.

Remarquons aussi que la rationnalité n'a de sens que par rapport au système de production concerné. Ainsi, ce qui est rationnel pour Dieujuste ne l'est pas systématiquement pour Luckner.
Les caractéristiques structurelles de l'exploitation déterminent, dans une large mesure, le choix des productions et des techniques qui "peuvent" être adoptées par l'exploitant.

• Pour mieux comprendre la logique ou l'intérêt de la combinaison observée au moment de l'analyse, **une étude historique est toujours une aide très précieuse** - voire une étape obligée de l'analyse.
Il est conseillé de retracer, depuis l'installation de l'exploitant jusqu'à la période actuelle, les évolutions de l'appareil de production (qualitative et quantitative), de la combinaison des éléments terre / travail / capital d'exploitation, des productions pratiquées: espèces cultivées, rotations, assolements, itinéraires techniques, rendements; races, conduite des troupeaux, performances zootechniques,...
L'ordre dans lequel s'enchaînent les transformations permet souvent d'en repérer la logique et de comprendre, par exemple:
. pourquoi la transformation a été opérée à ce moment? Comment la disponibilité en terre, travail, capital l'a rendue possible?
. quels étaient les objectifs poursuivis lors de la mise en oeuvre du changement?

• La cohérence du système et la rationnalité des choix techniques des agriculteurs n'empêche pas d'apporter **des améliorations techniques et économiques**. En effet de meilleures performances peuvent être atteintes dans deux circonstances:
. Une action de développement peut modifier les conditions de l'environnement socio-économique (par un aménagement, ou une action sur les prix, la disponibilité du crédit,..). Le système de production d'un agriculteur est ainsi amené à se rééquilibrer pour aboutir à des résultats plus satisfaisants pour la collectivité : une production supérieure, dégageant plus de surplus vivriers, ou encore un emploi rural plus abondant, ralentissant ainsi l'exode rural...
. Même si l'environnement socio-économique n'est pas modifié, des apports purement techniques peuvent permettre au système de production de mieux satisfaire aux objectifs de l'agriculteur. Ainsi une nouvelle variété à cycle plus court peut supprimer une pointe de travail par exemple.

• **Les propositions de développement doivent donc être ajustées aux systèmes de production**. Les propositions intéressantes pour l'exploitation de Dieujuste sont différentes de celles adaptées aux contraintes de Luckner.

Prenons quelques exemples:

• Toute action sur la production de café intéressera Dieujuste, qui en possède, mais pas Luckner, qui n'en cultive pas. C'est le cas le plus simple.

• Un crédit "porcelets" offrant aux producteurs la possibilité d'obtenir de jeunes porcelets à engraisser intéresserait certainement Dieujuste. Elle intéresserait également Luckner, mais dans son cas, elle devra être accompagnée d'un crédit "aliments" car Luckner n'a rien pour engraisser ses porcs.

• Si on veut proposer à Dieujuste et à Luckner des variétés améliorées de haricot, les critères de sélection ne seront pas les mêmes. Luckner sera intéréssé par des variétés rustiques, susceptibles de s'adapter à des conditions de culture difficiles: semis en retard, culture en juillet à basse altitude... Dieujuste préfèrera des variétés à haut rendement, mais devant être impérativement cultivées dans les meilleures conditions...

On remarque que les propositions sont plus faciles à faire pour Dieujuste que pour Luckner, qui est davantage prisonnier de sa situation économique et sociale.
Ce cas est généralisable: il est plus facile d'apporter des améliorations techniques aux agriculteurs plus favorisés qu'aux plus pauvres. C'est pourquoi les projets de développement ont souvent du mal à atteindre les catégories inférieures de la population.

• ***L'étude du fonctionnement des exploitations permet d'adapter les propositions de développement***. Mais il n'est évidemment pas possible d'étudier le fonctionnement de toutes les exploitations d'une petite région avant d'y installer une opération de développement.

Aussi est-il courant de n'en étudier que quelques-unes (un échantillon de familles qui sont choisies pour recouvrir toutes les situations sociales existantes), puis de les regrouper en grand *types de fonctionnement.* On bâtit alors une *typologie de fonctionnement,* laquelle se différencie de la *typologie de structure* vue précédemment.

En Haïti, la typologie de fonctionnement la plus sommaire distingue trois catégories d'agriculteurs selon la combinaison qu'ils réalisent entre foncier et travail.

• **Ceux qui possèdent peu de terres en regard de la force de travail dont ils disposent.** Ils prennent des terres en métayage, vendent des journées de travail, doivent fréquemment recourir au crédit usuraire. Ils ne peuvent organiser leur système de production que pour la satisfaction de leurs besoins essentiels à très court terme. C'est le cas de Luckner.

• **Ceux qui, à l'inverse, disposent de davantage de terres que ce qu'ils peuvent directement exploiter**. Ils en cèdent une partie en métayage, utilisent du salariat ou achètent des journées. Ils pratiquent souvent une activité artisanale ou commerciale lucrative. Ils offrent du crédit, se créant ainsi un réseau de dépendants qui leur sont liés. Leur système de production comprend davantage de cultures de rente, et leur stratégie se raisonne à moyen ou long terme. C'est le cas de Dieujuste.

• **Entre les deux, il y a les agriculteurs qui disposent d'une quantité de foncier équilibrée avec leur capacité de travail.**

La construction de ces typologies est également utile pour le suivi-évaluation des projets de développement. Elle permet de voir sur quel groupe d'exploitations le projet a un effet et pourquoi.
Les typologies sont un instrument très utile pour l'agronome, mais elles supposent un effort important d'enquête, de suivi et d'analyse.

Calcul des résultats économiques

La calcul économique présenté dans cette partie est inspiré de :

J.M. VIEL - Le calcul économique appliqué à l'exploitation agricole - INA Paris-Grignon et ESAT Montpellier, 1989.

O. DENISSE - Analyse économique de l'exploitation de stage - INA Paris-Grignon, 1987.

Lorsqu'on a mis en évidence le fonctionnement d'une exploitation, il importe ensuite d'en mesurer les performances. Les performances purement techniques s'appréhendent au niveau des parcelles par la mesure des rendements, et au niveau des animaux par celle de leur production (production laitière ou gain moyen quotidien en poids). Les performances économiques, elles, se mesurent au niveau de l'exploitation par le *calcul économique.*

Le calcul économique a pour objectif de mesurer les résultats obtenus par l'agriculteur dans les processus de production qu'il met en oeuvre. Autrement dit, il s'agit de se donner les moyens de juger, compte-tenu de l'appareil de production disponible, de l'efficacité du travail investi dans l'activité agricole.

La finalité de l'activité agricole est de permettre à l'exploitation d'exister durablement. Pour cela, il faut pouvoir au moins:
- assurer la subsistance des travailleurs,
- renouveler le matériel et les installations.

Toutes les exploitations n'arrivent pas à ce résultat; certaines parviennent à peine à faire vivre la famille. D'autres, au contraire, s'agrandissent (foncier et cheptel) et améliorent leurs moyens de production (outillage, stockage,...).

LA PRODUCTION DE L'EXPLOITATION : CALCUL DU PRODUIT BRUT

Le produit brut correspond à la valeur de la production. Il est calculé *pour un cycle de production.* Pour des raisons de commodité, nous choisirons un cycle égal à un an (365 jours). Ce calcul peut être réalisé pour une année déterminée ou pour une année "moyenne".

Le produit brut (PB) est donc la valeur de ce qui a été produit pendant un an sur l'exploitation.

Il ne faut pas confondre la valeur de la production (ce qui constitue le PB) et la valeur des ventes (ce qui constituent les *recettes*). En effet:
- la production de l'année n'est pas toujours entièrement vendue pendant cette même année. Une partie peut être utilisée pour la consommation familiale. Une partie peut être stockée pour être vendue l'année suivante ;
- les ventes ne résultent pas toujours d'une production de l'année. Il peut y avoir vente de produits récoltés l'année précédente et stockés, ou vente de produits résultant de la production de plusieurs années (par exemple vente de bois).

CALCUL DU PRODUIT BRUT VÉGÉTAL

Il existe plusieurs méthodes pour mener ce calcul. La plus simple est de partir directement des quantités physiques produites pendant le cycle de production (un an) et de calculer, pour chaque culture:

Quantité physique produite x *valeur* d'1 unité physique de produit





Le produit brut : ce que l'exploitation a produit en une année (photos G. de Laubier).

La quantité physique de produit est obtenue soit directement (l'exploitant sait quelle quantité de produit il a "sorti" de son jardin), soit en calculant:

superficie cultivée x rendement à l'unité de surface.

La détermination de la *valeur* d'une unité de produit est délicate. L'intérêt est, dans le calcul économique, de choisir un critère de "valeur" qui soit le plus proche possible de celui utilisé par le paysan lorsque ce dernier raisonne ses objectifs de production. Ainsi, il peut être souhaitable, dans le cas d'une paysannerie produisant quasi-exclusivement pour l'autoconsommation familiale, de mesurer la *valeur* de la production en nombre de calories produites.

Dans le cas de la paysannerie haïtienne, nous avons vu que toutes les exploitations sont marchandes, même si la part de la production commercialisée varie selon l'exploitation. Il est donc intéressant d'évaluer la production en termes de *prix*. Mais quel prix choisir sachant que toute la production vendue ne l'est pas toujours en une fois et à un seul prix, et que la production n'est pas toujours entièrement vendue?

• La part de production consommée par la famille peut être estimée de deux manières selon qu'on la considère comme *autant de moins à acheter en période de disette* ou comme *autant de moins à vendre (au moment de la récolte ou plus tard).*
Dans le premier cas, l'estimation de l'autoconsommation se fera au prix pratiqué sur le marché au moment où l'exploitant devrait acheter ce produit sur le marché s'il ne disposait pas de sa production (prix élevé de la période de soudure). Cette estimation est intéressante pour les exploitants dont la production est essentiellement autoconsommée.
Dans le deuxième cas, l'estimation de l'autoconsommation se fera au prix pratiqué sur le marché au moment où l'exploitant vend ses produits (en général, prix bas de la récolte). Cette estimation est intéressante pour les exploitants pratiquant des cultures essentiellement pour la vente.

• Pour simplifier la collecte d'information et les calculs, on peut se limiter à un *calcul du produit brut végétal* dans lequel on estime toute la production (autoconsommée + vendue) au prix de vente de la production sur le marché au moment de la récolte. Cette méthode donne, la plupart du temps, une approche des résultats économiques suffisante. On a donc pour chaque culture:

Produit Brut végétal
= quantités récoltées x prix de marché (unitaire) à la récolte

Remarque: les fourrages ne sont pas, en général, un produit final de l'exploitation. Ils sont utilisés pour la production animale qui, elle, fournit le produit final, consommé par la famille ou vendu. Il n'y a donc pas lieu de tenir compte de la production de fourrage pour le calcul du PB végétal de l'exploitation. La production de fourrage sera "présente" dans le calcul du produit brut animal.

La production animale réalisée au cours du cycle de production étudié (1 an) peut apparaître sous différentes formes:
- vente de produits animaux (lait, oeufs,...),
- vente d'animaux,
- consommation par la famille d'animaux ou de produits animaux,
- croissance du cheptel provenant de la croissance interne du troupeau (naissances d'animaux sur l'exploitation). Même si cette croissance n'entraîne pas de recette en argent dans l'immédiat, il s'agit bien d'une production de l'exploitation. Mais il ne faut pas considérer comme production de l'exploitation une croissance du troupeau qui proviendrait d'achats d'animaux.

On calculera le PB animal en additionnant, pour chaque troupeau présent sur l'exploitation:

valeur des produits consommés par la famille
+ montant de ventes de produits animaux
+ montant de (ventes - achats) d'animaux
+ valeur du cheptel en fin de cycle - valeur du cheptel en début de cycle (*)

(*) Pour faire ce calcul, on réalise un inventaire du troupeau en début et en fin de cycle. La valeur du cheptel est obtenue en additionnant la valeur estimée de chaque animal.

Les troupeaux sont généralement de petite taille dans les exploitations haïtiennes et l'estimation des variations de valeur des animaux au cours d'une année est difficile. Le plus souvent, le calcul du PB peut donc difficilement être réalisé en suivant la démarche ci-dessus.
On étudiera la production sur une période correspondant à la *durée réelle du cycle de production* pratiqué sur l'exploitation. Cette durée est égale, pour un atelier animal donné, au temps séparant le début de la production (achat de l'animal ou naissance) et le moment de sa consommation ou de sa vente.
On calculera le produit brut (pour 1 an) en rapportant le PB total pour le cycle de production à la durée (en année) de ce cycle.

Prenons un exemple.

Le cheptel reproducteur est constitué de deux vaches qui produisent chacune un petit par an (supposons un mâle et une femelle par an). Les petits mâles sont élevés jusqu'à 3 ans et sont alors vendus 150 $. Les petits femelles sont élevés jusqu'à 2 ans et sont alors soit vendus (pour 200 $), soit intégrés au cheptel reproducteur de l'exploitation. Les vaches produisent chacune 150 gallons de lait par an vendus 0,8 $ par gallon.
Le PB est constitué par la vente du lait, la production de mâles et la production de femelles.
Le PB animal annuel est égal à:
(2 vaches x 150 gal. x 0,8 $/gal)+(150 $ en 3 ans/ 3)+(200 $ en 2 ans/ 2) soit 390 $

Pour calculer le produit brut total, on additionne le produit brut végétal et animal.

PB total = PB végétal + PB animal

CALCUL DE LA VALEUR AJOUTÉE

Pour obtenir cette production, l'exploitant a dû utiliser *des biens et services achetés à l'extérieur de l'exploitation* : semences, engrais, produits phytosanitaires, eau d'irrigation, aliments pour le bétail, produits et frais de vétérinaire, carburants, location de tracteur ou de charrue, frais d'entretien et de réparation des matériels,...

Ces biens et services sont destinés à entrer dans un processus de production. Ils vont être entièrement utilisés, consommés au cours d'un (et un seul) cycle de production; on les appelle *consommations intermédiaires (CI).*
Les consommations intermédiaires vont être transformées grâce au travail et aux

moyens de production (outils, installations,...) mis en oeuvre, en des produits plus élaborés qui auront donc une valeur supérieure.
Les personnes qui travaillent sur l'exploitation ajoutent ainsi chaque année une certaine valeur aux moyens de production qu'elles utilisent.

Les semences : une consommation intermédiaire (photo G. de Laubier).



Mais il existe d'autres biens achetés à l'extérieur de l'exploitation qui sont utilisés dans la production: outils, matériel de stockage, plantations, aménagements fonciers,.... Ils constituent le capital fixe; ils ne seront pas entièrement consommés au cours d'un cycle de production mais pourront être utilisés pendant plusieurs années. Ils s'usent et donc perdent progressivement de leur valeur au cours des différents cycles de production.
On appelle *amortissement* la fraction de la valeur du capital fixe qui est incorporée chaque année à la valeur des produits, et ce durant toute la durée d'utilisation des biens considérés.
Par exemple, pour un matériel ou un bâtiment ayant une durée probable d'utilisation de 10 ans (estimation demandée à l'exploitant lui-même), l'amortissement sera estimé à 1/10 ème du capital nécessaire pour le remplacer.
Pour une plantation occupant une parcelle pendant 5 ans, l'amortissement est égal à 1/5 ème du capital nécessaire à sa mise en place. Ce capital comprend la valeur des plants achetés, les salaires dépensés lors de l'installation de la culture.

Le produit brut ne correspond donc pas exclusivement à de la valeur créée sur l'exploitation; il intègre la valeur des consommations intermédiaires et celle des amortissements. On définit la *valeur ajoutée* (sous-entendu "par le travail sur l'exploitation") par:

Valeur Ajoutée (VA) =
Produit Brut - Consommation Intermédiaire - Amortissements

La valeur ajoutée est un résultat important car elle permet de comparer l'*activité productive* des exploitations sans préjuger de l'utilisation de cette valeur. Autrement dit, on peut comparer des exploitations qui ne sont pas dans la même situation du point de vue de la propriété des divers éléments de l'appareil de production.

Prenons le cas de deux exploitants, Delius et Emecene.
Delius a produit 3600 $ sur son exploitation, et Emecene 2200 $. Mais Emecene a peu de consommations intermédiaires (200 $): il ne met pas d'engrais, et il cultive surtout du maïs et du sorgho qui demandent peu de semences. Delius, a planté beaucoup de bananes, ce qui lui a coûté 900 $ en plants, amortis sur 18 mois, soit 600 $/an. Il a aussi répandu pour 200 $ d'engrais.
Le calcul de valeur ajoutée donne donc:

VA Delius	=	PB	-	CI	- A
	=	3600	-	200	- 600
	=	2800 $			
VA Emecene	=	PB	-	CI	- A
	=	2200	-	200	
	=	2000 $			

(*) La productivité d'un facteur est égal à la valeur ajoutée produite par unité de ce facteur. On peut aussi calculer la productivité du capital.

Si Delius a créé, par le travail sur son exploitation, davantage de valeur qu'Emecene, cela ne veut pas dire que la productivité de son travail est supérieure.

On définit la ***productivité du travail***(*) sur l'exploitation par le ratio **Valeur Ajoutée / travail investi sur l'exploitation** (travail total utilisé, d'origine familiale, salariée, entraide, etc...). La productivité du travail s'exprime donc en dollars par unité de temps de travail (heure, jour, travailleurs à plein temps pendant l'année,...)

Ainsi, Delius, pour la plantation et le soin à ses bananiers, a dû recourir à de nombreuses escouades qu'il a payées: 800 hommes-jours en tout pendant l'année, auxquelles il faut ajouter 600 journées de travail familial.

La productivité du travail dans l'exploitation de Delius est donc de :
P= 2800/(800 + 600) = 2 $ par jour de travail.

Emecene, lui, n'a utilisé que 100 jours de travail extérieur, lui-même et sa famille ont travaillé 400 jours.

P = 2000 $/(100+400) = 4 $ par jour.

RÉPARTITION DE LA VALEUR AJOUTÉE : CALCUL DU REVENU

La valeur ajoutée par les travailleurs ne correspond généralement pas à leur revenu. L'exploitation doit encore faire face à des charges qui reflètent les conditions économiques et sociales dans lesquelles elle opère.
La valeur ajoutée est donc répartie entre les différents agents intervenant dans le processus productif, soit parce qu'ils possèdent une partie du capital d'exploitation, soit parce qu'ils ont travaillé directement sur l'exploitation. De plus, l'Etat peut prélever directement sous forme d'impôts une partie de la valeur ajoutée.

Ainsi, la valeur ajoutée va se répartir entre différentes *affectations:*
• la *rente foncière* payée au propriétaire foncier,
• les *intérêts des emprunts* payés au prêteur (banque ou usurier)*.
On ne compte pas dans les affectations la fraction du capital remboursée chaque année, puisqu'elle a servi à acheter des moyens de production dont nous avons déjà tenu compte en charge de production (dans le calcul des amortissements).
• les *taxes liées à la production* et payées à l'Etat.
Elles peuvent exister sur certains périmètres irrigués.

* Pour un emprunt d'une somme (K) à un certain taux (i) et pour un nombre d'années (n), chaque année l'exploitant remboursera au prêteur:
. une fraction K/n du capital
. des intérêts annuels Ki.

La part de la valeur ajoutée (PVA) conservée par l'exploitation est ce qui reste de la valeur ajoutée une fois ces prélèvements effectués.

Pour reprendre l'exemple d'Emecene et de Delius, nous avons:

PVA Delius = 2800 - 900 = 1900 $ si Delius a la moitié de sa terre en métayage à 50% (RF = 1800 X 0,50 = 900 $), mais n'a rien emprunté.

PVA Emecene = 2000 - (2200/2) = 900 $ si Emecene est métayer à 50% sur toute sa surface.

La PVA ne correspond pas toujours au *revenu agricole* de l'exploitation, c'est-à-dire à ce qui va servir à *rémunérer le travail de la famille.*

• Si l'exploitation n'utilise pas de main-d'oeuvre extérieure à l'exploitation, la PVA correspond au revenu de l'exploitant.

PVA=rémunération du travail familial.

• Si l'exploitant a utilisé du travail extérieur à l'exploitation, une fraction de la PVA sert à payer les travailleurs extérieurs qui sont intervenus.

Remarque: les travailleurs "extérieurs" ne sont pas toujours payés uniquement sous forme monétaire. Souvent, en Haïti, les travailleurs reçoivent, au cours de leur travail, nourriture et boisson payées par l'exploitant/employeur. D'autres fois (pour le travail de récolte en particulier), ils peuvent être payés "en nature"; ils reçoivent alors une certaine quantité du produit récolté.
Dans le calcul du paiement des travailleurs extérieurs (montant qui sera à déduire de la PVA), il faut compter ces rémunérations en nature qui font partie de la rémunération reçue par le travailleur. Si l'exploitant les a achetés sur le marché (boisson,...), on les estimera au prix d'achat payé par l'exploitant. S'il s'agit de biens produits sur l'exploitation, ils seront estimés au même prix que celui utilisé pour le calcul du produit brut.



La rémunération du travail extérieur à l'exploitation doit être estimée pour calculer le revenu agricole (photo G. de Laubier).

Revenu agricole = rémunération du travail familial
= P.V.A. - paiement des travailleurs "extérieurs"

Pour Delius, qui a payé chacune des 800 journées de travail qu'il a achetées à 1,6 $, on a : RA = 1900 - (800 x 1,6) = 620 $.

Pour Emecene on a : RA = 900 - 160 = 740 $.

Si on rapporte le revenu agricole au nombre de journées de travail fournies par la famille (revenu du travail journalier), on a:

RTJ Delius = 620/600 = 1,03 $/j RTJ Emecene = 660/400 = 1,65 $/j

---

C'est le revenu agricole qui servira à assurer les besoins de la famille. S'il est suffisant, il pourra de plus permettre d'épargner, d'accroître le capital d'exploitation, d'élargir et d'améliorer l'appareil de production (nourrir mieux la famille, améliorer l'outillage, accroître le foncier, améliorer la fertilité des jardins, augmenter le troupeau,...)

On voit dans l'exemple de Delius et d'Emecene que la comparaison des résultats économiques de deux exploitations dépend étroitement des critères que l'on retient. C'est pourquoi, il est très important de bien saisir le sens des différents paramètres que sont la production, la valeur ajoutée, la productivité du travail ou le revenu agricole. Chacun de ces paramètres a un sens qui donne un éclairage particulier à l'analyse économique de l'exploitation.

Remarque: les exploitants qui investissent peu ou pas du tout de main-d'oeuvre familiale sur l'exploitation, et qui disposent de quantités importantes de capital, utilisent un autre critère pour juger et orienter leur activité productive. Il s'agit du taux de profit.

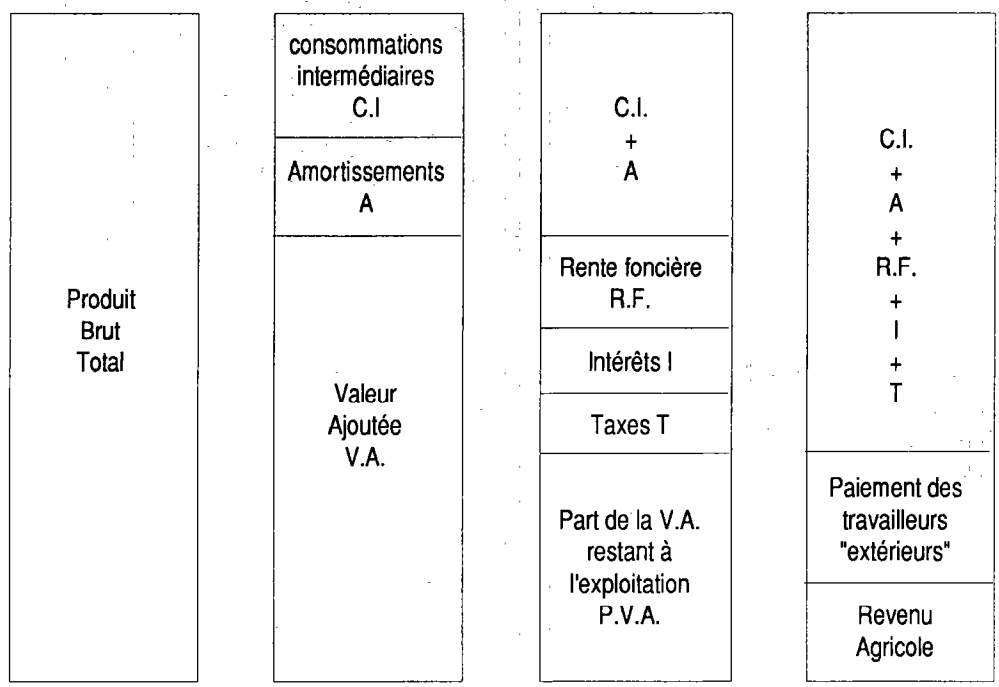
Le taux de profit annuel est égal au revenu agricole annuel rapporté au total du capital-argent immobilisé dans la production.

Ainsi, prenons l'exemple d'un exploitant qui a investi 80 000 $ dans une plantation de canne, pour acheter le matériel, aménager les terres et assurer la trésorerie (c'est-à-dire la "caisse" pour payer les journaliers, les intrants, etc.)

Imaginons que le produit brut (la vente de la canne) soit de 50 000 $ et que les consommations intermédiaires, les amortissements et les salaires distribués soient de 30 000 $, le revenu agricole annuel est de 50 000 - 30 000 = 20 000 $.
et le taux de profit T = 20 000/80 000 = 25 %

Le taux de profit exprime l'intérêt que perçoit l'exploitant en décidant d'investir son capital dans l'agriculture. Les exploitants capitalistes comparent aisément ces taux de profit à ceux qu'ils obtiendraient en plaçant la même somme dans le commerce ou l'industrie. Une baisse des prix agricoles déplace ces capitaux hors de l'agriculture, alors que les hausses de prix ont tendance à les y ramener.

Figure 66 : calcul des résultats économiques



EXEMPLES DE CALCUL

• Le plus souvent, en Haïti, la culture est manuelle. Le capital investi sous forme d'outils (houe, bêche, machette,...) est modeste, même s'il constitue l'essentiel du capital pour les petites exploitations. Les amortissements annuels pour les outils sont donc faibles. On peut généralement les négliger dans le calcul économique. C'est ce qui est fait dans le calcul ci-dessous. Nous considérons qu'il n'existe aucun autre capital fixe hormis l'outillage.

• Pour des raisons de commodité de présentation, nous ferons les calculs par sous-activités, c'est-à-dire pour chaque atelier animal et pour chaque jardin. Puis nous ferons le récapitulatif pour l'exploitation tout entière. Cette méthode peut être intéressante à suivre au cours de la collecte des informations auprès de l'exploitant; elle évite les oublis dans le recueil des données.

• Dans les exemples suivants, le capital d'exploitation est uniquement du capital détenu en propre par l'exploitant. Il n'y a donc pas d'emprunt.

UN PETIT MÉTAYER

Soit une exploitation constituée de 0,5 carreau en métayage, cultivés avec l'association arachide/maïs/manioc. L'exploitant a un boeuf et une vache en gardiennage.

La production végétale

* m : marmite

• Le métayage est au tiers
• L'exploitant achète 4 m* de semence de vigna à 3 $/m, 2 m de semence de maïs à 1 $/m et 10 m de semence d'arachide à 1 $/m. Les boutures de manioc sont produites sur l'exploitation.
• Tout le travail pour la culture de ce jardin est fourni par l'exploitant, sa famille et des voisins dans un cadre d'entraide.

pour la préparation du sol :	6 personnes pendant	10 jours
le semis du vigna	6	4
le semis du maïs	5	2
le semis de l'arachide	5	4
le 1er sarclage	6	11
la plantation du manioc	4	6
le 2ème sarclage	6	10
la récolte du vigna	4	5
la récolte du maïs	5	2
la récolte de l'arachide	5	10
la récolte du manioc	faite par l'acheteur	

- Le manioc est vendu sur pied pour 160 $
- La récolte de vigna est de 12 m à 1,4 $ la marmite
  maïs 50 m à 0,5 $ la marmite
  arachide 220 m à 0,8 $ la marmite

Le produit brut est égal à :

PB = 160 $ + (12m x 1,4 $/m) + (50m x 0,5 $/m) + (220m xX 0,8 $/m)
= 377,8 $

- Les seules *consommations intermédiaires* utilisées sont les semences.
  CI = (4m x 3 $/m) + (2m x 1 $/m) + (10m x 1 $/m) = 24 $
  VA = PB - CI = 377,8 $ - 24 $ = 353,8 $.
- *Le travail total* investi sur le jardin est de:
  60+24+10+20+66+24+60+20+10+50 = 344 j.
- *La productivité du travail* pour cette culture est de:
  353,8 $ / 344 jours = 1,02 $/j.

On peut supposer que le travail fourni dans le cadre d'une entraide sera "rendu" par l'exploitant et sa famille et que le nombre de jours de travail reçu sera égal à celui rendu. Cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée.
Cela revient à dire que tout le travail investi sur le jardin doit être pris en compte comme de la main d'oeuvre-familiale. On a donc:
PVA = VA - rente foncière = 353,8 $ - (377,8 $/3) = 228 $
et Revenu = PVA
La rémunération du travail par jour de travail investi sur la production végétale est de: 228 $/ 344 jours = 0,66 $/ jour

La production animale "bovin à l'engraissement"

Le contrat de métayage précise que le montant de la vente de l'animal sera partagé à part égale entre le propriétaire et le gardien. La bête est en général vendue après deux ans pour 240 $. L'exploitant consacre une heure de travail par jour pour nourrir et déplacer sa bête.
PB annuel = 120 $.

Il n'y a pas de consommation intermédiaire pour l'élevage: pas d'aliments achetés, pas de frais vétérinaires,... Donc: VA = PB
La part de la valeur ajoutée restant à l'exploitation est donc égale à:
VA - "rente" = 120 - 120/2 = 60 $.
Le travail est totalement fourni par la main-d'oeuvre familiale. On a donc:
Revenu = PVA = 60 $.

Le temps de travail est de 365 heures par an. En estimant, comme pour la production végétale, les journées à environ 8 heures, l'exploitant investit donc environ 45 jours de travail dans sa production animale.

La productivité du travail est de :
120/45 = 2,66 $/j.

La rémunération du travail est de :
60 $/45 = 1,32 $/j.

Résultats globaux de l'exploitation

	Production végétale	Production animale	Total
PB (en $)	377,8	120,0	497,8
CI (en $)	24,0	0,0	24,0
VA (en $)	354,0	120,0	474,0
PVA (en $)	228,0	60,0	288,0
Revenu (en $)	228,0	60,0	288,0
Nombre jours de travail	344	45	389
Productivité du travail	1,02	2,66	1,34
Rémunération/jour de travail familial (en $/jour)	0,66	1,32	0,74

UN EXPLOITANT DE CANNE À SUCRE

Soit une exploitation constituée d'un carreau en propriété cultivé en canne. L'exploitant ne travaille pas directement sur les terres. La force de travail est fournie par des journaliers et autres travailleurs "extérieurs" à l'exploitation. Un carreau de "terre à canne" s'achète 3500 $.

• **Année 1**

• La préparation du sol est faite à la charrue (tracteur) dans le cadre d'un contrat à la tâche avec un propriétaire de tracteur.Coût : labour 140 $ et sillonage 20 $

• 60 charges de plants sont achetées à 0,1 $ par charge,

• La plantation est faite par 10 journaliers qui travaillent pendant 2 jours et gagnent 2 $ par jour,

- 1er sarclage: réalisé par des salariés " à la tâche" pour 80 $,
- 2ème sarclage: même coût,
- coupe: par des journaliers payés au rendement 2 $ par tonne coupée,
- transport: par des transporteurs (petits entrepreneurs) qui prennent 2,6 $ par tonne de canne transportée.

• **Année 2, 3 et 4**

- 1 sarclage par an: voir sarclage de l'année 1
- coupe et transport: voir année 1

• **Récolte:** la canne est vendue à l'USN qui l'achète 13 $ la tonne rendue usine.

récolte année 1: 10 camions de 10 tonnes
récolte année 2: 8 "
récolte année 3: 7 "
récolte année 4: 6 "

La durée de la plantation est de 4 ans. Chaque année, les résultats économiques sont différents. Si l'on veut connaître le produit brut d'une année précise, il est nécessaire de faire un calcul économique en faisant intervenir un calcul d'amortissement de la plantation. Mais il est bien rare que l'on ait ce type d'objectif; on cherche en général à connaître les résultats sur une année "moyenne". C'est ce dernier calcul que nous allons mener

La méthode la plus simple consiste à calculer les résultats pour toute la durée de la plantation et à les diviser par la durée de plantation pour obtenir les résultats annuels de l'exploitation.

• *Le produit brut*

PB total = (10+8+7+6 camions) x 10 t/camions x 13 $/t
= 310 t x 13 $/t = 4030 $

Soit un produit brut annuel de :

PB annuel = 4030 $/4 = 1007,5 $

• *Les consommations intermédiaires* sont constituées par:

. l'achat des plants soit 60 charges x 0,1 $/charge = 6 $

. le travail réalisé par une "entreprise" pour la préparation du sol,

soit 140 + 20 = 160 $
. le transport de la canne, également réalisé par des "entrepreneurs",
soit 310 tonnes x 2,6 $/t = 806 $

Soit un total de 966 $ pour les 4 années de culture, et 241,5 $ par an.

. *La valeur ajoutée* annuelle est égale à:
VA = PB - CI = 1007,5 - 241,5 = 766 $

• *Le temps de travail* consacré à la culture pour les 4 années se répartit en:
- travail de plantation, soit 20 jours
- travail de sarclage (5 sarclages).

On ne connaît pas ici le nombre de jours de travail effectif. L'exploitant lui-même n'a pas contrôlé le déroulement des opérations. Il faut donc nécessairement faire une *hypothèse de calcul* pour poursuivre. Lorsqu'on n'a pas de renseignements précis sur le fonctionnement des groupes de travail qui fournissent les contrats à la tâche, le plus simple est de supposer que la rémunération des personnes qui travaillent dans ces groupes est du même ordre de grandeur que celles des journaliers (cette hypothèse s'appuie sur le fait constaté que les journaliers et les travailleurs à la tâche sont souvent les mêmes personnes qui travaillent avec des "contrats" différents suivant les opportunités).
On supposera donc que les contrats à la tâche équivalent à du travail réalisé par des journaliers payés 2 $/jour.

Chaque sarclage payé 80 $. représente donc 40 journées de travail :
- soit 5 x 40 j = 200 jours de travail de sarclage pour les quatre années.

- travail de récolte
Le travail de récolte, avec la même hypothèse que précédemment, est de :
(310 t x 2 $/t) / 2 $/jour = 310 j.

Le temps de travail investi pour les 4 années est de :
20 + 200 + 310 = 530j. soit 132 j par an.

• *La productivité du travail* est égale à:
766 $ / 132 j = 5,8 $/j.

• La *part de valeur ajoutée* conservée sur l'exploitation équivaut à la valeur ajoutée, puisqu'il n'y a ni rente foncière, ni taxes, ni intérêt d'emprunt à payer.
PVA = VA

• La main-d'oeuvre extérieure reçoit, sur les 4 années de culture:
- pour le travail de plantation:
10 journaliers x 2 j x 2 $/j = 40 $
- pour les 5 sarclages:
5 sarclages x 80 $/sarclage = 400 $
- pour le travail de coupe:
310 tonnes x 2 $/t = 620 $

soit au total 1060 $ pour les quatre années
soit 1060 $/4 = 265 $ par an.

• *Revenu agricole pour une année moyenne :*
RA = PVA - paiement de la main d'oeuvre extérieure = 766 $ - 265 $ = 501 $
Le revenu agricole ne peut, dans le cas de cette exploitation, être appelé rémunération du travail familial puisque l'exploitant ne travaille pas du tout sur son exploitation. Calculer le revenu par jour de travail n'aurait aucun sens. Le résultat économique le plus intéressant à calculer est *le taux de profit du capital.*

Taux de profit = revenu /
(prix de la terre + CI+ paiement de la main d'oeuvre extérieure)

Taux de profit (année moyenne) = 501 $ / (3500+241,5+265) = 12,5 %

Cela signifie que, pour cet exploitant, le capital qu'il investit dans la production agricole équivaut à un capital qui lui rapporterait 12,5 % d'intérêt par an.

UN EXPLOITANT DE BANANE

Soit une exploitation de 1 carreau de terre en propriété planté en banane. L'exploitant ne travaille sur sa parcelle que pour la récolte. La plantation dure 3 ans. Les travaux culturaux sont les suivants:

• **Année 1**
• nettoyage de la parcelle: avec un contrat " à la tâche" pour 60 $;
• achat et transport des plants: les plants sont achetés 0,056 $ par plant et sont transportés pour 24 $ par des travailleurs sous contrat "à la tâche";
• plantation: densité de 2000 pieds par carreau réalisée par 25 journaliers travaillant pendant 2 jours et payés 2 $ par jour ;
• 3 sarclages faits par des travailleurs sous contrat pour 60 $, 60 $ et 40 $,
• récolte réalisée par l'exploitant. Un homme récolte environ 9 douzaines de régimes par jour.,
• éclaircissage: contrat "à la tâche" de 30 $.

• **Année 2 et 3**
• 3 sarclages par an: voir année 1
• éclaircissage de année 2: voir année 1

• **Récolte**
année 1 : 1600 régimes
année 2 : 2200 régimes
année 3 : 2500 régimes
1 régime est vendu en moyenne 2,6 $ par le producteur.
Une partie de la production est consommée par la famille, l'autre est vendue.

Il s'agit ici, comme dans l'exemple précédent, d'une plantation pluriannuelle. On raisonnera encore sur une année "moyenne".

• Pour *le calcul du produit brut* se pose la question de l'estimation de la valeur de la part de récolte consommée par la famille. De plus, l'exploitant n'a pas su indiquer quelles étaient les quantités autoconsommées et vendues.
Lorsqu'on ne peut pas mener une enquête plus approfondie sur l'exploitation, le plus simple est d'estimer toute la production au prix auquel l'exploitant vend la fraction commercialisée de la récolte.
Cela revient à considérer l'autoconsommation comme autant de moins à vendre pour l'exploitant, ce qui, dans le cas présent, correspond assez bien au raisonnement mené par l'exploitant. En effet, l'exploitant travaille sur ses parcelles uniquement pour la récolte, la surveillance contre les vols étant indispensable à ce moment et ce travail ne pouvant être effectué que par l'exploitant lui-même. On peut donc supposer que l'objectif de l'exploitant est la recherche d'une rémunération maximale par jour de travail à travers la vente de ses productions.
On a donc:
PB total = (1600 + 2200 + 2500) régimes x 2,6 $/régime
= 16380 $ pour 3 ans
soit PB annuel = 5460 $

• *Les consommations intermédiaires* sont constituées par:
. l'achat des plants: 2000 plants x 0,056 $/plant = 100 $
. le transport des plants soit 24 $
Total des consommations intermédiaires : 100 $ + 24 $ = 124 $.
Le transport des plants est effectivement à considérer comme une consommation intermédiaire car le travail ne se passe pas sur l'exploitation. Il ne va pas *ajouter* de valeur aux moyens de production utilisés sur l'exploitation. Au contraire, il *fait partie* de la valeur de la consommation intermédiaire "plant".

VA = 16380 - 124 = 16256 $ pour 3 ans
soit
VA annuelle = 5419 $.

• Pour calculer *le nombre de jours de travail* des travailleurs employés à la tâche, on fait la même hypothèse que dans l'exemple précédent : un travailleur gagne 2 $/jour.

	temps de travail familial en jours	"salaires" payés en $	temps de travail "salariés" en jours
nettoyage année 1		60	30
plantation		100	50
sarclages année 1		160	80
éclaircissage année 1		30	15
sarclages année 2		160	80
éclaircissage année 2		30	15
sarclage année 3		160	80
récolte année 1	15*		
récolte année 2	20		
récolte année 3	23		
TOTAL	**58**	**700**	**350**

* Calcul du temps de travail pour la récolte (exemple de l'année 1) :
T = 1600 régimes / (9 x 12) = 15 j.

Le temps de travail total est de 408 jours, soit 199 jours par an. La productivité du travail est égale à:
5414 $/ 199 j = 27,2 $/j

• La *part de valeur ajoutée* restant sur l'exploitation est de 100 %
PVA = VA

• *Revenu agricole* (pour 3 ans) = 16 256 $ - 700 $ = 15 556 $
soit un revenu annuel de 5185 $
soit une rémunération par jour de travail familial de:
15 556 $ /58 jours = 268 $/jour

ANALYSE DES RESULTATS ECONOMIQUES

Connaissant les définitions des principaux critères économiques utiles à l'analyse du fonctionnement des exploitations, il convient de s'interroger sur ce qui détermine les résultats économiques.

LE NIVEAU DE PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL

Les caractéristiques structurelles de l'exploitation affectent directement le niveau de productivité.

• Plus **le foncier** disponible par travailleur familial présent sur l'exploitation est important, plus la productivité du travail est grande. Pour deux exploitations, *ayant la même disponibilité en main-d'oeuvre familiale* et *pratiquant les mêmes productions*, celle qui dispose du foncier le plus important dégagera davantage de valeur ajoutée par travailleur qu'une exploitation plus petite.

• Le foncier intervient au niveau de la productivité du travail, non seulement par son importance quantitative, mais aussi par sa "qualité": niveau de fertilité organique, épaisseur du sol, importance de l'érosion,... Plus la qualité des terres est bonne, plus les rendements sont élevés et plus la production de valeur ajoutée par travailleur est importante.

• La productivité du travail dépend aussi, en grande partie, du **niveau d'équipement** (outillage, matériel,...) de l'exploitation. Elle est d'autant plus importante que le niveau d'équipement est élevé.
Quelle que soit l'intelligence et l'ardeur au travail d'un exploitant, il lui faudra toujours plus de temps pour retourner une parcelle avec une houe qu'avec une charrue, et donc plus de temps pour obtenir une production équivalente.
Les exploitants, qui ne disposent pas de moyens financiers suffisants pour améliorer leur matériel, seront contraints de travailler davantage pour dégager la même valeur ajoutée que des exploitations pratiquant les mêmes productions mais mieux équipées.

• Avec un appareil de production donné, les agriculteurs ont intérêt à valoriser au mieux les ressources dont ils disposent en relativement moins grande quantité. Ces ressources peuvent être selon les cas: le terre, la force de travail, le capital-argent,.... Les processus de production mis en oeuvre sont choisis par l'exploitant pour essayer d'obtenir une **maximisation des productions (ou des revenus) rapportées à l'unité de la ressource la plus rare**: par carreau si le foncier est limité, par heure de travail si la main-d'oeuvre familiale est peu abondante par rapport au foncier et/ou au capital disponibles, par dollar investi si le capital est limitant.
On peut de cette manière analyser **les objectifs (d'ordre économique) qui guident les choix des exploitants en matière de production.**

Ce raisonnement sur les objectifs des exploitants peut être fait de manière analogue **à l'échelle nationale.** L'agriculture qui satisfait le mieux l'intérêt national (c'est-à-dire l'intérêt de l'ensemble de la population) est celle qui permet de maximiser la productivité de la ressource la plus rare au niveau national. En Haïti, il est clair que la ressource la plus rare est la terre (comme le prouve les très fortes pressions démographique et foncière).
Le moyen le plus sûr de satisfaire au mieux les besoins de la population est donc l'établissement des conditions économiques et sociales qui permettent de maximiser la valeur ajoutée par carreau sur l'ensemble du territoire national.

• Les objectifs de l'exploitant, fixés pour tenir compte des caractéristiques structurelles de l'exploitation (à savoir les disponibilités en terre, force de travail familiale, capital), influencent donc la nature et **l'intensité des productions pratiquées.**
On dit qu'un procès de production est intensif lorsqu'il met en oeuvre une quantité de travail ou de capital importante par unité de surface. L'accroissement de la quantité de travail ou de capital à l'unité de surface s'accompagne généralement (*) d'une augmentation de valeur ajoutée.
Le critère **VA/carreau** peut être un indicateur intéressant pour traduire le niveau d'intensification d'une exploitation. Mais ce critère intègre à la fois les effets des potentialités du milieu naturel et ceux du niveau d'intensification. Pour des exploitations placées dans des conditions de milieu identiques, comparer les VA/c permet de comparer les niveaux d'intensification.

(*) sauf accident climatique ou mauvaise efficacité technique qui ne permettraient pas de "valoriser", sous forme d'une valeur ajoutée accrue, le travail ou le capital (engrais, produits de traitement,...) utilisés.

• De mauvais résultats provenant d'une mauvaise **efficacité technique** (mauvaise mise en oeuvre technique de l'appareil de production) sont susceptibles d'être corrigés. De mauvais résultats, liés aux caractéristiques structurelles de l'exploitation, indiquent que l'exploitation a peu de chance d'améliorer ses capacités de production si les conditions économiques et sociales ne sont pas radicalement modifiées.

LE NIVEAU DE REPRODUCTION DES EXPLOITATIONS

L'importance des dépenses à effectuer pour disposer des terres et des capitaux dont l'exploitant n'est pas propriétaire n'intervient pas sur le niveau de productivité mais influe directement sur le revenu de l'exploitation.

Le coût très élevé que doivent payer les exploitants haïtiens pour avoir accès au foncier (par achat, par le paiement d'une rente foncière) limite considérablement le revenu des exploitations.
De plus, soumise depuis longtemps (*) à de multiples prélèvements financiers (rente foncière, intérêt des emprunts, taxes, amendes...), la paysannerie haïtienne, dans sa grande majorité, ne dispose pas aujourd'hui des fonds nécessaires pour acheter au comptant les moyens de production dont elle aurait besoin. Aussi est-elle souvent contrainte d'avoir recours à des achats à crédit, à des emprunts, à des locations et prises en métayage... Mais ces modes d'accès aux moyens de production ne sont jamais véritablement gratuits et grèvent lourdement le budget des exploitations.
Les sommes versées aux propriétaires fonciers, aux co-héritiers ou aux prêteurs quittent, en général, la sphère agricole: elles ne sont pas investies pour mettre en place ou développer l'activité agricole. En effet, ces derniers ont accès à des inves-

(*) En fait depuis l'indépendance et la fuite des esclaves marrons vers les mornes.

tissements dans des secteurs qui dégagent des taux de profit du capital plus élevés que dans l'agriculture (par exemple dans le commerce, dans la spéculation foncière en milieu urbain,...). Ils utilisent aussi leurs revenus pour permettre l'émigration de leur famille. La rentabilité de cet "investissement" n'est pas forcément immédiate mais elle peut être, à terme, très importante.

L'analyse du revenu agricole permet de déterminer si le produit de l'année, une fois payées les charges annuelles de production et assuré le maintien des installations existantes, permet à ceux qui travaillent sur l'exploitation d'en vivre, c'est-à-dire de rémunérer suffisamment leur travail.
Toutes les exploitations qui n'atteignent pas au moins ce résultat sont vouées, à plus ou moins long terme, à la disparition.
L'exploitation, considérée comme une unité de production agricole mettant en jeu du travail et des moyens de production, doit, pour *exister durablement*, assurer la subsistance de ses travailleurs et le renouvellement de ses installations.

Remarque: le renouvellement à l'identique des installations et équipements intervient dans le calcul économique au niveau des amortissements. Nous avons considéré les amortissements comme la part de capital fixe consommée annuellement. On peut aussi comprendre la notion d'amortissement comme la somme d'argent que l'exploitant doit dégager ou épargner annuellement pour être en mesure, au moment du renouvellement du matériel, de disposer du capital nécessaire à l'achat d'un matériel neuf identique à celui qui est totalement usé.

Les exploitations vouées à disparaitre

Les exploitations ne disposant que d'un appareil de production très réduit n'obtiennent pas toujours un revenu agricole assez élevé pour permettre à la famille de satisfaire ses besoins minimaux. On dit alors que la reproduction de ces exploitations n'est pas assurée.

De telles exploitations sont marquées par :
• une sous-alimentation de la famille,
• un endettement profond qui nécessite pour les remboursements, la vente sur pied des récoltes,
• l'absence d'épargne pour le renouvellement du matériel. Souvent lorsque la houe est usée, l'exploitant n'a pas de quoi en racheter une nouvelle. La dégradation des moyens de production va même jusqu'à la vente progressive du foncier et du cheptel en propriété, des équipements (s'ils existent!). Les "recettes" ainsi dégagées permettent *momentanément* de compenser la faiblesse du revenu.

A terme, ces exploitations vont vers une baisse de la productivité du travail (déjà faible) et une baisse du revenu. Elles rencontreront des difficultés de plus en plus grandes pour rembourser les emprunts. Enfin, elles disparaîtront avec l'exode rural d'une partie ou de la totalité de la famille.

La reproduction simple et élargie

Lorsque le revenu agricole est suffisant pour exister durablement, certaines exploitations peuvent tout juste vivre, d'autres s'agrandissent et améliorent sans cesse leurs moyens de production. On parle alors respectivement d'exploitations en *reproduction simple* et en *reproduction élargie.*

Remarque : la reproduction d'une exploitation peut être assurée sur le long terme mais certaines années, un accident climatique, une chute des prix des produits, une dépense exceptionnelle de la famille (décès,...) peut empêcher un revenu suffisant pour vivre. Pendant ces années "difficiles", le revenu agricole peut être complété par la vente de moyens de production; on parle alors de *décapitalisation* (vente de cheptel reproducteur, vente de matériel, hypothèque sur un jardin,...).

Lorsque le revenu agricole d'une exploitation est suffisant pour permettre sa reproduction élargie, cela signifie que la rémunération du travail familial obtenue permet:
• de satisfaire les besoins de la famille,
• de disposer d'un *surplus* qui pourra constituer la base d'une *épargne,* d'une *accumulation de capital.* On dit de telles exploitations qu'elles accumulent.

L'accumulation peut servir à augmenter la productivité du travail et à développer les capacités de production. L'exploitant est en mesure de choisir :
• acheter du foncier,
• améliorer et élargir la main-d'oeuvre familiale disponible sur l'exploitation: manger mieux, être en bonne santé, prendre des *"restavecs"*,...
• agrandir le capital fixe d'exploitation: agrandissement du troupeau de reproducteurs, amélioration de l'outillage (nouveaux outils manuels, culture attelée,...), développement de l'équipement (glacis de séchage, moyens de stockage,...),
• utiliser davantage de capital circulant: achat d'engrais,... sans avoir recours au crédit.

Cependant certains exploitants préférent parfois ne pas investir directement dans leur exploitation l'épargne ainsi dégagée. Ces exploitants ne modifient pas leur appareil de production et utilisent l'épargne pour investir dans le commerce ou pour faire émigrer un membre de la famille.
Parmi ceux qui investissent dans leur exploitation pour développer leur appareil de production et accroître leur revenu, tous n'ont pas obtenu ce capital de leur seule activité agricole. Les investissements sont faits parfois à partir des revenus tirés d'autres activités. C'est le cas lorsque l'exploitant a une autre profession assez rémunératrice (artisan, "boss" maçon, charpentier, houngan, instituteur,...) ou lorsque la femme a un commerce important.

Meilleures seront les conditions du milieu naturel de l'exploitation, plus important sera leur appareil de production, moins lourd seront le fermage et les intérêts d'emprunts à payer, plus les eploitations seront productives et obtiendront un revenu agricole important.
Plus leur revenu sera important, plus elles pourront élargir et améliorer encore leur foncier et leurs moyens de production, plus leur productivité du travail sera augmentée ainsi que leur revenu.
Le creusement des inégalités de productivité entre exploitations peut être, par ce mécanisme cumulatif, assez rapide et conduire à une différenciation accrue dans le niveau de vie des familles paysannes.

Les exploitants qui ne disposent pas de moyens financiers suffisants pour autofinancer des investissements, ou pour avoir accès à emprunt, seront contraints de travailler plus, de limiter la dimension de leur exploitation, ou de choisir des productions (choix des espèces, des itinéraires techniques,...), moins coûteuses en équipement et qui leur assurent un revenu suffisant pour vivre.
Dans certaines régions, ce mouvement peut induire une *spécialisation* des exploitations qui cherchent ainsi à tirer profit d'avantages naturels (écosystèmes particuliers) ou d'avantages économiques (proximité du marché de consommation,...) leur permettant d'avoir une meilleure productivité du travail. C'est le cas dans les plaines rizicoles (Artibonite,...) et dans les régions maraîchères (Kenskoff,...).

Dans son ensemble, la paysannerie haïtienne a dû très tôt supporter des prélèvements importants. Elle se retrouve limitée dans ses capacités à dégager des surplus et donc à améliorer sa productivité. La grande faiblesse des moyens de production et des revenus de la majorité des exploitations que l'on peut constater aujourd'hui trouve là son origine.

Caractériser une exploitation agricole, comprendre et analyser son fonctionnement économique signifie:

1. décrire la structure de l'exploitation (appareil de production),

2. décrire comment les éléments constitutifs de l'appareil de production sont organisés, combinés dans l'espace et dans le temps, pour permettre d'aboutir à des productions végétales ou animales (fonctionnement),

3. retracer l'histoire de la constitution de l'appareil de production et des transformations dans les pratiques agricoles et d'élevage,

4. décrire les relations qu'entretient l'exploitation avec son environnement économique et social pour accéder à la terre, au capital et au marché (des produits et de la force de travail).

5. calculer et analyser les résultats économiques obtenus. Les comparer aux objectifs de l'exploitant et voir dans quelle mesure ils permettent la reproduction simple ou élargie de l'exploitation.

La démarche que nous avons suivie peut être menée au niveau d'une région. Elle permet alors de caractériser les exploitations, d'identifier les objectifs des exploitants, de comprendre leurs choix en matière de production, de hiérarchiser les éléments conditionnant leur situation et leur avenir.

Étude régionale: la canne à sucre dans la Plaine du Nord

La Plaine du Nord a été marquée, au cours de son histoire par une succession de tentatives de développement de productions agricoles dans le cadre d'une agriculture capitaliste. Elles se sont toutes soldées, à plus ou moins long terme, par des échecs alors que les exploitations paysannes ne cessaient de s'accroître en nombre. La première tentative fut la mise en place des habitations sucrières dans la Plaine du Nord au 18ème siècle. Mais la période qui s'étend du début de l'occupation américaine (1915) aux années 50 est également riche d'expériences d'implantation de cultures d'agro-exportation produites dans de larges exploitations utilisant de la main-d'oeuvre salariée: ananas, canne à sucre, figue-banane, sisal...
On constate aujourd'hui que seule la canne à sucre s'est maintenue, mais elle est menacée par le déficit chronique de l'Usine Sucrière. Imaginer un avenir pour cette région et les mesures de politique qui en découlent, tel est l'objet de l'étude régionale.

On constate aujourd'hui que le seul secteur de production, hormis les productions vivrières, qui se soit maintenu plus ou moins bien dans la plaine du Nord est celui de la canne à sucre, avec notamment l'implantation de l'Usine Sucrière du Nord (USN), l'existence de nombreuses unités de transformation artisanales ou industrielles (moulins à canne, siroteries, guildives,*.....) et 8 500 ha de canne dans la plaine. Cependant, ce secteur apparaît maintenant touché par une crise qui risque d'atteindre tous les agents économiques: unités de transformation, "salariés" de la canne, exploitations paysannes et aussi grandes exploitations capitalistes où la canne à sucre reste la culture présentant le plus d'avantages économiques. L'USN, confrontée à de graves difficultés d'approvisionnement présente un déficit régulier qui grève lourdement le budget national depuis son rachat par l'Etat en 1982. De plus, ces difficultés s'inscrivent dans un environnement international défavorable au développement de l'industrie sucrière: saturation du marché mondial du sucre (surproduction mondiale) et changements structurels visant le remplacement du sucre par des produits de substitution (isoglucose à partir du maïs).

* Guildives : petites unités artisanales de fermentation et distillation du jus de canne pour en faire le clairin ou rhum blanc.

OBJECTIFS ET DÉMARCHES DE L'ÉTUDE

Nos objectifs dans cette étude sont:
• d'illustrer comment s'établit un diagnostic agro-socio-économique régional, à partir du calcul économique, en montrant quels sont les choix et les objectifs, des différents types d'agents économiques de la filière et quels sont les éléments qui conditionnent ces choix;
• de montrer, au vu du diagnostic précédent, comment peuvent être élaborées et formulées les orientations de politique agricole et industrielle pour mettre en place une dynamique de développement des exploitations agricoles dans la région.

La compréhension de l'origine et du fonctionnement d'une réalité agraire donnée est rarement complète quand l'analyse est menée dans un cadre trop étroit, trop local. Une réalité agraire résulte de l'interaction de mécanismes économiques relevant de différents niveaux d'analyse (régional, national, international....). Cette étude sera l'occasion de prendre en compte ces différents niveaux dans une même démarche pour éclairer une même réalité.

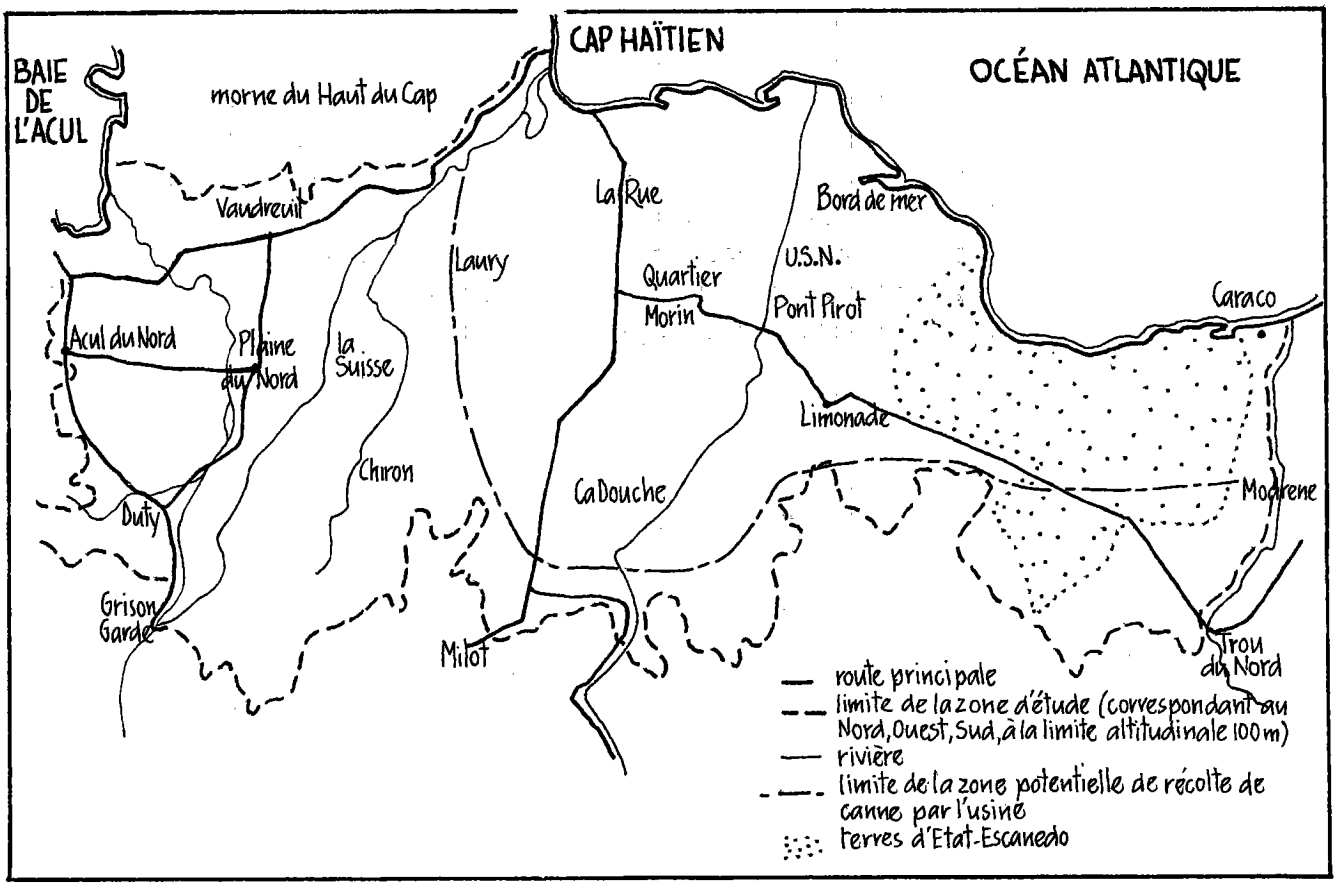


Figure 67 : la culture de la canne à sucre dans la Plaine du Nord.

L'histoire agraire de la Plaine du Nord

Au 18ème siècle, les habitations sucrières de la Plaine du Nord sont parmi les plus importantes de la colonie. En 1789, les quartiers de Limonade, du Cap et du Limbé comptent, à eux seuls, 139 sucreries "en blanc". L'économie de l'île, et celle de la Plaine du Nord particulièrement, reposent sur la production et la transformation de la canne produite par les grands domaines capitalistes. Elle dépend entièrement de la métropole pour l'exportation du sucre et pour l'importation de main-d'œuvre et de vivres.

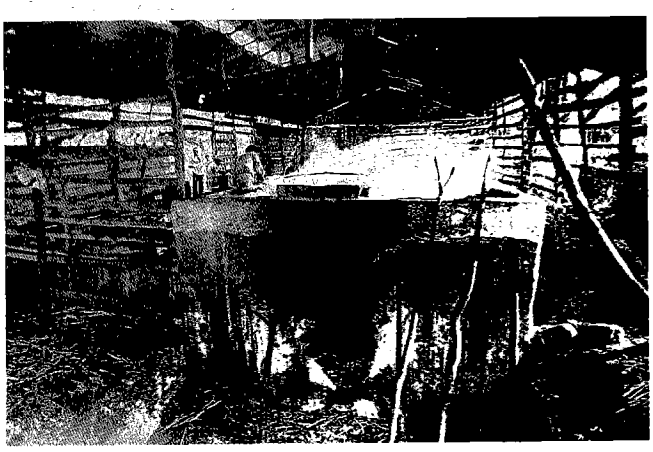
UNE SUCCESSION DE PRODUCTIONS

APRÈS L'INDÉPENDANCE

Après 1804, les grandes habitations, laissées vacantes par les colons, vont être l'enjeu de multiples tentatives de reconstruction d'une prospère industrie sucrière. Elles échouent et ne se traduisent que par des reliquats de manufacture maintenus par une aristocratie de grands planteurs sur un mode paternaliste, des distilleries rustiques, une culture disséminée et fortement intégrée à l'exploitation familiale, productrice de sirop et de rapadou. La plupart des grandes plantations sont morcellées et occupées par une paysannerie qui accède ainsi, tout au long du 19ème siècle, à la "propriété" foncière. Elle pratique des cultures vivrières qui lui assure une meilleure valorisation de la main-d'oeuvre familiale. La production de sucre s'effondre, les exportations ne dépassent pas 43000 livres en 1871 (contre plus de 162 millions de livres en 1788). Vers 1910, on ne compte plus qu'une seule usine active dans la Plaine du Nord.
Ce n'est qu'avec l'investissement de capital étranger dans le secteur agro-industriel que parviendront à se reconstituer de vastes latifundia agro-exportateurs.

L'installation de l'usine sucrière n'a pas empêché le maintien de petites guildives traditionnelles disséminées dans la plaine.

Les techniques de transport sont restées les mêmes depuis l'époque coloniale (photos G. de Laubier).





DE L'OCCUPATION AMÉRICAINE A NOS JOURS

La période qui va de 1915 à 1934 marque le début de ce nouveau développement d'une agriculture capitaliste dans la Plaine du Nord. La concession par l'Etat de vastes superficies à des compagnies étrangères ou à de riches particuliers, accompagnées d'expulsions paysannes, permet la reconstitution de quelques grandes exploitations capitalistes à salariés. Les productions qui sont pratiquées sur ces domaines sont diverses.

• En 1923, la "Haitian Pineapple Co." produit de l'ananas en conserve sur 800 à 1000 c. L'activité de cette compagnie se terminera avec la crise de 1929.

• En 1935, la " Standart Fruit and Steamship Co." produit des figues-bananes d'exportation grâce à un monopole d'achat sur tout le territoire national. Après être passé de 2 000 régimes exportés en 1930 à 3 millions de régimes en 1940 et à 7,4 millions en 1947, cette florissante économie bananière va s'effondrer rapidement en raison de désaccords entre l'Etat haïtien et la compagnie américaine dûs notamment à un frénétique trafic de concessions privées.

• Dans les années 20, la culture de sisal domine, sur 8000 ha avec deux usines dans la région de Fort Liberté. En 1942, la " Société Haitiano-Américaine de Développement Agricole" afferme 2000 c aux propriétaires locaux pour créer une nouvelle usine de transformation. Cette " monstrueuse réussite" de l'économie du sisal ne durera qu'un temps et ce secteur s'effondrera en même temps que les cours mondiaux et la demande du marché américain.

• En 1928, des entrepreneurs d'origine corse et italienne créent une sucrerie industrielle à La Rue, profitant de la politique de taxation de la production d'alcool de canne mise en oeuvre pour favoriser l'implantation de la HASCO (Haitian American Sugar Company) dans la région de Port-au-Prince. Cette usine fonctionnera jusqu'en 1952 mais ne produira jamais plus de 1500 t de sucre par jour.

• Plus récemment, plusieurs grands planteurs de la Plaine du Nord ont tenté la culture intensive de tabac dans le cadre de contrats avec la compagnie de fabrication de cigarettes "Comme il faut" . Cette expérience s'est soldée par un échec et certains planteurs ont dû, pour rembourser leurs dettes, céder gratuitement une partie de leurs terres à la compagnie pendant plusieurs années.

LES LEÇONS DE L'HISTOIRE

• Les capitalistes ont toujours cherché à profiter des conditions agro-écologiques " tropicales" de la Plaine du Nord en y produisant ananas, banane, sisal, canne... Parmi ces productions, celle qui se maintient le mieux jusqu'à aujourd'hui est la canne. Comme le prouve l'implantation d'une usine en 1970 dotée d'une capacité de broyage de 2000 t de canne par jour, et l'extension des superficies en canne qui l'accompagna. Or, paradoxalement, la Plaine du Nord ne présente pas des conditions agro-écologiques particulièrement favorables à la culture de la canne à sucre. Les pluies interviennent en pleine période de récolte ce qui donne un très faible taux de sucre (4 à 5%) aux cannes livrées aux unités de transformation. Le choix des exploitants n'est donc pas exclusivement régi par des avantages comparatifs dûs à des conditions agro-écologiques particulières. Ce choix dépend surtout des conditions socio-économiques: disponibilité foncière, disponibilité ou accès au capital, rapports d'échange, prix de marché,....

• La concentration foncière actuelle dans la Plaine du Nord est le fruit d'une histoire agraire particulière. Elle est relativement importante pour un pays largement dominé par la petite et micro-propriété paysanne et pour une région aussi densément peuplée que la Plaine du Nord (480 habitants/km^2 en milieu rural)(*).

(*) D'après les chiffres de l'IHSI qui sont peut-être surestimés.

Avantages comparatifs et rentes différentielles

Lorsque les conditions de climat et de sol d'une région sont favorables à une production, ou au moins plus favorables que dans la moyenne des situations d'un pays, on dit que cette région bénéficie d'un **avantage comparatif**.
On veut dire par là que les producteurs de cette région, **à niveau d'intensification équivalent**, retireront une plus grande rémunération de leur travail.
Ainsi, les zones de plaine bien arrosées et bien drainées, aux sols profonds bénéficient pour la plupart des cultures d'un avantage comparatif par rapport aux mornes érodées.
On parle aussi d'avantages comparatifs sur le marché mondial lorsque les produits d'origine différente se retrouvent à ce niveau face à une même demande.
Ainsi, si les zones bien irriguées de l'Artibonite bénéficient d'avantages comparatifs vis-à-vis des lagons pour le riz, il n'en est pas de même sur le marché mondial par rapport à la Thaïlande où la productivité est supérieure.
Prenons maintenant le cas du producteur le plus mal placé, celui vis-à-vis duquel tous les autres bénéficient d'avantages comparatifs.
Soit P la valeur de sa production. Un autre producteur produit P' avec la même quantité de travail et on a P'>P.
P'-P est le surplus de production dont bénéficie le second paysan grâce à son avantage comparatif.
On l'appelle **rente différentielle**.
Il existe deux grands types de rentes différentielles :
• les rentes différentielles de situation, liées à des conditions de milieu plus favorables,
• les rentes différentielles de capitalisation, dont bénéficient les producteurs qui ont amélioré leur productivité par le capital (en s'équipant d'outils plus performants ou en installant l'irrigation...).

Figure 68 : la distribution foncière actuelle.

Type d'exploitation	I	II	III	IV	Total
Superficie par exploitation (carreaux)	0 à 1	1 à 2,5	2,5 à 10	>10	
Nombre d'exploitants Nb %	8.222 62,3	4.118 31,2	726 5,5	138 1,0	13.204 100
Superficie totale ha	3.550	8.925	3.550	6.750*	22.775
%	15,6	39,2	15,6	29,6	100
Superficie moyenne ha	0,43	2,16	4,89	48,91	58

* y compris les 3.000 ha de terres d'Etat à Escagedo.

Cette répartition foncière résulte des tentatives répétées de spéculations agro-industrielles de la part de capitalistes (locaux ou étrangers) pour tirer profit des conditions offertes par la Plaine du Nord, privilégiées par rapport à la majeure partie du reste du pays: zone de plaine, mécanisable selon le modèle euro-américain, sols profonds assez riches en matière organique et en éléments minéraux.

Les échecs successifs des tentatives de développement d'une agriculture capitaliste depuis la période coloniale ont permis à la paysannerie de regagner à chaque fois le terrain perdu par les exploitations capitalistes: les exploitations de moins de un carreau et demi (soit 83 % du total des exploitations) occupent actuellement 42 % de la surface agricole. La dernière illustration de ce dynamisme paysan a eu lieu en 1986 avec les occupations paysannes des terres de grands propriétaires absentéistes. La forte concentration foncière ajoutée à la croissance démographique importante induit aujourd'hui une forte pression foncière.

Des systèmes de culture et d'élevage variés

Les principaux systèmes de culture présents dans la zone sont les suivants: canne, banane , vivrier type manioc ou patate douce-associée, riz de lagon, tomate, tabac café-cacao ou fruitiers (oranges, chadèques).

Figure 69 : occupation des sols dans la plaine du Nord.

canne sucre destinée à l'usine	5 000 ha
canne sucre pour siroteries et guildives	3 500 ha
total canne sucre	**8 500 ha**
café, cacao, agrumes	2 000 ha
bananiers	2 800 ha
associations cultures vivrières	6 250 ha
maïs-haricot,purs, en rotation	100 ha
riz pluvial	550 ha
riz de lagon	450 ha
maraîchage	100 ha
total cultures vivrières	**12 250 ha**
pâtures, prairies naturelles et friches	*2 000 ha*
TOTAL	**22 775 ha**

LA CULTURE DE LA CANNE

Elle est très présente au coeur de la plaine (Plaine du Nord, Quartier Morin, La Rue, Laury, Chiron, Limonade, Ca Douche). Elle est beaucoup moins importante dans les zones bordant les mornes. L'éloignement des structures de transformation impliquerait un surcoût de transport important pour un produit aussi pondéreux que la canne.
La zone de culture influe sur le type de transformation de la canne. A proximité de l'USN, on vend à l'USN mais aussi aux guildives qui ne sont jamais très loin (cas de La Rue, Quartier Morin). Dans les zones plus éloignées de l'USN, on vend préférentiellement aux guildives (cas de Laury, Chiron).

LA CONDUITE DES PLANTATIONS

La mise en place de la plantation se fait le plus souvent avec du vivrier associé à la canne pendant la première année (maïs et vigna, avec manioc quelquefois). La préparation du sol est unique pour la plantation de la canne et pour les semis de vivrier, même si les mises en terre des différentes espèces ne sont pas toujours simultanées. Elle est réalisée à la houe ou à la charrue (louée ou en propriété).
Les planteurs confient souvent la première année de culture à des "métayers" qui

(*) 1er sarclage : 1 à 2 mois après la plantation
2ème sarclage : 4 à 6 mois après la plantation
La canne et le vivrier profitent du 1er sarclage. Le 2ème sarclage a lieu après la récolte de maïs et de vigna.

sont des paysans disposant de très peu de foncier. Le propriétaire fournit les plants de canne, assure la coupe de la canne et garde la totalité de la récolte de canne. Le métayer réalise l'implantation et le sarclage des cultures (*), fournit les semences de vivrier, le récolte et le conserve en totalité. Dans ce cas, le travail d'implantation et d'entretien de la canne constitue la rente foncière que paye le métayer pour sa culture de vivrier. A l'inverse, on peut considérer que la récolte de vivrier représente, pour le propriétaire, le salaire qu'il abandonne à son métayer pour le travail de sa parcelle de canne.
La durée d'une plantation est en général de sept à huit ans. La récolte a lieu de treize à vingt mois (le plus souvent de quinze à dix-huit mois) après la plantation et, les années suivantes, de douze à quatorze mois après la précédente récolte.

Les calendriers de culture et le choix de la date de plantation (de septembre à janvier) permettent toujours une récolte pendant la période de fonctionnement de l'usine (de janvier à avril en 1987). Même les planteurs qui livrent aux guildives coupent en général pendant cette période. C'est la période où le taux de sucre, bien que relativement bas, est optimal. Cependant, quelques planteurs livrant aux guildives profitent de leur fonctionnement sur toute l'année pour décaler leurs dates de plantation et étaler leurs récoltes (par exemple: plantation en mars et récolte en septembre).

Le temps de travail nécessaire pour cultiver un carreau de canne est de 100 à 250 jours (moyenne sur toute la durée de la plantation), presque identique à celui du manioc associé. Mais pour la canne, le travail essentiel se situe au moment de la récolte: un homme par jour pour deux tonnes récoltées en moyenne. A la différence de ce qui se passe pour les associations de culture à dominante manioc, le temps de travail à investir pendant la période de (re)pousse est très limité (*).

(*) La seule intervention pendant les années suivant l'année de plantation est un sarclage réalisé 1 à 2 mois après récolte.

Il apparaît donc que le système de culture canne peut facilement être mis en pratique par des grands planteurs absentéistes, dans les conditions de production qui sont celles de la Plaine du Nord.
- Grâce au système de "métayage" particulier existant pour la canne, la première année de culture n'induit pas d'autre charge pour le propriétaire que le coût de la récolte.
- La totalité du travail sur la canne (sarclage, coupe) ne nécessite pas de surveillance particulière et peut être complètement réalisée par des salariés rémunérés à la tâche.
- Les planteurs de canne ont besoin d'acheter de la main-d'oeuvre à un moment qui ne correspond pas à une pointe de travail pour ceux qui veulent en vendre. En effet, pour les petits agriculteurs, les plus gros travaux se situent au moment de la mise en place des cultures vivrières, pendant la période des pluies d'octobre à décembre.

DES RÉSULTATS VARIABLES SELON LES EXPLOITANTS

Les rendements sont très variables et dépendent pour l'essentiel de l'âge des plantations et du type d'exploitant. Ils peuvent atteindre 150 t/c en première récolte (dix-huit mois après la plantation) et en année exceptionnelle. Mais ils descendent ensuite très rapidement et se situent fréquemment au-dessous de 40 t/c après la quatrième coupe.

Les résultats économiques dépendent donc, pour l'essentiel, des fréquences de coupe et de replantation. Les revenus dégagés par carreau et par an sont supérieurs chez les petits exploitants qui renouvellent fréquemment leur plantation et qui s'efforcent de faire une coupe tous les douze à quatorze mois. Ils sont bien inférieurs chez les grands planteurs qui conduisent leur plantation de façon beaucoup plus extensive.

Dans la figure 70, on a reporté, à titre d'exemple, les résultats économiques correspondant à deux parcelles de canne à sucre. La première est conduite de façon extensive par un propriétaire qui réside au Cap Haïtien, alors que la seconde concerne le champ d'un petit planteur qui réside sur place. Le premier ne travaille pas la terre directement, mais utilise des journaliers, notamment pour la récolte. Il fait faire la plantation par un métayer qui conserve la récolte de vivrier associé.

Le second fait tout lui-même, mais avec l'aide de journaliers. La récolte de vivrier associé fait donc partie du produit brut d'exploitation qu'il réalise.

Globalement, on remarque que la canne à sucre est une culture qui exige peu de travail. Même si la valeur ajoutée par carreau est faible, cette culture représente un coût en salariat très faible pour les absentéistes et, en définitive, elle leur permet d'obtenir un taux de profit de 10 % sans exiger d'eux de présence continue sur leur propriété.

Figure 70 : résultats économiques pour la culture de canne à sucre pour deux exemples d'exploitants dans la plaine du Cap Haïtien (calculs de moyenne sur toute la durée de la plantation).

		C_1 Planteur moyen propriétaire exploitant 3,5 c. livrant à l'usine	C_2 Petit planteur (0,75 c. en canne) éloigné de l'usine livrant aux guildives
Rendement		60 t/c (canne)	17 drums sirop + vivrier associé
Produit brut ($/c) 1 t = 13 $ 1 drum = 40 $		780	sirop : 680 vivrier : 67 total : 747
Consommations intermédiaires et amortissements ($) (plants, transport, labour)		230	21
Valeur ajoutée ($/c) VA = P - CI - A		550	726
Temps de travail (jours/c)	Familial Wf	0	32
	Salarié Ws	110	152
Coût du travail salarié ($) Cw = Ws x 2 $/j		220	304
Productivité du travail Pw = VA / (Wf + Ws) (en $/j)		5,0	3,9
Revenu agricole ($/c) RA = VA - Cw		320	422
Revenu du travail familial RA/Wf ($/j)		pas de sens	13,2
Prix de la terre ($/c) T		3 000	-
Taux de profit RA / (T + CI + Cw)		9,3 %	pas de sens

Figure 71 : résultats économiques pour la culture de banane pour deux exemples d'exploitants (calculs de moyenne sur toute la durée de la plantation).

		B_1 Propriétaire non absentéiste mais ne travaillant qu'à la récolte des régimes	B_2 Propriétaire même conduite technique des bananes que B_1 mais n'utilisant que du travail familial
Rendement (en régimes/c/an)		2 100	2 100
Produit brut		5 460	5 460
Consommations intermédiaires et amortissements (plants)		41	41
Valeur ajoutée ($) VA = P - CI - A		5 419	5 419
Temps de travail (jours)	Familial Wf	93	210
	Salarié Ws	117	0
Coût du travail salarié ($) Cw = Ws x 2 $/j		234	0
Productivité du travail Pw = VA / (W + Ws) (en $/j)		26	26
Revenu agricole ($/c) RA = VA - Cw		5 185	5 419
Revenu du travail familial ($/j) RA/Wf		pas de sens	26
Prix de la terre ($/c) T		4 000	-
Taux de profit RA / (T + CI + Cw)		121 %	pas de sens

LA CULTURE DE LA BANANE

Cette culture est très présente dans toute la plaine, mais beaucoup plus faiblement dans les zones bordant les mornes. Les systèmes canne et banane coexistent en général dans toute la plaine. La seule zone où le système banane est généralisé, alors que la canne y est presque absente, est la zone de Bord-de-Mer-de-Limonade. Là, il existe une rente différentielle en faveur de la banane en raison de la bonne

fertilité des sols sablo-argileux (sédimentation par les inondations de la Grande Rivière du Nord) et d'une faible profondeur de la nappe phréatique assurant une bonne alimentation hydrique.
La plantation est réalisée en association avec du vivrier : maïs, vigna, haricot. La densité de plantation varie de 1 200 à plus de 3 000 pieds par carreau. Ces grandes variations sont surtout liées au type d'exploitation. La durée de la plantation est en général de trois à six ans.

Le temps de travail nécessaire pour cultiver un carreau de banane est de 120 à 150 jours par an et le plus souvent de 170 à 220 jours en moyenne sur toute la durée de la plantation. Il comprend pour l'année de plantation: le nettoyage de la parcelle, la trouaison, la préparation et le transport des plants, au minimum deux sarclages, la récolte et un éclaircissage. Pour les années suivantes, il comprend un sarclage chaque trois à quatre mois et la récolte-éclaircissage.
Pour une plantation de 2000 pieds, on obtient un rendement moyen sur toute la durée de la plantation de 2 000 à 2 400 régimes par an.

Dans la figure 71, on a reporté l'exemple de deux parcelles de banane, la première étant conduite par un absentéiste (présent néanmoins en période de récolte), la seconde étant cultivée par un paysan moyen.

On notera que, de toutes les cultures présentes dans la plaine, c'est la banane qui permet d'obtenir le produit brut et la valeur ajoutée les plus élevés (7 à 10 fois ceux de la canne à sucre). Le travail de plantation et d'entretien est aussi plus important (le double de la canne), mais cette culture demeure très rémunératrice pour ceux qui peuvent l'entreprendre.

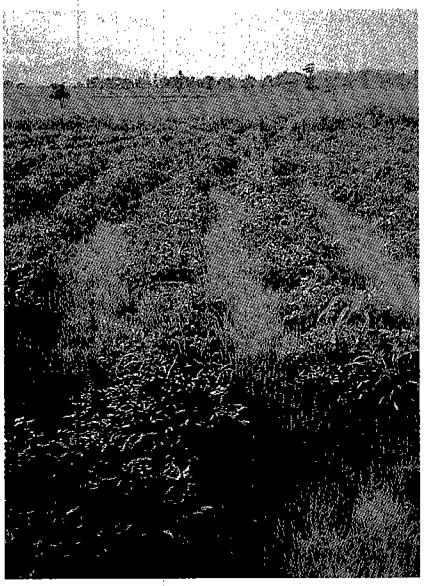
LES ASSOCIATIONS VIVRIÈRES

Présentes en tout lieu de la plaine du Nord, elles occupent une superficie variable. Le terme "associations vivrières" regroupe les associations suivantes, où le manioc est l'une des cultures principales :
- manioc-maïs-vigna-pois congo,
- patate-manioc-maïs,
- manioc-maïs-vigna-patate-arachide,
- riz pluvial-maïs,
- riz-manioc.

La plantation a lieu entre octobre et février, ce qui correspond à une saison de culture pendant la grande saison des pluies. Toutes les cultures associées sont généralement implantées en même temps. Les dates de semis varient selon les climats (différences entre les zones) et, dans une même zone, selon la disponibilité en main-d'oeuvre de chaque type d'exploitation.

Les associations vivrières plus intensives, produisent une valeur ajoutée élevée et emploient davantage de main-d'œuvre que la canne (photos D. Le Pelletier et D. Mermet).





(*) Par exemple les associations avec arachide sont beaucoup plus exigeantes en travail : 300 à 700 jours. En général, les travaux culturaux comprennent 2 à 3 sarclages, 1 à 2 pour le maïs-vigna et 1 sur le manioc quand les autres espèces ont été récoltées.

Le temps de travail investi sur ce système de culture est en moyenne de 200 à 300 jours et peut aller jusqu' à 600 jours par an et par carreau. Il est variable suivant la nature des espèces de l'association (*) et suivant le type de l'exploitation où elles sont pratiquées.

Ainsi, par exemple, la présence d'arachide dans l'association augmente fortement le temps de travail, du fait des sarclages et de la récolte, longs et pénibles.

La figure 72 permet la comparaison des résultats de deux jardins (V_1 et V_2), de qualité agronomique équivalente, mais dont le second est cultivé plus intensivement que le premier. Grâce à l'arachide, la valeur ajoutée double, mais le temps de travail total est multiplié par trois. Au total, la productivité du travail du système le plus intensif est très inférieure à celle du système sans arachide : 1,8 $/jour contre 2,5 $/jour.

La parcelle V_3 correspond à un champ plus fertile. L'agriculteur bénéficie alors d'une rente différentielle, par rapport à V_2. Le produit brut, la valeur ajoutée et la productivité du travail y sont plus élevés.

Figure 72 : exemple de résultats économiques pour trois parcelles vivrières.

		V_1 Association vivrière type Manioc Vigna Patate	V_2 Association vivrière intensive Arachide Vigna Maïs Manioc	V_3 Parcelle de bonne fertilité (rente différentielle) Manioc Maïs Patate
Rendement	Manioc		Vente s/pied	Vente s/pied
	Vigna		36 m	-
	Maïs	-	150 m	840 m
	Arachide		660 m	-
	Patates		-	18 charges
Produit brut ($/c)	Manioc		480	480
	Vigna		50	
	Maïs	512 $	175	420 1 044 $
	Arachide		528 1 133 $	
	Patates			144
Consommations intermédiaires et amortissements (plants)		4	47	4
Valeur ajoutée ($/c) VA = P - CI - A		508	1 086	1 040
Temps de travail (jours)	Familial Wf	200	610	143
	Salarié Ws	-	-	108
Coût du travail salarié ($) Cw = Ws x 2 $/j		-	-	216
Productivité du travail Pw = VA / (Wf + Ws) (en $/j)		2,5	1,8	4,1
Revenu agricole ($/c) RA = VA - Cw		508	1 086	824
Revenu du travail familial RA/Wf ($/j)		2,5	1,8	5,8
Prix de la terre ($/c) T		-	-	-
Taux de profit RA / (T + CI + Cw)		pas de sens	pas de sens	pas de sens

LES AUTRES SYSTÈMES DE CULTURES

Le système café-cacao ou fruitiers n'est pas typiquement un système de plaine: on ne le trouve que dans les zones limitrophes des mornes.

LE RIZ DE LAGON

Il n'est présent que là où il existe un lagon c'est-à-dire une zone inondée après la saison de pluies, mais dont la maîtrise de l'eau est limitée : c'est le cas à La Suisse, Modrène et dans la zone de rivière Salée.
Les principaux résultats économiques (valeur ajoutée, quantité de travail, productivité) sont proches de ceux du vivrier associé, lorsque celui-ci n'est pas cultivé très intensivement. Ils sont très dépendants du prix du riz. Dans la figure 73, ils ont été calculés sur la base du prix au moment de l'enquête, soit 1,4 $ par marmite. Avant la chute des prix due à l'entrée massive de riz détaxé à partir de 1986, les prix atteignaient couramment 2 $ par marmite. Les résultats économiques du riz de lagon étaient alors beaucoup plus favorables et faisaient apparaître une rente différentielle par rapport au vivrier associé (productivité de travail : 3,7 $/jour).

Figure 73 : exemple de résultats économiques pour la culture du riz de lagon et de la tomate dans la plaine du Cap Haïtien

		Riz de lagon	Tomate
Rendement		480	-
Produit brut ($/c)		672	1 800
Consommations intermédiaires et amortissements (plants)		12	400
Valeur ajoutée ($/c) VA = P - CI - A		660	1 400
Temps de travail (jours/c)	Familial Wf	189	200
	Salarié Ws	66	200
Coût du travail salarié ($) Cw = Ws x 2 $/j		132	400
Productivité du travail Pw = VA / (W + Ws) (en $/j)		2,6	3,5
Revenu agricole ($/c). RA = VA - Cw		528	1 000
Revenu du travail familial RA/Wf ($/j)		2,8	5
Prix de la terre ($/c) T		-	-
Taux de profit RC / (T + CI + Cw)		pas de sens	pas de sens

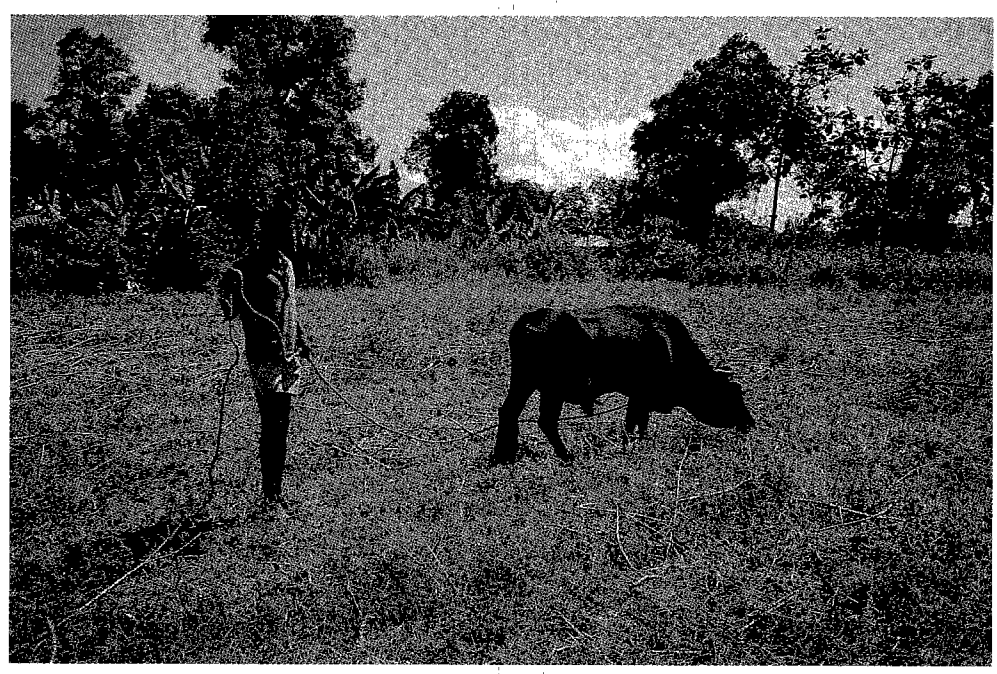
LA TOMATE ET LE TABAC

Ce système n'est présent que là où il existe une rente différentielle due à la présence de sols légers avec possibilité d'arrosage-irrigation: c'est le cas à Ca Douche. Il n'occupe qu'une partie de la superficie de la zone mais est présent dans des exploitations de tailles différentes.
Les résultats économiques expliquent cette localisation: malgré un nombre de jours de travail à investir par carreau supérieur à celui du système "vivrier manioc", le système tomate-tabac permet d'obtenir des revenus par carreau et des rémunérations du travail familial supérieures.

L'ÉLEVAGE

Les bovins, bien que moins nombreux que les caprins, représentent la part la plus importante du capital sous forme cheptel. Cette prédominance de l'élevage bovin dans la Plaine du Nord suppose que les conditions nécessaires à son développement sont ici réunies : un capital d'exploitation relativement important (par rapport à d'autres régions du pays) et des ressources en fourrage et en eau suffisantes pour satisfaire les besoins des animaux.
Des cultures comme la canne et la banane fournissent des quantités élevées de résidus de récolte pouvant être utilisés comme fourrages. En particulier, la canne pour les guildives, qui est récoltée pratiquement toute l'année, joue un rôle important dans l'alimentation des animaux pendant la période de soudure (mois secs de juin à septembre)

Les petites exploitations prennent en gardiennage jusqu'à trois fois plus de bovins qu'elles n'en possèdent grâce à des possibilités d'affouragement particulières à la canne. Les salariés pour la coupe de la canne chez les moyens et grands planteurs ont le droit d'amener leurs animaux consommer les feuilles de canne sur les parcelles récoltées.
D'autre part, certains grands domaines privés ou appartenant à l'Etat, du fait de l'absentéisme des propriétaires et des fermiers, sont laissés en friche et constituent une importante ressource en fourrage gratuit pour les paysans voisins qui peuvent y faire pâturer leurs animaux.



L'élevage bovin intensif valorise les sous-produits de la canne et de la banane mais peut aussi constituer une forme d'utilisation des friches laissées par les propriétaires absentéistes (photo R. Cogno).

L'élevage bovin peut constituer, pour des petites exploitations, une source de revenu non négligeable car la ville du Cap constitue un débouché important pour le lait (*). La production laitière permet un revenu annuel par vache compris entre 260 $ et 110 $ (en incluant le produit de la vente du veau), ce qui représente une rémunération du travail familial intéressante. Le temps de travail réellement consacré à l'élevage laitier est faible et souvent fourni par de la main- d'oeuvre familiale dont le coût d'opportunité(**) est quasiment nul (enfants).
L'élevage bovin laitier est aussi pratiqué par quelques grands planteurs non absentéistes, mais il est alors conduit de façon extensive sur prairies naturelles.

(*) Le gallon de lait se vend 1 à 1,6 $ de septembre à novembre et se maintient ensuite à 0,8 $.

(**) Le coût d'opportunité est la charge supplémentaire que représente l'utilisation d'un nouveau facteur de production.

UN CHOIX ÉCONOMIQUE PLUS QU'AGRONOMIQUE

Une caractéristique essentielle de la Plaine du Nord est la quasi-omniprésence de tous les systèmes de culture dans toutes les zones. A l'intérieur de toutes les petites régions de la plaine définies par leurs caractéristiques pédo-climatiques, les systèmes canne, banane et "association vivrière" sont toujours simultanément présents et imbriqués dans l'espace. Seuls sont localisés, dans des petites régions bien délimitées, les systèmes riz de lagon et tomate-tabac, là où existent des conditions spécifiques qui sont à l'origine d'une rente différentielle. Il est donc impossible de comprendre les déterminants de la localisation et de l'importance des principaux systèmes de culture, uniquement à partir de l'étude de leurs caractéristiques pédo-climatiques et des avantages comparatifs qui en découlent.

En termes de valeur ajoutée produite par unité de surface, critère qui permet d'évaluer la création de richesse d'un système et donc d'en évaluer l'avantage pour l'intérêt national, la culture de la banane se situe loin au-dessus de la canne et des systèmes "vivrier manioc". Le rapport est inversé pour les temps de travaux par unité de surface: le nombre de journées de travail consacré par carreau au "vivrier manioc" est supérieur à celui fourni pour la canne et pour la banane.

De plus, il existe de grandes variations, suivant le type d'exploitation considéré, dans la conduite des cultures et dans les résultats économiques obtenus. C'est donc que tous les exploitants ne prennent pas en compte les avantages comparatifs de type agro-économiques de la même manière.

Le choix d'un système de culture étant déterminé essentiellement par l'intérêt matériel que l'exploitant peut attendre compte-tenu des conditions socio-économiques et des ressources dont il dispose, il apparaît donc évident que l'intérêt économique des exploitants pour tel ou tel système n'est pas le même dans tous les cas.

La logique de fonctionnement économique des exploitations

Les exploitants de la région ne réagissent pas tous de la même manière face aux incitations économiques de leur environnement et aux interventions de l'Etat. Il faut donc rechercher la logique de fonctionnement économique des exploitations en mettant en évidence les critères que chacune d'elles a intérêt à optimiser. Les exploitations ayant la même logique seront regroupées dans une même classe de la typologie.

Les exploitations agricoles sont en relation avec leur environnement économique en particulier à travers les rapports d'échange au moment de la mise sur le marché des produits.

DES EXPLOITATIONS MARCHANDES

Toutes les exploitations de la Plaine du Nord sont marchandes et même étroitement intégrées au marché, c'est-à-dire engagées dans des rapports d'échange marchands concurrentiels. En effet, étant donné la proximité de la capitale régionale, le réseau dense de pistes et les nombreux circuits de commercialisation, les exploitants ont intérêt à produire des marchandises destinées à la vente plutôt que pour leur propre consommation. Ils maximisent donc leur revenu monétaire, quitte à acheter une grande partie de leur nourriture sur les marchés. Les systèmes de production sont alors susceptibles de changer rapidement en fonction de l'évolution des prix.

Dans leur recherche de revenus monétaires, les exploitants s'efforcent de valoriser au mieux les ressources dont ils disposent relativement le moins. Les plus petits agriculteurs ont tendance à faire un usage intensif du peu de terre à laquelle ils ont accès. Ceux dont la force de travail familial est relativement limitée par rapport à leur surface disponible et /ou aux opportunités d'emplois à l'extérieur, ont intérêt à mettre en oeuvre les systèmes de production qui rémunèrent le mieux leur force de travail familiale. Ceux qui, ne pouvant travailler eux-mêmes la totalité de leur exploitation, ont largement recours à de la main-d'oeuvre salariée, s'efforcent de rentabiliser au mieux le capital investi.
Cependant, face aux nombreuses fluctuations climatiques et aux mouvements erratiques des prix sur certains marchés, les agriculteurs qui opèrent dans des conditions de grande précarité (endettement, dépendance à l'égard des usuriers et du faire-valoir indirect, terres hypothéquées,...) s'efforcent en général de minimiser et de disperser les risques de très mauvaise récolte, quitte à ne pas toujours maximiser l'espérance mathématique des revenus. Cela va souvent de pair avec

des systèmes de production fondés sur la polyculture-élevage. Les exploitants les plus aisés, qui ont accès aux marchés les plus stables, peuvent au contraire prendre les risques inhérents à une monoculture (canne à sucre par exemple).

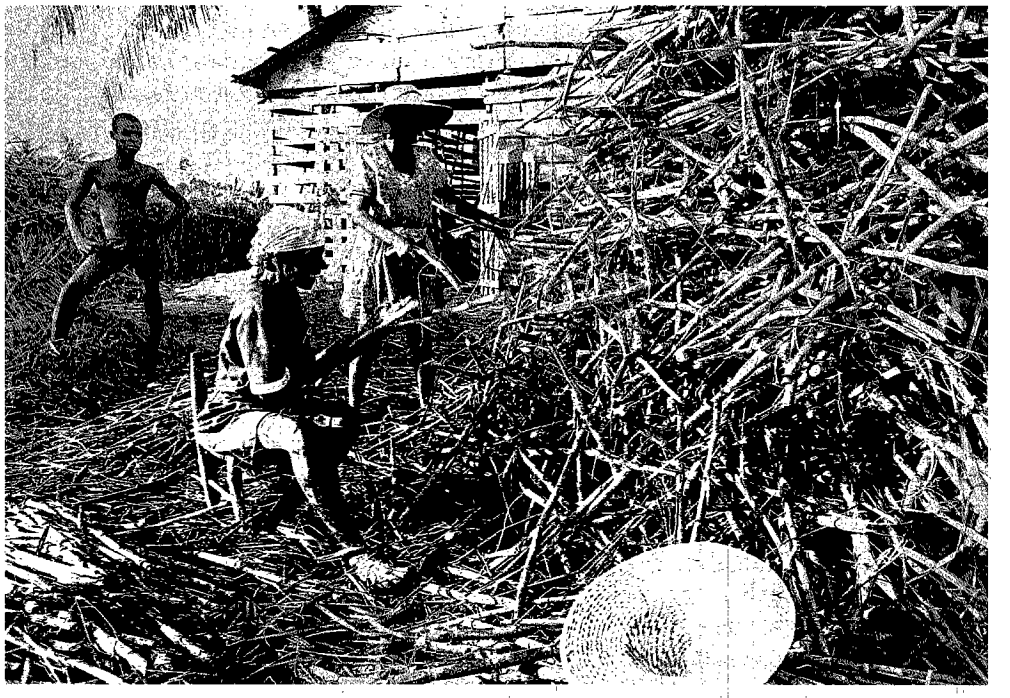
LES SALARIES AGRICOLES, METAYERS ET FERMIERS (TYPE 1)

PEU DE TERRE, BEAUCOUP DE BRAS

Ces exploitations agricoles sont les plus petites de la Plaine du Nord. Les exploitants de type 1 sont quasiment des paysans "sans terre".
La caractéristique principale de ces exploitations est de disposer de moyens de production et d'un capital d'exploitation extrêmement réduit (de 0 à 1000 $). La superficie cultivée est de 0,2 à 0,8 c dont 0 à 0,25 c en faire-valoir direct. Cette contrainte d'un foncier limité détermine la logique économique des exploitants de ce type ainsi que les différents systèmes de production qu'ils vont mettre en oeuvre pour subvenir à leurs besoins essentiels et à ceux de leurs familles.

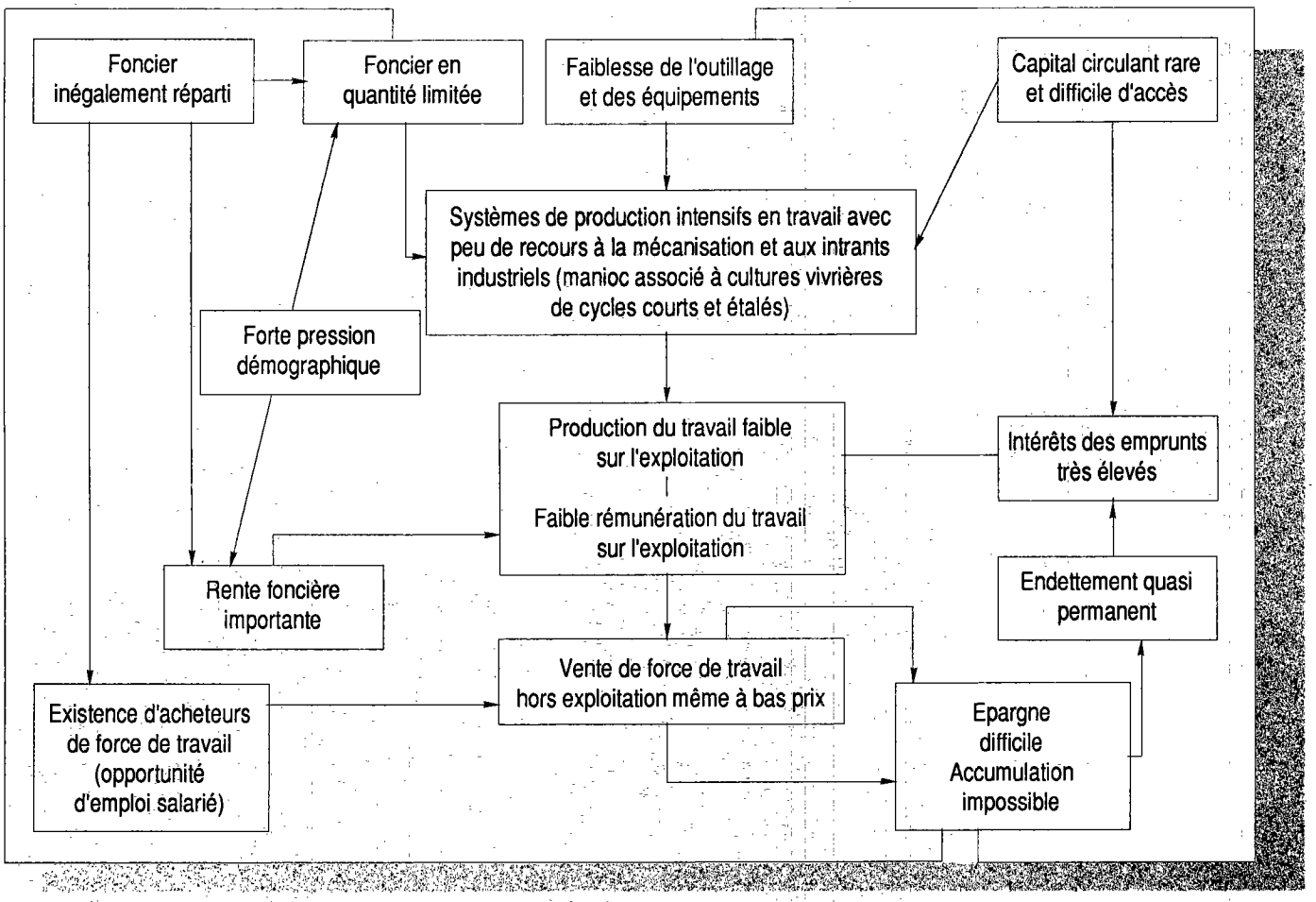
La faible superficie des exploitations ne permet en aucun cas de satisfaire l'ensemble des besoins alimentaires de la famille sur la base de la seule culture. Même si les systèmes de production étaient exclusivement tournés vers la production de vivres pour l'autoconsommation, les exploitants seraient contraints d'acheter une partie de leurs aliments sur le marché. En fait, toutes les exploitations de type 1 sont très intégrées au marché, à la fois marché des produits (pour la vente et pour l'achat, et marché de la force de travail. Compte-tenu des conditions d'échange (prix des produits et prix de la force de travail), la survie de ces exploitations passe par un fonctionnement marchand.

La force de travail familiale est la ressource la plus abondante. Ils sont donc prêts à en faire un usage intensif à l'hectare pour maximiser leurs revenus. Mais, ils peuvent aussi avoir intérêt à ne pas investir la totalité de leur force de travail sur l'exploitation et en vendre une partie à l'extérieur lorsque des opportunités se présentent. Leur logique économique est de rechercher la rémunération maximale de chaque journée de travail en combinant étroitement le travail investi dans leurs propres exploitations et la vente de force de travail à l'extérieur.



La vente de travail hors exploitation des petits paysans se fait surtout en période de récolte de la canne, car les prix sont plus élevés (photo D. Mermet).

Figure 75 : logique de fonctionnement des exploitations de type 1.



L'accumulation est donc rarement possible sur du long terme: elle reste fugace et limitée. La satisfaction des besoins minimaux de la plupart des familles n'est pas assurée. L'auto-consommation de produits vivriers et l'achat sur le marché de compléments vivriers éventuels grâce aux revenus de la vente de travail n'y suffisent pas. La plus grande partie des exploitants de type 1 vont même jusqu'à vendre du vivrier produit (riz, haricot, banane, vigna) pour racheter sur le marché du vivrier constitué par des calories moins chères.

LES PETITS PROPRIETAIRES (TYPE 2)

Les exploitants de type 2 disposent d'un foncier de 1 à 2,5 carreaux dont la moitié au moins en faire-valoir direct. Leur capital d'exploitation varie de 1000 à 7000 $.

LA FORCE DE TRAVAIL : UNE RESSOURCE RARE

Pour reproduire leurs conditions de vie, ils vont chercher à dégager un revenu maximal en valorisant au mieux leur ressource la plus rare: le foncier. Leur main-d'oeuvre s'investit totalement dans des systèmes de culture intensifs en travail. Cette stratégie n'est viable que parce que les exploitants de type 2 peuvent mettre en place des systèmes de culture pour lesquels la rémunération du travail familial est supérieure au prix de la journée sur le marché du travail. Faute de quoi ils auraient intérêt, comme ceux de type 1, à vendre des journées de travail.

Etant donné le faible coût de la main-d'oeuvre salariée, ils peuvent même avoir recours à l'emploi de main-d'oeuvre extérieure, généralement dans le cadre de groupes de travail (escouades, ramponneaux...) avec échange de journées, sans avoir nécessairement besoin d'engager des liquidités. Ces formes de travail en groupe s'apparentent davantage à de l'entr'aide qu'à l'achat et à la vente de

journées de travail. L'intérêt des exploitants à participer à de tels groupes est double:

• pouvoir travailler à plusieurs, ce qui, outre le fait d'être plus agréable, permet parfois d'accroître la productivité du travail en comparaison avec les travaux réalisés par des personnes isolées,

• pouvoir affronter des pointes de travail aux moments optima, sans que des retards éventuels viennent occasionner des pertes de récolte, et sans qu'il soit non plus nécessaire de payer de la main-d'oeuvre plus cher pour réaliser les travaux à temps. Les pointes de travail peuvent intervenir à des moments différents pour les membres d'un même groupe, dans une même zone, car les systèmes de culture y sont variés et les dates de travaux peuvent y être très différents pour un même système. Il semble que les groupes de travail aient alors pour objectif d'éviter l'indexation du prix de la force de travail sur son coût d'opportunité ou sa productivité.

DES SYSTÈMES DE CULTURE VARIÉS

Les petits propriétaires, dont les moyens de production sont moins limités que ceux du type 1, sont en mesure de maximiser leur revenu par carreau en choisissant leurs systèmes de culture parmi une gamme plus large. La diversité observée dans les systèmes de culture pratiqués à l'intérieur d'aires géographiques assez restreintes est, en grande partie, le reflet de l'activité des petits propriétaires qui mettent en oeuvre des systèmes de production différenciés selon les zones.

Dans les zones limitrophes de mornes

Les exploitants de type 2 ne cultivent pas du tout de canne, peu ou pas de manioc associé, de la banane, du café-cacao et des pâturages pour l'élevage.

• La quasi-absence de canne n'est pas ici liée au manque de capital. Mais dans ces zones éloignées des structures de transformation de la canne, les exploitants devraient supporter un surcoût de transport. De fait, moyens et petits propriétaires ne la cultivent pas dans cette zone. En revanche, dans d'autres zones, on trouve des petits propriétaires qui cultivent la canne.

• Les exploitations étant marchandes et pouvant s'approvisionner en vivrier sur le marché, elles n'ont donc intérêt à cultiver que les associations de vivrier où la valeur ajoutée est la plus élevée. Il est donc rarement à base de manioc, il s'agit surtout de riz pluvial, maïs, haricot....qui apparaît de manière significative dans des régions comme Grison Garde où il existe une rente différentielle liée à l'irrigation.

• L'importance de la banane (de même que pour le café-cacao) est justifiée car cette culture est celle qui répond le mieux aux intérêts économiques de petits propriétaires. Cette culture dégage les revenus monétaires les plus élevés eu égard à la terre et à la force de travail disponibles.

• L'élevage, qui comprend de 2 à 5 ovins et de 1 à 3 caprins en propriété, permet également de dégager un revenu par carreau important.

Dans la plaine proprement dite

Les exploitants de type 2 pratiquent des systèmes de culture soit uniquement basés sur la banane, soit basés sur banane et canne, soit sur des productions liées à une rente différentielle (cas de la tomate et du tabac à Ca Douche).

• La banane est ici aussi la culture qui répond le mieux aux intérêts des petits propriétaires.

• La culture de la canne leur permet de diversifier les systèmes de culture pour limiter les risques inhérents à une "monoculture" de banane. En effet, la banane est sensible au vent et les risques de destruction d'une plantation sont ressentis comme une contrainte importante par les petits propriétaires.

Les exploitants de type 2 mettent en oeuvre des systèmes de production fondés sur la polyculture-élevage qui dégagent des valeurs ajoutées souvent importantes à l'unité de surface. Leurs disponibilités en terre vont donc être suffisantes pour faire vivre la famille uniquement sur la base du revenu tiré de l'exploitation. Les exploitants de type 2 se différencient des types 1 avant tout par l'absence de vente de travail hors exploitation. De plus, l'élevage joue pour eux le rôle de placement de l'épargne.

LES MOYENS PROPRIETAIRES (TYPE 3)

Les exploitations du type 3 se caractérisent surtout par une quantité de terre en propriété relativement importante, environ quatre carreaux. Le capital d'exploitation (foncier et capital circulant) est important: environ 12 000 $.

DE LA TERRE ET DES SALARIÉS

La quantité de terre disponible en propriété est donc nettement supérieure à la superficie que peut cultiver la seule main-d'œuvre familiale en culture manuelle, même extensive. Dans une telle situation, les choix des exploitants peuvent être les suivants:

- conserver une culture manuelle, mais en cédant une partie de leurs terres en faire-valoir indirect ; de fait ces cessions sont très rares ;
- utiliser des moyens de production permettant d'obtenir une meilleure productivité du travail familial, mais la grande majorité fonctionne avec un outillage manuel. On note seulement la présence de quelques charrues à traction animale et de quelques motoculteurs. Leur utilisation ne concerne alors que les opérations de préparation du sol avant implantation de la culture (labour, hersage, sillonnage), ce qui limite fortement l'augmentation de la productivité du travail au niveau d'un cycle de production et, surtout, oblige à toujours faire appel à de la main d'oeuvre salariée pour les opérations de semis, sarclage et récolte ;
- recourir à de la main-d'œuvre salariée en complément de la main-d'œuvre familiale. C'est la solution la plus généralement retenue par les exploitants. La part de la main-d'œuvre salariée est toujours plus abondante que la part de la main-d'oeuvre familiale. A l'exception toutefois de certaines parcelles cultivées en vivrier et où il y a, soit équilibre entre main-d'oeuvre salariée et familiale, soit domination de cette dernière.

Dans certain cas, la main-d'oeuvre salariée constitue même la seule force de travail utilisée pour la mise en valeur des terres. Toutefois les propriétaires absentéistes sont rares parmi les exploitants du type 3.

DES CULTURES INTENSIVES

La majorité des exploitants de type 3 pratique des systèmes de culture intensifs en travail qui dégagent des revenus importants par carreau, la banane étant de loin la culture la plus intéressante. Elle est d'ailleurs cultivée par un grand nombre d'exploitants de type 3. La diversité des autres cultures pratiquées résulte essentiellement de leur recherche de spéculations tirant le meilleur parti des avantages comparatifs de type agro-écologiques de chacune des zones: banane à Bord de Mer, tomate et tabac à Ca Douche, riz de lagon à La Suisse,....

Cependant, si la majorité des exploitants de type 3 cultive la banane, cette culture est souvent présente au sein de l'exploitation avec la canne, et certains exploitants ne cultivent même que la canne.

L'importance de la canne apparaît d'autant plus grande dans les exploitations proches des ateliers de transformation et dans celles où les sols sont moins favorables à la culture de la banane (la canne tolérant mieux des périodes de sécheresse que la banane). Pourtant, certains exploitants cultivent la banane sans cultiver la canne alors qu'ils se trouvent à proximité de l'USN (Quartier Morin) ou de guildives en fonctionnement (Ca Douche). Il faudra donc expliquer pourquoi la canne, bien que moins intéressante que la banane, tient une telle place dans les systèmes de culture.

LA MISE EN VALEUR DIRECTE : UN INTÉRÊT ÉCONOMIQUE

L'utilisation très rare de la culture attelée et de motoculteurs par ces exploitants n'est pas liée à un manque de capital. Mais dans les conditions actuelles de la Plaine du Nord où les paysans sans terre sont très nombreux, il est économiquement plus intéressant d'acheter la force de travail bon marché et abondante des journaliers agricoles que d'investir dans du matériel de culture. En effet, l'achat d'un attelage (investissement de 800 $ plus les frais d'entretien, en particulier en fourrages pour les boeufs) n'est rentable par rapport à l'achat de main-d'oeuvre salariée, qu'à condition de rendre des services hors de l'exploitation. De plus, les difficultés pour faire réparer correctement et de façon durable le matériel agricole autre que manuel, ont pu décourager les acquéreurs potentiels que sont les exploi-

tants de type 3, alors que la force de travail des journaliers agricoles est toujours disponible, bon marché et ... ne tombe jamais en panne.

Les agriculteurs de type 3 ont de bonnes raisons pour préfèrer acheter de la force de travail plutôt que de céder une partie de leurs terres en faire-valoir indirect. A l'exception des unités artisanales directement liée à l'activité agricole (transformation de la canne...), les exploitants n'ont pas véritablement les moyens d'investir leur argent et leur travail dans des activités non agricoles qui leur assurent une meilleure rémunération de leur travail ou un meilleur profit que dans leur exploitation.
Le montant de la rente foncière qu'ils obtiendraient d'une cession de terre est inférieur au revenu monétaire et au taux de profit qu'ils peuvent réaliser en exploitant eux-mêmes leurs terres. Un carreau, cédé en métayage au quart à un exploitant de type 1 qui y cultive du vivrier, dégage un produit brut de 400 $, soit une rente foncière de 100 $, soit un taux de profit de 5% si la terre vaut 2000 $/ carreau. Un carreau de terre exploité en faire-valoir direct peut procurer un revenu monétaire de 300 à 700 $ (jusqu'à 4000 $ pour la banane), soit un taux de profit rarement inférieur à 20%.

L'intérêt économique pour les exploitants de type 3 est donc la mise en valeur directe de leurs terres en ayant recours à de la main-d'oeuvre salariée. Cette voie est rentable car la force de travail salariée s'obtient à un coût faible (1 à 2 $ par jour) et les exploitants de type 3 disposent de suffisamment de capital-argent à investir (essentiellement sous forme de salaires) pour mettre en place des systèmes permettant d'obtenir un revenu par carreau et/ou un taux de profit élevés.
On peut distinguer deux catégories d'exploitants de type 3 selon la stratégie qu'ils vont adopter pour tirer profit de cette situation.

• La grande majorité est constituée par ceux qui sont présents sur l'exploitation et effectuent eux-mêmes avec le reste de la main-d'oeuvre familiale certains travaux agricoles. Ils cherchent à maximiser le revenu monétaire par unité de surface cultivée.
Disposant du capital circulant nécessaire, ils sont en mesure de mettre en place les systèmes de culture les plus rémunérateurs (banane en particulier) mais qui nécessitent les disponibilités en capital les plus importantes (pour la plantation, mais surtout pour supporter les risques de destruction par le vent).

• Une minorité est constituée d'exploitants qui sont plutôt absentéistes et cherchent davantage à maximiser le taux de profit du capital investi. La culture de la canne répond mieux à leurs intérêts. En effet, la banane exige une présence quasi-permanente en raison des vols fréquents dans la Plaine du Nord. La canne, moins sensible à ce dernier phénomène, se prête mieux à une présence occasionnelle, les opérations culturales étant, de plus, très bien délimitées dans le temps.

Les exploitations de type 3 sont des exploitations en voie de capitalisation. L'accumulation est visible au niveau du cheptel (3 à 4 bovins adultes et 2 jeunes bovins en moyenne par exploitation) et du foncier. En effet, la plus grande part des terres en propriété (60%) ont été achetées par l'actuelle génération, le reste ayant été reçu en héritage (terres achetées par la génération précédente). L'accumulation du capital peut avoir été faite au départ grâce aux revenus tirés d'activités non agricoles relativement bien rémunérées (artisanat, commerce, "compagnies"), investis dans l'achat de terres. Une bonne gestion du capital foncier, combinée à la poursuite des activités extra-agricoles, a permis ensuite de franchir le seuil à partir duquel l'accumulation sur une base uniquement agricole est devenue possible.

LES EXPLOITANTS CAPITALISTES (TYPE 4)

DE GRANDS PROPRIÉTAIRES

Les exploitants capitalistes sont de relativement grands propriétaires: plus de dix carreaux . Ils sont pour la plupart absentéistes, leur travail sur l'exploitation se limite le plus souvent aux tâches de gestion de leur patrimoine. Généralement, ces grands planteurs exercent aussi d'autres métiers extérieurs à l'agriculture: commerce de détail, négoce import-export, petites industries (guildives, usines à glace...), profession libérale, fonction publique, transport, etc... Ils ont ainsi accès, pour leur propre capital, à d'autres opportunités d'investissement que la seule agriculture.



Le recours à de la main-d'œuvre salariée est indispensable pour les grands planteurs, notamment pour la coupe (photo D. Mermet).

Avec les ressources dont ils disposent, les grands planteurs ont intérêt à maximiser leur taux de profit global. Ils mettent en oeuvre des systèmes de production agricole qui leur garantissent un taux de profit au moins égal à celui qu'ils peuvent réaliser dans les autres secteurs d'activité.

DES SYSTÈMES DE PRODUCTION EXTENSIFS

Les grands planteurs utilisent exclusivement de la main-d'oeuvre salariée pour les travaux directement productifs sur l'exploitation. Dans la grande majorité des cas, ils pratiquent des systèmes de production extensifs, peu exigeants en force de travail et en intrants à l'unité de surface. La canne à sucre, conduite de façon extensive avec une faible fréquence de coupe et de replantation, est la règle quasi-générale. Cette canne est pour une très large part destinée à l'USN. Certaines terres sont laissées en prairies naturelles pour l'élevage bovin extensif. D'autres sont le siège d'une arboriculture conduite assez médiocrement: café, cacao, agrumes, bois de chauffe... Le caractère extensif peut surprendre à première vue quand on connait le coût relativement faible de la force de travail salariée. Mais il s'explique aisément par le fait que les planteurs investissent une grande part de leur capital dans des activités non agricoles jugées plus lucratives que l'agriculture intensive. De plus les systèmes de production intensifs (banane, légumes, tabac...) exigent pour être bien conduits, une présence régulière sur les exploitations, ce qui limite aussi les risques de vol.

Ces systèmes de production apportent une valeur ajoutée et des revenus monétaires relativement faibles par unité de surface, mais le taux de profit réalisé n'est pas nettement inférieur à celui réalisé dans les autres activités économiques. Cela tient à deux raisons:

- les revenus agricoles sont obtenus avec peu d'investissements annuels en capital-argent,
- le profit est réalisé pour une large part par l'augmentation annuelle du prix de la terre qui résulte notamment de l'accroissement démographigue sur des surfaces agricoles limitées (spéculation foncière). Certains grands propriétaires ont

même tendance à céder des parcelles en faire-valoir indirect à des paysans sans terre, et se satisfont des revenus apportés par le paiement de la rente foncière en plus de l'accroissement du prix du foncier.

Les exploitants de type 4 sont donc pour la plupart des propriétaires absentéistes. Seule une minorité de ces exploitants réside sur l'exploitation-même ou la visite quotidiennement. Ces derniers sont les seuls à pratiquer des systèmes de production plus exigeants en soins: banane, maraîchage, cultures vivrières mécanisées, élevage bovin laitier... Encore ne le font-ils en général que pour des courtes durées et sur des superficies restreintes.

UNE SOUS-UTILISATION DES RESSOURCES NATIONALES : TERRE ET TRAVAIL

Nous avons vu que nous pouvions relier :
• le type de l'exploitant ;
• la superficie agricole qu'il cultive :
- moins d'un carreau pour le type 1,
- entre 1 et 2,5 carreaux pour le type 2,
- entre 2,5 et 10 carreaux pour le type 3,
- plus de 10 carreaux pour le type 4.

Grâce aux résultats du recensement agricole pour le département du Nord, nous savons combien d'agriculteurs appartiennent à ces différentes catégories et nous pouvons construire ainsi le tableau de la page 170.

Une fois ce résultat obtenu, on peut, grâce à des enquêtes sur un échantillon raisonné d'exploitations des quatre types, établir un profil moyen d'assolement par type.

Grâce aux paramètres établis dans les figures 70, 71, 72, on peut calculer l'emploi et la valeur ajoutée créés par l'activité agricole d'un exploitant moyen de chaque type. Il suffit alors de multiplier ces résultats par le nombre d'exploitants pour obtenir la contribution de toutes les exploitations de ce type à la création de valeur et d'emploi dans la Plaine du Nord (figure 76).

L'analyse du fonctionnement économique des différentes exploitations de la Plaine, en mettant en évidence l'intérêt économique de chaque agent, montre clairement où se situent les sous-utilisations des ressources nationales et quelles sont les limites de la situation actuelle du point de vue de l'intérêt national.

• **Les exploitants de type 1** constituent de loin la catégorie la plus importante en nombre (62% du total des exploitations) mais ils ne contrôlent, en propriété ou en faire-valoir indirect que 15,6% de la superficie agricole, soit une superficie moyenne de 0,43 ha par famille.
Dans cette situation d'une précarité extrême, les exploitants de type 1 risquent de venir renforcer la masse des chômeurs qui affluent dans les bidonvilles périurbains si l'on ne parvient pas à les doter très rapidement de nouvelles terres, ou si les interventions de l'Etat (en matière de politique, programmes ou projets de développement agricole) ne veillent pas à assurer des conditions d'emploi à des fins directement productives pour cette abondante force de travail. L'emploi salarié généré par les grandes exploitations et les industries agricoles n'est pas, en effet, en mesure d'absorber l'afflux actuel de main-d'oeuvre qui résulte de l'accroissement démographique.

• Avec 2,16 ha par famille, **les exploitants du type 2** contrôlent environ 39,2% de la superficie agricole disponible. Ils sont sans doute ceux qui sont à même de satisfaire au moindre coût l'intérêt général, car ils assurent le plein emploi de la force de travail familiale sur les exploitations grâce à des systèmes de production intensifs en travail et fortement producteurs de valeur ajoutée à l'hectare. Leur

intérêt est de produire toujours davantage sur les surfaces dont ils disposent en ayant recours au maximum à leur propre force de travail familiale. Renforcer ce type d'exploitation permettrait d'assurer le plein emploi de la force de travail paysanne et de faire le meilleur usage possible des superficies agricoles disponibles.

• Avec 15,6% de la superficie totale, **les exploitants de type 3** ne représentent que 5,5% du nombre des exploitants. Avec leurs systèmes de production intensifs, ces exploitations assurent un volume d'emploi relativement important pour la main d'oeuvre salariée et procurent des valeurs ajoutées à l'hectare non négligeables.

• Avec près de 30% de la superficie agricole disponible, **les exploitations de type 4** font l'objet d'une mise en valeur extensive, avec un volume d'emploi et des valeurs ajoutées à l'hectare relativement faibles. L'intérêt de ces exploitants n'est pas d'intensifier leur système de production et ils manifestent ouvertement leurs craintes par rapport à une éventuelle fermeture de l'USN.

Figure 76 - répartition des superficies, de la création de valeur et d'emploi entre les quatre types d'exploitants de la Plaine du Nord.

		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Total
Agents	%	62,3	31,2	5,5	1,0	100,0
Superficie occupée	%	15,6	39,2	15,6	29,6	100,0
Valeur créée	$	2 966	7 278	3 117	1 566	14 928
	%	19,9	48,7	20,9	10,5	100,0
Création d'emploi	Qté*	976	1 491	527	733	3 727
	%	26,2	40,0	14,1	19,7	100,0
(dont salariés)	Qté*	196	862	461	733	2 252
	%	8,7	38,3	20,5	32,5	100,0
(*) (1 000 j de travail)						

Quelle politique agricole pour la Plaine du Nord ?

L'industrie sucrière est donc en crise. Les déficits de l'USN, régulièrement comblés par l'Etat, pèsent sur la collectivité nationale. Faut-il alors fermer l'usine sucrière ? Mais ne risque-t-on pas, ce faisant, de précipiter le déclin agricole de toute la plaine, de priver d'emploi des dizaines de milliers de paysans et de gonfler ainsi l'exode rural vers les villes de Cap Haïtien et de Port-au-Prince ? Pour répondre à ces questions, il convient d'examiner le problème de la canne à sucre à plusieurs niveaux :

- celui du marché mondial, pour en connaître l'évolution possible et la place que peut tenir Haïti face aux autres pays producteurs, compte tenu de leur productivité ;
- celui de l'usine proprement dite, en analysant les causes du déficit actuel ;
- celui de l'activité économique agricole au niveau de l'ensemble de la région, qui sera affecté par la décision de l'Etat, quelque soit la solution retenue ;
- celui des agriculteurs et de leur famille, qui, en définitive, sont ceux qui prennent les décisions de culture et de commercialisation.

LES CAUSES DES DIFFICULTÉS DE L'INDUSTRIE SUCRIÈRE

Ces causes sont à rechercher tout d'abord dans la situation mondiale du marché du sucre et la place occupée par Haïti sur ce marché, ainsi que dans la politique suivie par le gouvernement haitien dans le secteur sucrier (production et transformation).

UN MARCHÉ MONDIAL PLÉTHORIQUE

Le marché mondial du sucre connaît à l'heure actuelle des problèmes structurels. Les stocks accumulés sont de l'ordre de 38 millions de tonnes en 1988.
Le sucre de betterave dans les pays de la CEE et la production d'isoglucose (sucre de maïs) aux Etats-Unis, principal pays importateur du sucre haitien se développent.
Les Etats-Unis développent une politique d'auto-suffisance avec la substitution progressive du sucre par des édulcorants de synthèse. Ils réduisent leurs quotas d'importation en 1986-87, ils ont déjà été drastiquement réduits pour différents pays : Philippines, République Dominicaine... A terme Haïti n'aurait donc aucun intérêt à développer une production de sucre pour l'exportation.

Le marché mondial se caractérise aujourd'hui par une baisse tendancielle du prix du sucre de canne, se situant entre 7 et 9 cents de dollars par livre. Le prix interna-

tional du sucre raffiné est descendu jusqu'à 6 cents la livre en 1987. Au-delà de possibles fluctuations conjoncturelles, le prix international du sucre sera sans doute amené à subir de nouvelles baisses dans l'avenir à cause surtout de la concurrence des marchandises substituables produites dans les pays industrialisés avec une très forte productivité du travail.

Cependant, parmi les pays producteurs de sucre de canne, le cas d'Haïti est assez atypique. Haïti dispose de quotas d'exportation aux Etats-Unis à des prix garantis de 18 cents la livre. Mais le sucre exporté aux Etats-Unis ne représente qu'une moyenne de 10 000 tonnes par an alors que le quota est de 30 000 tonnes depuis les années 60. En effet, la production nationale de sucre ne suffit pas à satisfaire la demande nationale.
Pendant les années 80, Haïti importe deux fois plus de sucre qu'elle n'en exporte. Le volume moyen importé représente environ 20 000 tonnes, soit le tiers de la consommation effective courante. La consommation de sucre en Haïti se situait en 1988 aux alentours de 60 000 tonnes par an et avait progressé de 30% au cours des 10 dernières années. On suppose que si le rythme de croissance de la demande nationale reste le même, la demande atteindra 100 000 tonnes de sucre par an dans 20 ans.

UNE CONCURRENCE EXACERBÉE

Dans ce contexte de non satisfaction de la demande intérieure, et en l'absence de mesures efficaces de protection de la production nationale, la concurrence d'autres pays producteurs de sucre peut librement s'exprimer. Ce jeu de la libre concurrence, a pour résultat l'entrée en contrebande sur le marché haïtien de sucre dominicain dont le prix est nettement inférieur au prix du sucre produit localement. Non seulement cela ne génère pas de recettes pour l'Etat haïtien mais cela constitue même un nouveau coût pour la nation.

Les importations (licites ou illicites) ont eu pour conséquence la mévente du sucre haïtien et l'accumulation de stocks importants dans les usines sucrières, en particulier à l'USN, à partir de 1986. Cette situation s'est traduite par une augmentation considérable dans les coûts de production sortie-usine (frais de stockage supplémentaires), rendant encore moins compétitif le sucre haïtien. Les autorités locales ont du baisser le prix sortie-usine, le sac de 100 livres passant de 24 $ à 17 $, niveau correspondant au prix de gros local du sucre importé en contrebande de la République Dominicaine. Les usines sucrières haïtiennes ont ainsi dû faire face à de graves difficultés financières qui n'ont pu être réglées qu'au prix de soutiens apportés par l'Etat aux usiniers sous différentes formes :
• octroi d'une part accrue des recettes (20% du prix fixé en 1970 et 47,8% en 1987)
• comblement de tout ou partie de leur déficit financier, soit 3,4 millions de $ pour l'USN,
• le subventionnement du prix du sucre. Ainsi dans le Nord, malgré une baisse du prix payé aux planteurs pour leur canne livrée à l'USN, le prix de 13 $ la tonne reste encore soutenu, si on le compare aux 7,4 $ payés par les guildives et siroteries. Il en coûte ainsi plus de 800 000 $ par an à l'Etat, dont la moitié environ revient aux exploitants de type 4.
L'ensemble de ces soutiens se traduit, déduction faite des rentrées que constituent les taxes sur le sucre, par des dépenses annuelles pour l'Etat de 5,4 millions de dollars.

DES DIFFICULTÉS DE GESTION

Dans le cas de l'USN, outre les difficultés liées au marché international du sucre et qui touchent toutes les usines sucrières haïtiennes, se surajoutent les problèmes de gestion de l'entreprise qui affectent sa rentabilité.

• L'USN dispose d'une capacité installée de 2000 tonnes de canne broyée par jour. Or, cette capacité n'a été utilisée qu'à 40% de 1983 à 1987, ce qui a eu des incidences malheureuses sur la rentabilité de l'entreprise.

• Les principaux fournisseurs de l'USN sont des grands propriétaires. Seulement 8% des agriculteurs-exploitants de la Plaine du Nord sont impliqués dans l'approvisionnement de l'USN, et parmi ces fournisseurs, 95 exploitants de plus de dix carreaux délivrent à eux seuls 64% de la canne broyée. Lorsque l'usine est installée

en 1970, de nombreux grands propriétaires se lancent dans la plantation de canne. L'usine représente, en effet, un débouché sûr, par lequel les risques techniques inhérents à la culture sont faibles ; il est possible et rentable de conduire la culture sur un mode extensif (durée des plantations très longues, soins quasi-nuls après la première année, pratiquement pas d'intrants...). Ce mode de culture des principaux fournisseurs de l'usine a pour conséquence des rendements très médiocres et un rendement en sucre très faible (5,8% en moyenne de 1983 à 87).

Les différents responsables de l'USN ont tenté vainement de trouver une période de coupe qui permette d'obtenir un rendement en sucre acceptable et susceptible de viabiliser l'entreprise. Le problème apparaît incontournable, la qualité de la canne dans la Plaine du Nord, fortement exposée aux pluies alizées, ne convient pas à une usine sucrière.

Même si l'usine vendait toute sa production aux Etats-Unis au prix garanti de 18 cents la livre, elle n'en resterait pas moins déficitaire.

Dans cette situation, l'Etat haïtien semble subventionner une entreprise et une culture d'intérêt économique nul. Les propriétaires de l'usine perdent de l'argent alors que les principales exploitations agricoles en amont sous-utilisent une des ressources les plus rares du pays: la terre agricole de plaine humide. Dans ces conditions, l'Etat peut décider de cesser ses soutiens financiers au secteur sucrier de la plaine du Nord. L'étude économique régionale permet d'imaginer quelles seraient les conséquences d'une telle mesure sur l'économie agricole de la région.

EN CAS DE FERMETURE DE L'USN : QUELLES ÉVOLUTIONS ?

DES SYSTÈMES MODIFIÉS

Considérons l'hypothèse de la fermeture de l'Usine Sucrière du Nord, mais sans intervention de l'Etat, les exploitants agricoles modifiant par eux-mêmes leurs systèmes de production en fonction de la nouvelle conjoncture. Les modifications prévisibles dans la production agricole, compte-tenu des comportements économiques mis en évidence pour chaque type d'agricuteur, seront les suivantes :

• **Les exploitants de type 4** seraient les premiers touchés. Ne pouvant plus livrer à l'usine, ils devraient soit livrer aux guildives, soit reconvertir leurs terres vers d'autres cultures, soit vendre ou céder leurs terres en faire-valoir indirect.

Il est probable que les propriétaires qui, sans exploiter directement, résident néanmoins à proximité de leurs plantations, chercheront vraisemblablement à éviter les investissements qu'exigerait la reconversion de leur système de culture. Sans doute s'efforceront-ils de livrer leur récolte aux guildives déjà présentes dans la Plaine du Nord (*), au risque de faire baisser les prix de la canne dans la région, ce qui ne manquerait pas de porter préjudice aux tout petits propriétaires.
Cette modification sera plus difficile à réaliser pour les exploitants absentéistes; en effet, leurs livraisons à l'usine étaient concentrées dans le temps, avec de gros tonnages à chaque livraison, ce qui est un mode d'organisation inadapté pour les guildives. Les superficies libérées par la canne chez les exploitants absentéistes seront plus probablement reconverties en prairies naturelles pour l'élevage bovin extensif ou cédées en faire-valoir indirect à des exploitants offrant suffisamment de garanties (type 3, plus difficilement type 2).
Nous pouvons penser que les agriculteurs de type 4 ne mettront pas en oeuvre des systèmes de production avec monoculture pour l'exportation vers les Etats-Unis ou d'autres pays: ananas, pamplemousses... Leur intérêt est de maximiser leur taux de profit, quel que soit le type d'activités dans lesquelles ils investissent. Or l'histoire agraire de la Plaine du Nord montre que les conditions n'ont jamais été réunies pour que les tentatives de développement de ce type de production soient viables.

(*) Les guildives sont actuellement en mesure d'augmenter leur volume de canne traitée en fonctionnant à des niveaux plus proches de leurs capacités maximales. Cependant, ceci signifie une réorganisation complète de la filière guildive pour l'approvisionnement en canne et il n'est pas certain que cela puisse se faire sans heurts. Or, dans la situation de référence, cette filière fonctionne de manière tout à fait satisfaisante.

• **Les exploitants de type 3** reporteront vers les guildives une partie de leur production de canne destinée auparavant à l'usine. Néanmoins ils subiront de

plein fouet la baisse du prix du sirop que la nouvelle concurrence d'agriculteurs du type 1 provoquera. Il est probable que beaucoup d'entre eux diminueront leurs cultures de canne, la rémunération de leur travail familial devenant trop faible. Ils préfèreront installer des cultures de banane, là où le sol et le climat sont le moins défavorables, et des cultures vivrières ailleurs.

Ces nouvelles cultures seront beaucoup plus exigeantes en travail que la canne. Aussi, les agriculteurs de ce groupe chercheront-ils vraisemblablement à s'attacher les services des anciens salariés de la canne. Néanmoins, alors que l'emploi pour la canne est extrêmement saisonnier, celui procuré par les bananeraies ou les parcelles vivrières est plus permanent. La demande ne sera donc vraisemblablement pas satisfaite. Aussi peut-on s'attendre à une augmentation des prix de la main-d'œuvre. Ceux-ci peuvent dépasser sensiblement les rémunérations du travail, de l'ordre de un à deux dollars par jour de travail familial, qu'obtiennent les paysans les moins productifs, notamment ceux qui, au sein du type 4, sont contraints au système le plus intensif avec arachide, ou ceux des mornes avoisinantes pour lesquels l'avantage comparatif est négatif.

• **Les exploitants de type 2** subiront de plein fouet la concurrence des agriculteurs de type 3 et 4 pour la vente de leur canne aux guildives.
La baisse du prix de la canne entraînera une baisse du revenu agricole insupportable pour ces agriculteurs. On peut penser que les superficies jusque là cultivées en canne seront très largement reconverties en vivrier. Là encore, cette modification s'accompagnera d'une demande supplémentaire en travail que les familles productrices ne pourront sans doute compenser elles-mêmes totalement.

• **Les agriculteurs de type 1** seront largement privés des emplois que leur procuraient les activités liées au fonctionnement de l'usine, notamment lors de la coupe, du transport et de la transformation de la canne. Le surcroît de travail qu'offriront les nouvelles plantations de banane et de vivrier des agriculteurs de type 2 et 3 compenseront en partie les pertes d'emploi dans les plantations de canne. Cependant l'emploi journalier offert se produira à des saisons où les agriculteurs de type 1 sont justement occupés sur leur propre exploitation.

Les plus petits agriculteurs, déjà fragiles économiquement, vont voir leurs difficultés s'accroître alors même que le niveau des salaires offerts dans les plantations de banane et de vivrier augmentera. Il est vraisemblable qu'ils réduiront le niveau d'intensification de leurs cultures vivrières (abandon de l'arachide par exemple...), voire seront contraints à l'abandon de leur exploitation.

L'INTERVENTION DE L'ETAT

Dans ce scénario, l'Etat haïtien réalisera une économie importante par rapport à la situation actuelle, puisqu'il n'aura plus à subventionner l'USN.

Mais la diminution de la valeur ajoutée due à la canne à sucre et à la fabrication de sucre risque de n'être que partiellement compensée par les nouvelles activités créées : accroissement du travail des guildives, nouvelles plantations de banane et de vivrier.

Pour dépasser ces limites, il revient à l'Etat d'intervenir. Il s'agit pour lui non pas de chercher à installer lui-même de nouvelles activités créatrices de valeur ajoutée et d'emploi, mais de mettre en place les conditions les plus favorables pour que les agents économiques, notamment les paysans, le fassent dans un sens conforme à l'intérêt national.

Ainsi, dans le cas présent, l'Etat devrait favoriser la reconversion de la canne en banane :

• par la mise en place d'un système de crédit agricole, notamment au profit des agriculteurs de type 2 dont les capacités financières sont souvent insuffisantes pour assurer l'investissement d'une plantation de bananes ;

• par des mesures foncières permettant l'acquisition par des propriétaires de type 3 des terres des absentéistes libérées de la canne, ce qui facilite leur reconversion vers des productions intensives plutôt que vers l'élevage extensif. Il en serait de

même en réglementant les cessions de terre en faire-valoir indirect. L'objet de telles mesures serait de créer une situation où les grands propriétaires absentéistes auraient davantage intérêt à céder leurs terres en fermage plutôt qu'à les garder dans un but spéculatif ou pour une mise en valeur extensive. Il faut en particulier qu'ils soient assurés de pouvoir revendre leurs terres le jour où ils le souhaitent.

De la même façon, les fermiers et les métayers doivent être assurés d'une sécurité foncière suffisante pour se lancer dans la production bananière.

On voit que tous les partenaires économiques peuvent avoir intérêt à une intervention mesurée de l'Etat pour réguler le jeu du marché. L'objectif d'une politique agricole doit donc être de créer les conditions d'un développement rural harmonieux, au bénéfice de la collectivité toute entière.

LES SYSTÈMES DE CULTURE

LE FONCTIONNEMENT DE LA PLANTE CULTIVÉE 179

Multiplication et rendement des plantes cultivées 180

- Les plantes et leurs modes de multiplication 180
- Qu'est-ce que le rendement ? 186

Croissance et développement des plantes cultivées 192

- La vie d'une plante 192
- La croissance des plantes cultivées 193
- Le développement des plantes cultivées 196
- L'analyse de l'élaboration du rendement 200

Densité et compétition entre les plantes 208

- Mesurer la densité 208
- Densité et rendement des cultures 211

L'enracinement des cultures 214

- Qu'est-ce que l'enracinement ? 214
- La croissance des racines et leur fonctionnement 216
- Compétition entre les plantes pour les facteurs du sol 220

LA GESTION DE LA LUMIÈRE 223

Utilisation de la lumière par la plante 224

- Rayonnement net et production potentielle 224
- L'indice foliaire 225
- Utiliser au mieux la lumière 227
- La lumière dans les associations de cultures 228
- Les relations de compétition dans l'association maïs-sorgho-pois congo 230

LA GESTION DE L'EAU 237

Les besoins en eau des cultures 238

- Transpiration et photosynthèse 238
- Evaluer les besoins en eau d'une culture 239
- Evapotranspiration et production de matière sèche 244

L'eau dans le sol et sa disponibilité pour la plante 247

- Humidité, porosité et densité apparente d'un sol 247
- Rétention de l'eau par le sol et succion par la plante 249
- Réserve d'un sol en eau utilisable par les plantes 252

La circulation de l'eau dans le sol 255

- Infiltration de l'eau et perméabilité du sol 255
- Déplacement de l'eau par diffusion capillaire 257
- Dessèchement d'un sol saturé en eau 257

Lutte contre la sécheresse : techniques pour économiser l'eau 259

- Limiter l'évaporation maximale des cultures (ETM) 259
- Augmenter la quantité d'eau disponible pour les cultures 262

L'alimentation en eau du riz pluvial à Grison-Garde 265

- Analyse fréquentielle des pluies 266
- Calage du cycle du riz en automne 1986 268
- Bilans hydriques 272

L'excès d'eau et les techniques adaptées 276

- Effets sur les plantes 276
- Effets sur le sol 277
- Techniques culturales pratiquées dans les zones inondées 279

LA GESTION DE LA FERTILITÉ 283

Un mode de gestion de la fertilité : les jardins du plateau des Rochelois 285

- Les trois "jardins" 285
- Les jardins proches les plus fertiles 287
- Une gestion paysanne de la fertilité 288

Les besoins des cultures en éléments minéraux 292

- Des besoins qui varient dans le temps 293
- Prélèvements par les cultures et exportation des récoltes 294
- Carences et toxicités 297
- Une fertilisation adaptée aux besoins 301

Apprécier la fertilité d'un sol 302

- Le profil cultural 303
- L'analyse de terre 308
- Les bilans humiques et minéraux 320

La lutte contre l'érosion en Haïti 329

- Les formes d'érosion 330
- Lutte contre l'érosion diffuse : efficacité et contraintes 333
- Aménagement des petites et moyennes ravines 340

La fertilisation organique 345

- Deux exemples de gestion de la fertilité organique 346
- Les effets des techniques de fertilisation organique et leurs difficultés d'utilisation 351

La fertilisation minérale 360

- Les principaux types d'engrais minéraux 360
- Les grands principes de la fertilisation minérale 363
- Pratique de la fertilisation minérale 365
- Fertilisation minérale des cultures associées 372
- Résultats d'expérimentations en Haïti 374

Le fonctionnement de la plante cultivée

Les techniques culturales mises en œuvre par l'agriculteur ont pour but de favoriser la croissance et le développement des plantes afin d'obtenir les meilleures récoltes possibles.

Ces techniques peuvent concerner la plante directement (taille des arbres, traitement contre les parasites), mais le plus souvent elles agissent sur le milieu (le travail du sol, l'irrigation par exemple).

Le choix d'une technique et de sa date d'application est déterminé par :
- les besoins et les exigences des plantes cultivées,
- les aptitudes du milieu à répondre à ces besoins,
- les objectifs de production du paysan, définis par son système de production et l'environnement socio-économique, en particulier la destination du produit selon sa qualité et sa date de récolte.

Chaque espèce de plante cultivée a des besoins particuliers qui varient tout au long de sa vie. Ainsi l'on distingue :
- les facteurs de croissance de la plante : la lumière, l'eau, le gaz carbonique, les éléments minéraux, qui doivent être fournis à la plante par le milieu,
- les conditions de vie de la plante, principalement la température, l'aération et l'humidité du sol, qui vont régler l'utilisation de ces facteurs.

Multiplication et rendement des plantes cultivées

LES PLANTES ET LEURS MODES DE MULTIPLICATION

CHAQUE ORGANE JOUE UN RÔLE

Une partie de la plante est souterraine, ce sont les racines. L'autre est aérienne, elle est constituée des tiges, des feuilles et des organes reproducteurs.

Partie souterraine

• **Les racines** forment la partie souterraine de la plante, sauf pour certaines espèces qui ont des tiges souterraines : rhizomes, bulbes.
. Elles fixent la plante dans le sol,
. Elles puisent dans le sol l'eau et les éléments minéraux dont la plante a besoin pour sa croissance,
. Elles respirent, donc consomment de l'oxygène et de l'énergie et libèrent du gaz carbonique dans le sol,
. Elles peuvent aussi rejeter certaines substances dans le sol par sécrétion racinaire,
. Certaines plantes accumulent des réserves dans leurs racines : le manioc, l'igname, la patate douce.

Partie aérienne

• **Les feuilles** : elles captent l'énergie lumineuse qui leur permet de fabriquer à partir de CO_2, des éléments minéraux et de l'eau, des composés organiques qui constitueront les différentes parties de la plante : c'est la *photosynthèse*.
. Elles respirent et donc puisent de l'oxygène dans l'air et rejettent du gaz carbonique.
. Elles transpirent en rejetant de la vapeu d'eau.

• **Les tiges** : les tiges vertes jouent aussi un role dans la photosynthèse.
. Elles transportent dans leurs canaux la *sève brute* des racines vers les feuilles et la *sève élaborée* des feuilles vers les roganes en croissance.
. Elles forment le "port" de la plante, caractéristique de chaque espèce.

Comme les racines, les tiges de certaines plantes peuvent être le lieu d'accumulation de réserves, c'est le cas du taro et de la pomme de terre.
Certaines plantes ont des tiges souterraines comme le gingembre, la pomme de terre ; on les appelle des *rhizomes*.
Chez les plantes pérennes, les tiges se lignifient en formant du bois, constitutif des branches et du tronc de l'arbre.

Photosynthèse et respiration

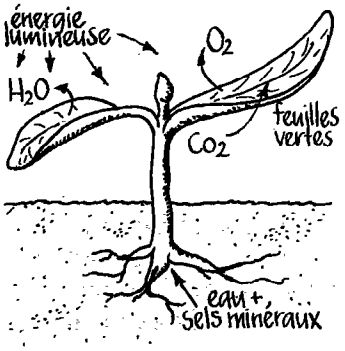


schéma explicatif de la photosynthèse

• La production de matière sèche est réalisée par les plantes lors de la photosynthèse : l'équation générale de la photosynthèse peut être résumée de la façon suivante :

gaz carbonique + eau ⟶ substance organique + oxygène

énergie lumineuse

$n\,CO_2 + n\,H_2O \longrightarrow n\,(C\,HOH) + n\,O_2$

Lors de la photosynthèse, les plantes consomment de l'eau et du gaz carbonique et rejettent de l'oxygène. L'énergie lumineuse nécessaire à ce phénomène est captée par la chlorophylle.

• La respiration est la dégradation d'une partie de la matière sèche fabriquée lors de la photosynthèse. Elle fournit l'énergie nécessaire au métabolisme des plantes. La respiration répond à l'équation inverse de la précédente :

oxygène inspirée + matière végétale ⟶ gaz carbonique expiré + eau + énergie

$n\,O_2 + n\,(C\,HOH) \longrightarrow n\,CO_2 + n\,H_2O$ (+ énergie)

• Les fleurs - les fruits - les graines

Les fleurs sont les organes de reproduction sexuée des plantes, elles proviennent de la ramification d'un rameau. Après fécondation, la fleur donne naissance à un fruit ou à une graine. La disposition générale des fleurs sur la tige représente l'inflorescence.

Une graine provient de la transformation d'un ovule fécondé : grain de maïs - grain de haricot - pépin d'orange.

Un fruit provient de la transformation de l'ovaire contenant lui-même un ou plusieurs ovules fécondés. Il contient donc plusieurs graines (pépins, fèves dans une cabosse de cacao, graines dans une gousse de haricot) ou une seule graine (noyau de mangue).

Cas particulier : certains fruits se développent sans graines, ils sont parthénocarpiques : c'est le cas de la majorité des variétés de bananes.

La matière sèche des fruits et des graines ne résulte pas uniquement de la photosynthèse ayant lieu après la floraison, mais aussi de la migration de réserves constituées avant et stockées dans les autres organes.

DEUX MODES DE MULTIPLICATION

On distingue deux grands modes de multiplication des plantes, qui ont des conséquences importantes pour le paysan :
• l'utilisation de semences issues de la reproduction sexuée : *les graines*,
• l'utilisation de semences *végétatives*, qui sont des morceaux de tiges, de racines ou de tubercules.

Multiplication par voie sexuée : les graines

C'est le cas des céréales (riz, maïs, sorgho) et des légumineuses vivrières (pois, pois congo, pois inconnu).
Dans ce cas, les semences pour la culture suivante sont prélevées sur la récolte et doivent être conservées dans les meilleures conditions possibles. Parfois, pour des raisons économiques, un paysan est obligé de vendre la totalité de sa récolte. Lors de la mise en culture suivante, il doit alors acheter de nouvelles semences lorsque les prix sont très élevés ; pour cette raison, les densités de semis sont parfois trop faibles.
Par exemple, le paysan du plateau des Rochelois recherche des variétés de haricots à petites graines pour réduire ses coûts de production. En effet, plus les graines sont petites, plus le poids de semences nécessaire est faible pour une densité donnée. Les problèmes auxquels sont confrontés les paysans en matière de semences sont leur prix et leur qualité, liée au mode de conservation.

Le choix des graines lors de la récolte est très important car certaines maladies sont transmissibles par les semences : c'est le cas de l'anthracnose pour le haricot et de la pyriculariose pour le riz. Une mauvaise conservation des semences (humidité, parasites) se traduit par une mauvaise germination et une chute de rendement de la culture suivante.

• **La germination des graines**

Pour germer, une graine doit être en état physiologique correct (par exemple ne pas être en *dormance*) et a besoin :
. d'eau ; c'est l'imbibition qui déclenche la germination,
. d'oxygène,
. d'une certaine température.

La quantité d'eau que doit absorber une graine pour germer dépend des espèces. L'imbibition est plus ou moins rapide selon la nature des *téguments* de la graine. Pour la faciliter on utilise, dans certains cas, la technique de prégermination qui consiste à tremper les graines dans l'eau avant le semis (trempage de 24 h pour le riz par exemple).

Pour chaque espèce, il existe une température minimale et maximale de germination. Dans cet intervalle, la vitesse de germination varie avec un optimum thermique. En Haïti, la température est très rarement un facteur limitant. En revanche, l'eau en est un dans les régions à faible pluviométrie.

Cas particulier : lorsque la maturation des graines en fin de culture se passe en conditions très humides, il arrive qu'elles germent sur pied avant la récolte. C'est le cas, parfois, du haricot ou du maïs en altitude durant la saison pluvieuse.

Figure 77 : évolution du pouvoir germinatif de deux lots de semences de haricots de variétés différentes au cours du temps.

VARIÉTÉS	POUVOIR GERMINATIF		
	1 mois après la récolte	4 mois après la récolte	8 mois après la récolte
Salagnac 92	96%	83%	58%
Salagnac 86	76%	63%	60%

La germination dépend de la qualité des semences: la capacité d'une graine à germer s'appelle le pouvoir germinatif. Il décroit avec le temps et il sera toujours préférable d'utiliser des semences issues de la récolte précédente plutôt que de vieilles semences.

• **La qualité des semences.** Pour avoir des semences de bonne qualité il faut:
. Choisir les plantes sur lesquelles on les récolte en fonction des caractéristiques recherchées (rendement - résistances aux maladies). C'est sur ce principe de sélection «massale» qu'ont été sélectionnées à Salagnac des variétés de haricots résistants à l'oïdium.
. Récolter les graines lorsqu'elles ont atteint leur maturité physiologique qui correspond à la fin du développement de l'embryon. Les graines non mûres n'ont pas accumulées suffisamment de réserves pour nourrir correctement la jeune plantule.
. Trier les graines indemnes de maladie (exemple: anthracnose du haricot visible sur la graine).
. Sécher correctement les graines. Leur taux d'humidité doit être inférieur à 15 % afin d'éviter le développement des moisissures et les attaques d'insectes.
. Stocker les graines dans de bonnes conditions: à l'abri de l'humidité et des parasites (insectes - rats).

• **Les conditions de semis.** Les exigences de la germination définissent les conditions dans lesquelles doivent se trouver les graines après le semis:
. la structure du sol doit permettre à la fois une bonne aération et un bon contact

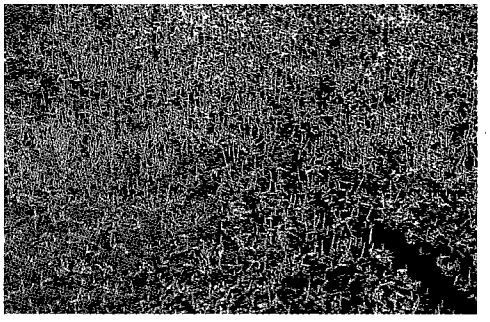


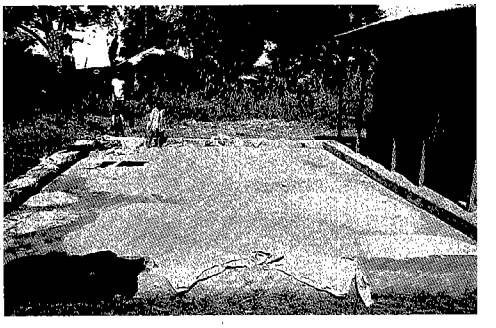
La cabosse, fruit du cacaoyer, contient plusieurs graines ou "fèves". Chaque fève est issue d'un ovule fécondé (photo G. de Laubier).



Les patates douces sont des racines tubérisées (photo G. de Laubier).

Germination de grains de riz en pépinière irriguée (photo M. Bonnefoy).





Pour une bonne conservation des grains, il est nécessaire de les faire sécher correctement. Séchage du riz sur glacis dans la Plaine du Nord (photo D. Mermet).

Les conditions de stockage des grains jouent sur leur qualité alimentaire et leur pouvoir germinatif. Colombier pour le stockage du sorgho, plateau central, 1987 (photo D. Mermet).





Les jeunes plants de riz produits en pépinière sont repiqués dans les parcelles irriguées entre 20 et 30 jours (photo M. Bonnefoy).

Jeunes plants d'arbres destinés au reboisement des versants érodés (photo J. Cavalie).



entre la terre et la graine; la taille des mottes du lit de semence est donc à adapter en fonction de la taille des graines. Dans un sol battant il faudra choisir un bon compromis entre un lit de semence très fin et un risque de battance,
• l'humidité de la terre doit être suffisante pour l'imbibition,
• la graine doit être placée à la bonne profondeur qui se raisonne en fonction du climat.
Dans certains cas, le paysan doit attendre une pluie suffisamment importante pour semer car le sol est trop sec; c'est le climat qui détermine alors la date de semis. Parfois, ce sont, au contraire, les excès d'eau qui sont à craindre (sols hydromorphes, zones inondables) car ils provoquent une asphyxie des graines.

Mesure du pouvoir germinatif d'un lot de semences

• On prend dans le sac de semences, 100 graines choisies en différents endroits (pour avoir un échantillon représentatif car souvent les conditions de conservation sont moins bonnes au fond du sac).

• On étale ces semences au fond d'une assiette sur un morceau de tissu (ou coton) régulièrement imbibé d'eau (sans excès, les graines ayant besoin d'oxygène).

• Au bout de quelques jours, on vérifie le nombre de graines germées: si l'on trouve 85 graines germées le pouvoir germinatif est de 85 %.

Cela permet :

• de vérifier, ou de comparer différentes conditions de conservation des semences,

• d'ajuster la quantité de graines à semer pour obtenir la densité de plantes désirée,

• si l'on constate une mauvaise levée, de l'attribuer soit aux graines elles-mêmes, soit aux conditions de germination (sol, techniques, climat).

• **Cas particuliers**
L'utilisation de plants: pour le riz irrigué et de nombreuses plantes maraîchères (tomates - choux - tabac, ...) l'implantation de la culture se fait en deux étapes:
• les graines sont semées avec une forte densité et sur une petite surface : *la pépinière,*
• ensuite, les jeunes plants sont arrachés et transplantés sur la parcelle réservée à la culture.

Cette méthode permet de mieux maîtriser les conditions de germination; ce qui est particulièrement important pour les semences maraîchères qui sont très petites. Cela permet aussi de mieux contrôler les densités et d'économiser de la surface en réduisant le temps de présence de la culture sur la parcelle. On utilise cette méthode également pour la productiond'arbres.

Dans le cas de variétés hybrides, obtenues par croisement de variétés différentes (certaines variétés de maïs par exemple) ; le paysan ne peut pas utiliser une part de sa récolte comme semence car les plantes issues de ces graines perdent les caractères génétiques obtenus par hybridation.

Multiplication végétative

Pour multiplier de nombreuses espèces, on utilise différents organes de la plante:
• morceaux de tiges pour le manioc ou la patate douce,
• rejet de bananier,
• morceaux de tubercules pour l'igname et le taro.

La plante obtenue possède exactement les mêmes caractères génétiques que la plante mère sur laquelle on a prélevé la bouture (ou le tubercule). Comme il n'y a pas de fécondation, il ne peut donc y avoir aucun croisement entre individus de caractères différents.

L'ensemble des plantes obtenues à partir d'une seule plante constitue ce qu'on appelle un *clone.* Toutes les plantes d'un même clone ont un parent unique dont ils portent les caractères. Mais, après un grand nombre de multiplications, un clone peut se montrer hétérogène car il peut se produire des mutations dans certains bourgeons.

Ce mode de reproduction a plusieurs conséquences:
• les risques de transmission des maladies sont très grands, en particulier pour les maladies virales. C'est le cas de la mosaïque du manioc transmise par les boutures d'une génération à l'autre. Il est donc nécessaire de prélever le matériel végétal de reproduction sur des plantes saines,
• la qualité des organes récoltés est importante, elle conditionne la croissance et le développement de la future plante dans la première partie de sa vie et détermine en partie le rendement. Les réserves nécessaires à une bonne reprise doivent être importantes (taille des boutures de manioc ou de taros),
• Les boutures sont souvent prélevées au moment de la mise en culture et ne posent pas de problèmes de conservation comme pour les grains.

La reprise des boutures

La qualité des boutures, qui dépend des conditions du milieu qu'elles ont subies durant leur formation sur la plante-mère, est très importante. Elle doivent être sur des plantes saines, ayant fourni une bonne production. Cette sélection est facile à opérer par les paysans. Comme les graines, les semences végétatives ont besoin, pour avoir une bonne reprise, de chaleur, d'humidité, et d'oxygène. De façon générale, elles sont moins exigeantes que les graines car elles possèdent des réserves plus importantes.

Prenons quelques exemples:
• les boutures de patate ont besoin d'humidité et sont généralement plantées après une bonne pluie,
• les boutures de manioc résistent bien à un manque d'eau. Elles sont parfois plantées en conditions sèches. Mais, après la reprise, l'alimentation en eau durant les deux premiers mois de végétation doit être régulière. Lors de la reprise, la plante vit uniquement sur ses réserves et la taille des boutures est déterminante,
• pour l'igname, la qualité de la bouture dépend aussi de sa taille, du nombre d'yeux et de la partie du tubercule choisie comme plant.



Plantation d'une bouture de patate douce (photo G. de Laubier)

QU'EST-CE QUE LE RENDEMENT ?

D'une manière générale, le rendement est la quantité d'organes récoltés par le paysan par unité de surface. Cette notion est nécessaire mais insuffisante pour porter un jugement sur la production d'une parcelle.

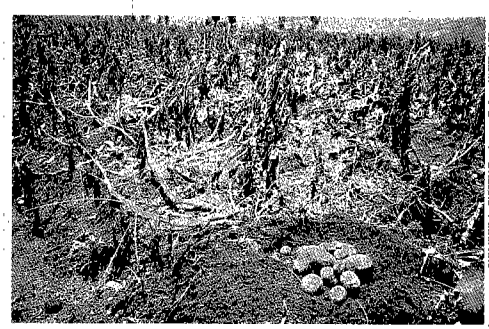
LES ORGANES RECOLTES

Voici pour quelques plantes la nature des organes récoltés:
• **graines:** c'est le cas des légumineuses vivrières telles que le haricot, la pistache, le *pois congo* dont le fruit est la gousse,
• **fruits:** on distingue les fruits secs tels que les grains de céréales; les fruits charnus comme la mangue, l'avocat, la banane, la tomate,
• **tiges et feuilles:** c'est le cas des fourrages et des plantes qui y accumulent leurs réserves: feuilles pour les choux et les oignons, tiges pour la pomme de terre et la canne à sucre,
• **racines:** les racines tubérisées comme celles du manioc et de la patate douce; les racines de vétiver dont l'essence est utilisée en parfumerie,
• **fleurs:** chou-fleur dont on récolte le bouton floral.
La nature de ces organes détermine les modes de récolte et de stockage.

Pour certaines plantes, les organes récoltés sont différents de ceux qui servent à la multiplication, pour d'autres ce sont les mêmes:
• lorsque les organes récoltés sont aussi les semences pour la culture suivante, le paysan doit garder une partie de sa récolte. C'est le cas des céréales, des légumineuses alimentaires et de l'igname dont on sème des morceaux de tubercules. Pour beaucoup de paysans haïtiens, trouver les semences nécessaires à la culture est un problème important,
• pour d'autres espèces comme le manioc, la patate douce, le bananier, le paysan peut vendre ou consommer toute sa récolte sans que cela ait une incidence sur la culture suivante. Il trouvera dans ses parcelles les boutures ou rejets dont il aura besoin.
• **Les organes non récoltés sont des sous-produits**, mais ont toujours une utilité particulière:
. les pailles de céréales, les fanes de haricots, sont souvent destinées à l'alimentation des animaux,
. les organes non utilisés et qui restent sur la parcelle restituent au sol de la matière organique. Lorsqu'elles sont brûlées, les cendres participent à l'alimen-tation minérale de la culture suivante.

Stade de récolte maturité

La maturité à la récolte de certains organes détermine leur qualité qui peut avoir une incidence sur la commercialisation. C'est le cas des fruits et légumes en général. C'est vrai aussi pour la canne à sucre pour laquelle on recherche une bonne teneur en sucre.





Récolte de pommes de terre sur le plateau des Rochelois.

Récolte du vigna (*pois connu*) dans le Nord-Est (photos D. Mermet).

La période de récolte est plus ou moins longue selon les espèces. Prenons quelques exemples.

• Pour le riz et la plupart des céréales, la récolte se fait en quelques jours et, dès que les grains sont mûrs, ils sont récoltés pour éviter les attaques d'oiseaux. Cependant, il est nécessaire pour certaines variétés (populations de maïs ; riz dont les talles mûrissent après les brins maîtres) d'effectuer plusieurs récoltes, espacées de quelques jours à quelques semaines.

• Par contre, pour certaines variétés de patate douce ou de manioc, les périodes de récolte sont longues. Les tubercules peuvent rester en terre longtemps (plus d'un an pour certaines variétés de manioc) sans s'abîmer. Cela permet aux paysans de récolter au fur et à mesure de leurs besoins et de garder des réserves sur leurs parcelles.

LES MESURES DU RENDEMENT

Au niveau de son exploitation agricole, le paysan s'intéresse à l'ensemble de ses productions animales et végétales. Celles-ci constituent son revenu monétaire et l'alimentation de sa famille, ou y participent s'il a d'autres sources de revenu.

Le rendement agricole

Au niveau de chacune des parcelles, le rendement est la production récoltée par rapport à la surface de la parcelle considérée. Ainsi, lorsqu'on calcule le rendement, on détermine la production produite sur une surface standard : un hectare ou un carreau. Cela permet de comparer les niveaux de production atteints dans différentes situations.

Le rendement agricole d'une parcelle est le poids d'organes récoltés (grains de riz par exemple) sur la surface de la parcelle.

• Sur une parcelle de riz, un paysan a récolté cinq "*chaj*" de paddy. Une "*chaj*" représente ce qui est chargé sur le dos d'un mulet soit deux sacs d'environ 60 kg chacun, ainsi : une "*chaj*" : 120 kg ; cinq "*chaj*" : **600 kg**, soit **6 quintaux**.

• La parcelle a une surface de 2500 m². Un hectare équivaut à 10.000 m². Un carreau équivaut à 1,29 ha soit 12.900 m². Le rendement agricole de cette parcelle est de :

6 x 10.000/2.500 = 24 quintaux par hectare (q/ha)

ou : 6 x 12.900/2.500 = 31 quintaux par carreau (q/c).

• Mais, le rendement agricole n'exprime pas la production réelle de la culture puisqu'il ne tient pas compte des pertes (grains tombés lors de la récolte, mangés par les oiseaux) qui peuvent parfois être importantes.

. Il exprime une *moyenne* qui ne permet pas de mettre en évidence les variations de rendement entre les différents points de la parcelle.

. Sa mesure précise nécessite de connaître exactement le poids de chaque sac et la surface exacte de la parcelle. Ceci est rarement réalisé bien qu'il soit important de bien connaître les niveaux de production de chaque culture dans une région.

Le rendement biologique

Le rendement biologique est la quantité d'organes réellement produits par une culture sur une surface donnée, une parcelle ou une partie de parcelle.

C'est le rendement que l'on mesure lors d'expérimentations agronomiques en station ou dans des parcelles paysannes en faisant des **carrés de rendement**.

Un carré de rendement est facile à réaliser comme le montre l'exemple suivant :

• dans une parcelle de riz pluvial par exemple, on mesure un carré d'un mètre de côté, soit une surface d'1 m² que l'on matérialise par une corde et quatre piquets. On récolte délicatement les épis de tous les pieds situés dans ce carré et on les bat soigneusement ;

• si le poids de grains obtenus est de 250 g, cela correspond à un rendement de 25 q/ha. En effet, 250 g = 0,25 kg = 0,25/100 quintaux, et 1 ha = 10.000 m².

Le rendement est donc de :

(0,25/100) x 10.000 = 25 q/ha soit 32,25 q/c.

Lors de la réalisation d'un carré de rendement, de nombreuses autres mesures sur les plantes et le milieu peuvent être réalisées.



Séchage du riz récolté dans différents carrés de rendement, Grison Garde 1988 (photo D. Mermet).

• Taille du carré de rendement

Le choix de la taille du carré de rendement à réaliser se fait selon la densité, c'est-à-dire selon le nombre de plantes par unité de surface. Il faut qu'il y ait dans le carré un minimum de cinquante pieds (ou poquets) et jusqu'à deux cents s'il existe une grande variabilité.

. Riz pluvial : les densités pratiquées sont élevées et peuvent dépasser 100 pieds par mètre carré. Un carré de 1 m² (1 m x 1 m) suffit. On prendra un carré plus grand (4 m²) lorsque la densité sera faible (<50 pds) et hétérogène.
. Maïs, sorgho : les densités sont extrêmement variables (5000 à 50.000 pieds/ha pour le maïs) : une densité de 30.000 pieds/ha correspond à 3 pieds par m², il faut donc 50/3 = 17,6 m² pour avoir 50 pieds.
On prendra un carré de 5 m x 5 m soir 25 m² dans lequel on aura 75 pieds.
Pour une densité de 10.000 pieds/ha, il faut faire un carré de 50 m² pour avoir 50 pieds.

En cultures associées, les carrés doivent être au minimum de 25 m², les densités de certaines espèces étant faibles.

Le rendement obtenu lors de la réalisation d'un carré de rendement ne correspond jamais au rendement agricole pour plusieurs raisons :
. il n'y a pas de pertes à la récolte,
. le rendement varie d'un endroit à l'autre de la même parcelle car les facteurs du rendement ne sont pas les mêmes :
- la profondeur et la nature du sol,
- les densités,
- les techniques culturales pratiquées,
- la date de réalisation de ces techniques,
- le matériel végétal utilisé.

• Localisation et nombre des carrés de rendement

Lorsque l'on réalise un diagnostic sur une culture dans une petite région, on est amené à comparer les rendements obtenus dans différentes parcelles.
Pour que la comparaison entre deux parcelles aboutisse à des conclusions, il faut que :

• le nombre de facteurs variant d'une parcelle à l'autre soit limité. Il est conseillé pour cela de choisir les parcelles par couple au sein duquel un seul facteur varie (par exemple deux parcelles ayant subi les mêmes itinéraires techniques mais avec deux types de terrains différents),
• les parcelles choisies soient aussi homogènes que possible car, si la variabilité du rendement est plus importante à l'intérieur de la parcelle qu'entre les différentes parcelles étudiées, aucune conclusion ne pourra en être déduite.

Lorsqu'une parcelle est hétérogène, on la divise en plusieurs petites surfaces plus homogènes appelées *stations*. La réalisation de carrés de rendement sur chaque station d'une même parcelle permet de *comparer* des situations où un seul facteur varie.
Ces comparaisons permettent de porter un jugement sur les techniques utilisées ou sur des différences de milieu (par exemple, bas de pente et haut de pente).
Dans chaque station ou parcelle homogène, N carrés de rendement doivent être réalisés. Pour être représentatifs, ces carrés de rendement sont choisis au hasard (par exemple, par tirage au sort de N endroits à partir d'un quadrillage préalable de la station). Le nombre N dépend de la culture étudiée, des observations à réaliser et de la taille de la station (2 à 5 carrés de 1 m² pour le riz).

Le rendement des associations de cultures

L'association de plusieurs espèces différentes est pratiquée par tous les paysans haïtiens. cette pratique complique beaucoup l'interprétation des rendements et leur comparaison (on ne peut pas additionner des productions d'espèces différentes !). Les méthodes doivent être adaptées à chaque type d'association.

LA VARIABILITÉ DU RENDEMENT

Variabilité dans l'espace

Pour la même saison de culture, les rendements sont différents d'une parcelle à l'autre, d'une région à l'autre. Ces variations sont dues à des différences de milieu (climat, sol, topographie, attaques de parasites) ou de techniques (dates de semis ou de sarclage différentes par exemple). Ces variations peuvent aussi exister au sein de la même parcelle.

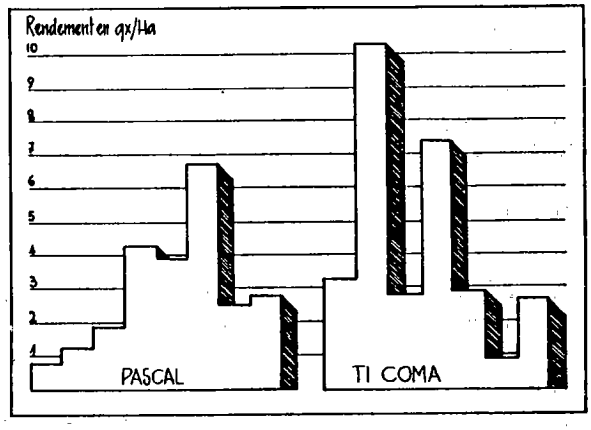


Figure 78 : rendements mesurés sur 15 parcelles paysannes de maïs semées en avril et récoltées en juillet 1985, dans 2 villages de la Plaine d'Aquin.



Dans les associations de cultures, l'interprétation des rendements est plus difficile, maïs et vigna dans la Plaine du Nord (photo D. Mermet).

Variabilité dans le temps

Sur la même parcelle, avec les mêmes techniques et les mêmes variétés, les rendements changent d'une année à l'autre. Cela est essentiellement dû aux conditions climatiques (auxquelles sont liées aussi certaines attaques parasitaires) et aux interactions techniques-milieu dont le résultat dépend du climat.

N° Parcelle	Rdt 1979	Rdt 1980	Rdt 1981
Cléo 1	20,7	4,2	8,3
Cléo 2	18,8	2,6	3,1
Admon 1	6,0	14,7	5,4
Porismé 1	8,7	0	6,9
Porismé 2	6,5	9,0	2,1
Fritz 1	10,8	10,9	4,7
Fritz 2	5,5	6,7	2,9

L'APPRÉCIATION DU RENDEMENT PAR LE PAYSAN

L'agriculteur apprécie le résultat d'une culture en fonction des *objectifs* qu'il a assignés à cette culture. Ces objectifs peuvent être atteints avec des rendements différents et des coûts de production différents. Dans l'appréciation du rendement, l'agriculteur tient compte en particulier :
- de la destination de la production,
- des moyens de production mis en oeuvre.

Destination de la production

- Dans les zones non irriguées de la plaine de l'Artibonite, l'association patate-*pois congo* est assez fréquente. La patate est destinée à la vente, expédiée en sacs à Port-au-Prince. Dans ce cas, le paysan cherche à ce que toutes les patates arrivent à maturité en même temps et ne plante donc qu'une seule variété. Le *pois congo* est autoconsommé.
- Dans les mornes d'altitude, on cultive surtout la patate douce pour l'alimentation de la famille. Le paysan cherche alors à étaler ses récoltes et plante un mélange de variétés de diverses précocités (jusqu'à 10 variétés).
- L'opération qui consiste à récolter tous les tubercules en même temps est désignée: «*Batpatat*». Celle qui consiste à récolter au fur et à mesure des besoins est désignée: «*fouyé patat*».

La présence sur un même champ d'espèces et de variétés à cycles de diverses durées répond aux objectifs de la plupart des paysans pour de nombreuses cultures:
- étaler au maximum les récoltes dans le temps,
- répartir les pointes de travail,
- résoudre en partie les problèmes de stockage.

L'amélioration génétique, ou l'introduction de nouvelles variétés (ou espèces) dans une région doivent en tenir compte.

Certaines espèces sont cultivées à la fois pour la vente et pour l'autoconsommation ; la part de la récolte qui est vendue est alors déterminée par les besoins monétaires du moment (médicaments, écoles...). Les productions peuvent avoir d'autres buts :
- alimentation animale,
- engrais vert,
- production de plants ou de semences,
- production artisanale (bois),
- conservation des sols.

Certaines peuvent avoir plusieurs destinations.

Productivité des moyens de production

Ce n'est pas toujours le rendement, en terme de production par unité de surface, qui intéresse le paysan. Pour le *pois*, par exemple, il mesure la productivité des semences qu'il a investies:
«x marmites de semences me donne y marmites de *pois* à la récolte».
C'est alors le rapport x/y : récolte sur semences utilisées qui est important et significatif pour lui. ceci est d'autant plus vrai que le prix des semences est élevé et qu'il y a des terres disponibles.

On peut aussi mesurer le rendement en fonction :
- du rendement de la main-d'œuvre,
- du rendement de l'engrais ou de l'eau : on parle alors plutôt d'efficience ou d'efficacité.

Rendement sur les parcelles en métayage

Quand un paysan prend une parcelle en métayage; une part de la production revient au propriétaire. Dans ce cas, le rendement des moyens qu'il investit dans la mise en culture est plus faible que pour une parcelle qui lui appartient. Par exemple, un paysan investit 100 heures de travail dans une parcelle dont la production récoltée a une valeur marchande de 100 gourdes. Si la parcelle lui appartient, il peut vendre toute la récolte. Il obtient ainsi 100 gourdes et la rémunération de son travail est de 1 gourde de l'heure. En revanche, s'il a pris une parcelle en métayage, seule la moitié de la récolte lui appartient et sa vente ne lui

rapporte que 50 gourdes. Dans ce cas, la rémunération de son travail est de 0,5 gourde de l'heure soit deux fois moindre (les rendements par unité de surface sont identiques).
La notion de productivité des moyens de production est importante car elle conditionne en permanence les choix techniques que font les paysans.: *«si je mets cinq marmites d'engrais dans mon jardin, combien de marmites de pois supplémentaires cela va-t-il me rapporter ?».*

L'ANALYSE DES COMPOSANTES DU RENDEMENT

Le rendement ne permet qu'un jugement global de la culture, correspondant à son état final, et l'on peut obtenir le même rendement avec des techniques très différentes. Or, le rendement est la résultante des interactions qui se sont établies entre le sol, le climat et les plantes tout au long du cycle de la culture.
Lors d'un diagnostic, l'intérêt est d'analyser la façon dont le rendement a été obtenu, de comprendre ce qui s'est passé sur la parcelle durant la culture. Dans cet esprit, la décomposition du rendement en plusieurs composantes, participant l'une après l'autre à son élaboration, est d'une grande utilité.
Nous pouvons décomposer par exemple le rendement du riz comme suit. Il est égal :
- au poids des grains/m^2
- ou au nombre de grains/m^2 x poids moyen d'un grain
- ou au nombre de pieds/m^2 x nombre d'épis/pied x nombre de grains/épi x poids d'un grain.

Chacune de ces composantes est déterminée à une période définie du cycle et constitue donc un témoin de ce qui s'est passé durant cette période.
L'analyse des composantes du rendement sur une parcelle permet de retracer, en quelque sorte, l'histoire de la culture ; de rechercher les éléments qui ont été déterminants durant telle période du cycle et qui ont donc limité la valeur de telle composante.
Cette méthode de diagnostic est aussi bien adaptée aux parcelles expérimentales qu'aux parcelles paysannes.

Très souvent, la seule comparaison du rendement entre les parcelles ne permet pas d'émettre une conclusion car **il n'existe aucune liaison directe entre une technique et un rendement.**
Les techniques employées modifient l'état du milieu et le rendent plus ou moins favorable à la culture en place. Les effets d'une même technique sont variables selon les conditions de climat et les interactions avec le sol. Les relations à étudier sont donc du type :

Techniques x Milieu ⟶ Composantes du rendement

ou:

Techniques ⟶ Etat du milieu ⟶ composantes du rendement
↑ climat ; ↑ climat

L'analyse de ces relations nécessite d'une part une bonne connaissance de la plante considérée, de ses besoins et de son processus d'élaboration du rendement et, d'autre part, un suivi de la culture et des états du milieu en fonction des techniques appliquées.
Ainsi, par un suivi minimal des parcelles des agriculteurs, complété par des enquêtes sur les techniques culturales, on peut aboutir à :
- une identification des problèmes rencontrés au niveau de la parcelle. Mettre en évidence le ou les facteurs qui limitent telle composante du rendement ;
- une comparaison des effets de différentes techniques et à discuter leur choix. Il faut alors pouvoir faire la part des effets propres de ces techniques et de leurs interactions avec le milieu et les autres techniques ;
- une hiérarchisation des facteurs limitants les rendements d'une culture au niveau d'une petite région (climat, sol, techniques);
- une prévision des effets possibles de l'introduction de nouvelles techniques. A partir de cette analyse, des solutions adaptées aux problèmes identifiés et aux techniques employées peuvent être recherchées.

Croissance et développement des plantes cultivées

LA VIE D'UNE PLANTE

LES TROIS PHASES DE LA VIE D'UNE PLANTE

On distingue :
• une première période durant laquelle la plante se ramifie, multiplie ses organes végétatifs : tiges, feuilles, racines, c'est la *période végétative*,
• ensuite, la plante fabrique les organes dans lesquels la matière sèche s'accumulera ultérieurement, c'est la *période reproductrice*,
• enfin, la plante accumule de la matière sèche dans les organes fabriqués précédemment, c'est la *période de remplissage des grains* pour les céréales et légumineuses; elle débute après la floraison et fécondation.

Le début de la période reproductrice n'entraîne pas forcément l'arrêt de la production d'organes végétatifs. Ainsi on distingue:
• les plantes déterminées pour lesquelles la période végétative et la période reproductrice ne se chevauchent pas comme par exemple le maïs,
• les plantes indéterminées pour lesquelles durant une partie de leur cycle les trois périodes se chevauchent. C'est le cas des légumineuses où on distingue en début de cycle une *période végétative stricte* puis une période *végétative et reproductrice*.

Le maïs

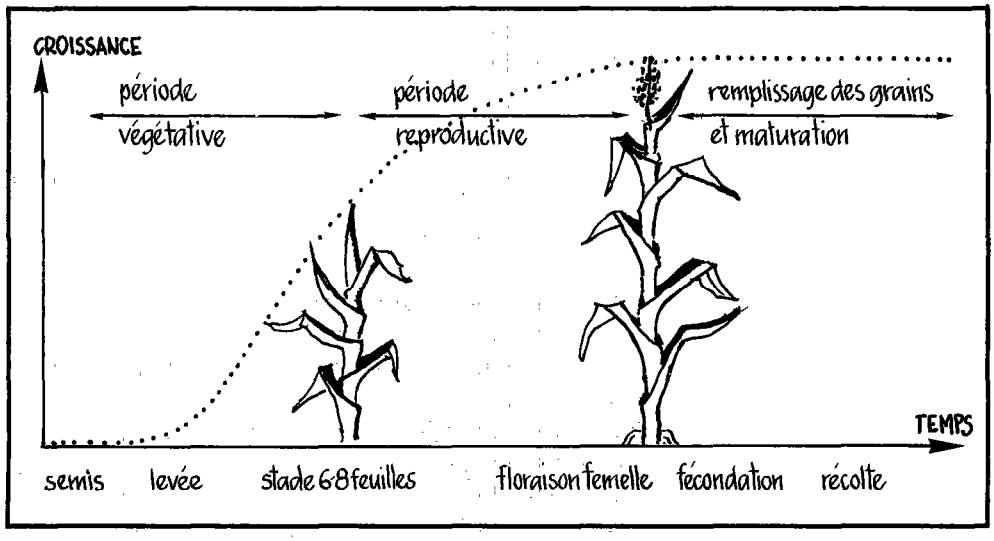


Figure 79 : le cycle végétatif et reproducteur du maïs.

NB : Durant la période reproductrice, les organes reproducteurs sont fabriqués mais ne sont pas visibles. Ils n'apparaissent qu'à la floraison. La fécondation qui suit immédiatement la floraison, marque la fin de la période reproductrice et le début de la période de remplissage du grain.

Le manioc

Dans le cas des plantes à tubercules, la floraison a peu d'importance. Pour le manioc, les organes dans lesquels s'accumulent les réserves sont des racines qui tubérisent. C'est cette période de tubérisation qu'il faut considérer et qui suit la période végétative.
Le début de la période reproductrice n'entraine par l'arrêt de la production d'organes végétatifs; il y a chevauchement des deux périodes. Ainsi, durant le remplissage des tubercules, la plante continue d'émettre de nouvelles feuilles.

On distingue quatre phases principales dans le développement du manioc :

• **La reprise** : c'est une phase relativement courte (3 semaines) caractérisée par l'émission des premières racines et le départ du ou des bourgeons végétatifs de la bouture.

• **L'installation** : durant cette phase qui dure 1 mois à 1 mois et demi, la plante vit principalement de ses réserves, la croissance des racines est beaucoup plus rapide que celle des tiges et feuilles.

• **Développement aérien** : c'est une période de multiplication et de croissance active des tiges et des feuilles. On considère que cette phase prend fin lorsque la plante a atteint sa surface foliaire maximum (nombre et taille des feuilles). Cette phase dure 1 mois et demi à 2 mois.

• **Développement des tubercules** : à trois ou quatre mois, la plante n'augmente plus son nombre de feuilles mais les remplace régulièrement. Trois à cinq tubercules se mettent à grossir; leur croissance diminue six à huit mois après la plantation. Après deux ans, les tubercules peuvent se lignifier et pourrir.

LA DURÉE DE VIE DES PLANTES

On distingue deux types de plantes :

• **les plantes annuelles** dont la vie se termine après la première floraison et fructification. Ce sont les plantes dites saisonnières dont le cycle varie de quelques mois à 1 an. C'est la cas des céréales (riz - maïs) et des petites légumineuses (haricots; pois inconnu; arachide).

• **les plantes pluriannuelles** (on dit aussi vivaces ou pérennes). Leur vie comporte plusieurs floraisons et fructifications; c'est le cas de tous les arbres et de nombreuses plantes telles que la canne à sucre, le piment, le sisal, le vétiver. Certaines plantes, ou variétés de plantes, sont cultivées comme des plantes annuelles alors qu'elles sont pérennes à l'état sauvage : le manioc, la patate douce sont des plantes vivaces dont on interrompt la vie par la récolte qui nécessite l'arrachage de la plante. Le *pois congo*, souvent cultivé comme plante annuelle, peut fournir une récolte plusieurs années de suite si les conditions de milieu sont favorables. Le temps qui s'écoule entre le semis ou la plantation et la dernière récolte est le cycle cultural, il peut être différent de la durée de vie des plantes.

Dans la vie d'une plante on distingue : sa croissance qui est son accroissement en taille et en poids et son développement qui correspond à l'initiation et l'apparition de nouveaux organes.

Croissance et développement ne doivent pas être confondus. Leurs significations agronomiques sont très différentes; par exemple :
• un déficit hydrique ralentit la croissance, mais pas le développement. (Sauf cas extrême : mort de la plante),
• une température supérieure à la température optimale de végétation peut ralentir la croissance mais pas le développement,
• la croissance est proportionnelle aux facteurs de croissance (à l'assimilation nette), le développement à la température et/ou la photopériode.

LA CROISSANCE DES PLANTES CULTIVÉES

QU'EST-CE QUE LA CROISSANCE ?

La croissance est l'augmentation en dimension de la plante. Elle résulte de deux phénomènes : l'augmentation en dimension de chacun des organes après leur initiation, et celle du nombre des organes de la plante (nombre de feuilles par tige, nombre de tiges par pied). C'est en fait une *production de matière sèche.*

La production de matière sèche : l'assimilation nette

La quantité de matière sèche produite par un végétal est le résultat d'un bilan entre la photosynthèse et la respiration (voir page 181). C'est *l'assimilation nette.* Lorsque la quantité de matière sèche produite par la photosynthèse est supérieure à celle qui est dégradée par la respiration, *l'assimilation nette est positive* : il y a *croissance.*

Maïs et manioc cultivés en association

La croissance d'un pied de maïs peut être estimé par sa hauteur et le diamètre de sa tige à la base (photos G. de Laubier).





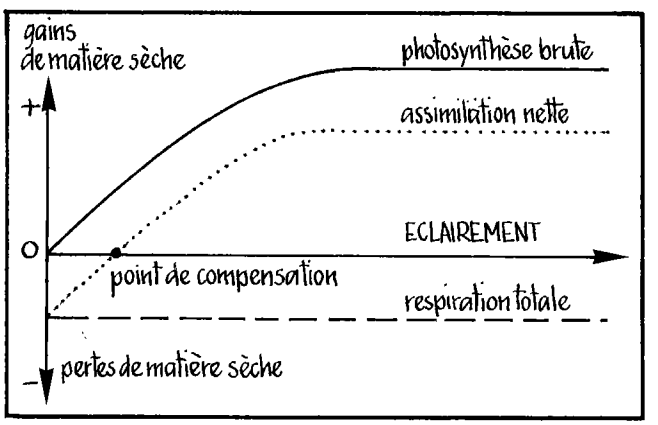
(Matière sèche produite par la photosynthèse)
- (Pertes de matière sèche par respiration)

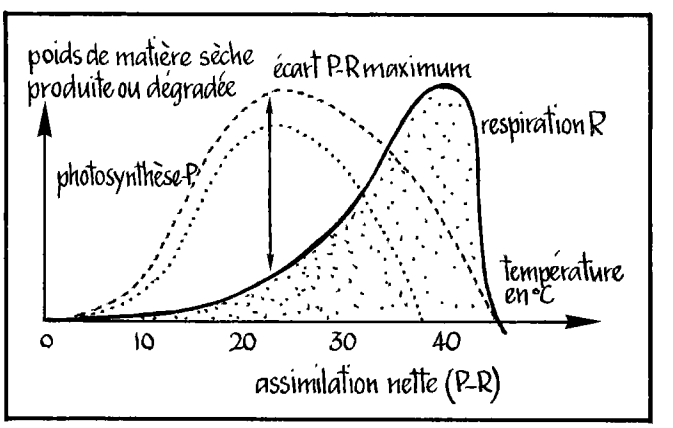
= (matière sèche réellement produite)
= assimilation nette (ou photosynthèse nette)

La respiration est continue alors que la photosynthèse n'a lieu que le jour et varie en fonction de l'éclairement comme le montre la figure 80 ; un éclairement minimum est nécessaire pour que l'assimilation nette soit positive (point de compensation).

Figure 80 : l'assimilation nette varie avec l'éclairement.

Figure 81 : effet de la température sur la production de matière sèche de la tomate (d'après Bierhuizen, 1973).





Action de la température sur l'assimilation nette

La photosynthèse et la respiration varient en fonction de la température avec des optima thermiques différents pour ces deux activités.
La respiration est plus sensible aux variations de température et son optimum thermique est (pour la plupart des plantes) plus élevé que celui de la photosynthèse.
Il existe donc une température pour laquelle l'assimilation nette est maximale : c'est la température à laquelle l'écart entre la photosynthèse et la respiration est le plus grand (voir la figure 81).

La mesure de la croissance

La croissance d'une plante se mesure de différentes façons, mais dans tous les cas c'est la quantité de *matière sèche produite* que l'on cherche à déterminer, directement ou indirectement :

• **Mesure directe de la matière produite :**
. soit on pèse la matière sèche; mais il faut que les plantes récoltées soient correctement séchées, ce qui est délicat pour des quantités importantes,
. soit on pèse la matière verte récoltée et on en déduit le poids en matière sèche. On sèche alors à l'étuve un échantillon des plantes que l'on pèse avant et après. Le rapport poids sec/poids humide obtenu est le taux qu'il faut appliquer au poids de matière verte pour connaître le poids de matière sèche. On ne peut pas comparer des poids de matières vertes. Mais cette méthode est destructive et pose de ce fait souvent problème car : les plantes n'existent plus pour des mesures ultérieures.

• **Mesure indirecte de la matière sèche produite :**
. On mesure la hauteur de la plante, et son diamètre à la base et on applique à ces mesures une formule de regression permettant d'en déduire le poids de matière sèche. Ces dimensions sont corrélées à la matière sèche des parties aériennes jusqu'à la floraison. Cette méthode permet de faire plusieurs mesures sur les mêmes plantes mais nécessite que les corrélations aient été établies auparavant en station par mesures directes.

A Petite Rivière de Nippes, des formules de régression du type :
log (matière sèche) = a + b log (hauteur) + C log (diamètre),
ont été mises au point pour étudier la croissance de certaines variétés de maïs, sorgho et *pois congo*. Une formule ne peut être utilisée que pour la variété et les conditions de milieu pour lesquelles elle a été mise au point.

Une mesure de croissance en fonction du temps permet de déterminer une vitesse de croissance et d'établir une courbe de croissance qui servira au diagnostic de la culture.

Facteurs et conditions de la croissance

Pour qu'une plante ait une bonne croissance, il faut que *ses besoins et ses exigences* soient satisfaits. Cela dépend du milieu et des techniques employées par le paysan.
• **Les facteurs de croissance** sont les éléments du milieu qui interviennent dans la fabrication même de la matière sèche. Ce sont : l'énergie lumineuse, l'eau, le gaz carbonique et les éléments minéraux. Il existe des liaisons quantitatives entre facteurs et croissance.
• **Les conditions de croissance** sont les caractéristiques du milieu qui influent sur le fonctionnement de la plante. Ce sont : la température, l'aération des racines, la structure du sol qui permet l'enracinement. Les liaisons entre conditions et croissance sont qualitatives.

L'eau est à la fois condition et facteur. Facteur car élément constitutif de la matière sèche et condition car elle permet l'absorption et le transport des autres facteurs et les échanges gazeux.
Il est nécessaire pour une plante, que les facteurs de croissance soient disponibles dans le milieu en fonction de ses besoins et qu'elle soit capable de les utiliser. Les conditions du milieu doivent donc permettre son bon fonctionnement. Les besoins d'une plante évoluent dans le temps en fonction de sa vitesse de croissance et de son stade de développement. A chaque fois qu'un besoin n'est pas satisfait, on dit qu'il y a un *facteur limitant*.

LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES CULTIVÉES

BIEN CONNAÎTRE LES CYCLES DE DÉVELOPPEMENT

Le développement, c'est l'ensemble des modifications qualitatives de la plante correspondant à l'initiation et à l'apparition de nouveaux organes (racines, tiges, feuilles, fleurs, puis fruits et graines).

La connaissance des cycles de développement des plantes permet :
- de connaître les possibilités de cultiver telle espèce ou telle variété dans une région donnée en fonction du climat,
- de mieux choisir une date de semis en fonction des données climatiques et du cycle des plantes,
- de choisir une variété en tenant compte des calendriers culturaux pratiqués par les paysans,
- d'analyser les possibilités d'introduction d'une nouvelle espèce dans une région,
- de connaître l'évolution des besoins d'une culture dans le temps.

A Madian, sur la presqu'île Sud, les paysans disposent de plusieurs variétés de maïs au cycle de développement de durée différente sont :
- le maïs «alizaine» qui fleurit à 60 jours et termine son cycle à 100 jours,
- le maïs «gros bougon», qui fleurit à 85 jours et termine son cycle à 135 jours.

Selon la date de semis (avril à mai) et la variété utilisée, les risques de voir se dérouler la floraison (phase sensible) durant la petite période sèche de juin-juillet sont différents. C'est la connaissance des cycles de développement de ces variétés qui permet de les choisir en fonction des dates de semis possibles.

Les différents organes de la plante ont chacun une vie propre avec différents stades :
- *induction* : la plante devient capable de fabriquer un nouvel organe.
- *initiation* : la plante commence à construire cet organe par différenciation cellulaire. ce stade est suivi par une période de *croissance active* de cet organe.

Les différents stades déterminent au cours de la vie d'une plante des phases au cours desquelles ses exigences vis-à-vis du milieu varient.

- l'optimum thermique du haricot est de 25°C, ce qui explique qu'il est surtout cultivé en altitude,
- le manioc ralenti sa croissance à partir de 40°C.

Les sommes de températures comme mesure de la vitesse de développement

Le temps qui s'écoule entre l'apparition de deux stades phénologiques (par exemple levée et floraison) détermine une vitesse de développement.
Ainsi le maïs «*alizaine*» qui fleurit à 60 jours a une vitesse de développement supérieure à celle du maïs «*gros bougon*» qui fleurit, dans les mêmes conditions, a 80 jours. On dit qu'il est plus précoce.

Cette vitesse dépend particulièrement de la température et pour certaines variétés de la durée du jour (cas des variétés photopériodiques).

On constate expérimentalement que si l'on exprime le temps qui s'écoule entre deux stades pour une même variété en somme de températures, celle-ci est pratiquement constante d'une année sur l'autre ou entre deux lieux. Et inversement, une même variété aura un cycle de développement plus long lorsque les températures moyennes journalières seront plus basses.

La précocité variétale

A l'intérieur d'une même espèce, on distingue des variétés hâtives (ou précoces) et des variétés tardives.
A *la même température*, les variétés hâtives réalisent leur cycle de développement en un temps plus court. Pour comparer la précocité de plusieurs variétés, on s'arrangera pour qu'elles soient semées à la même date et on pourra alors comparer leur cycle en nombre de jours. Sinon, on les comparera en sommes de températures.

Calcul d'une somme de température :

Somme de température

$$= \sum_{1}^{n} (T_j - T_0)$$

n : nombre de jour entre les deux stades considérés.
Tj : température moyenne du jour j
T_0 : zéro de végétation de l'espèce.

Exemple : la somme de température dont a besoin le maïs «alizaine» à partir du semis pour commencer à fabriquer ses fleurs est de 690°C. jour (phase végétative).

Si la température moyenne durant cette phase est (basse altitude : Madian) de 27,25°C. le temps qui s'écoulera durant cette phase est :

690 = n (27,25 - 10)
donc n = 690/(27,25 - 10) = 40 jours
(10 est le zéro de végétation du maïs).

Si la température durant cette même phase est de 21,5°C. en moyenne (haute altitude) sa durée sera de :

n = 690/(21,5 - 10) = 60 jours

En effet, les observations ont montré que le maïs «alizaine» réalisait son cycle en 3 mois à Madian (niveau de la mer) et en 5 à 6 mois à Salagnac (800 m.). De la même façon, une même variété de manioc aura un cycle plus long en altitude qu'en plaine.

Souvent, un paysan cherche à cultiver plusieurs variétés de précocité différente pour étaler sa récolte dans le temps et limiter les risques face aux aléas climatiques. C'est ainsi que l'on trouve couramment jusqu'à 10 variétés de patates douces dans une même parcelle de paysan, ce qui lui permet d'en récolter durant la plus grande partie de l'année.
En Haïti, les températures varient peu d'une année sur l'autre, cela permet de prévoir facilement une date de récolte pour une date de semis données et pour une variété connue.

En revanche, les températures varient d'une région à l'autre, surtout avec l'altitude. Il sera donc nécessaire de dresser une carte des variétés cultivées et utilisables dans les différentes zones climatiques (les autres conditions, et surtout la pluviométrie, doivent être aussi considérées).



Durant la période de floraison, le riz est particulièrement sensible à un manque d'eau ou à une trop forte chaleur (photo M. Bonnefoy).

Le thermopériodisme

Certaines espèces ont besoin de subir des températures particulières pour initier certains organes. Par exemple la tomate a une floraison beaucoup plus abondante lorsque l'écart de température entre le jour et la nuit est de 10 à 12 degrés C : c'est le thermopériodisme journalier.

ACTION DE LA LONGUEUR DU JOUR : LE PHOTOPÉRIODISME

Le photopériodisme est la sensibilité des plantes à des durées variables du jour et de la nuit. Cette durée influe sur le développement de certains organes comme la floraison ou la tubérisation.
On divise classiquement les plantes en trois catégories selon leur réaction à la longueur du jour :

Les plantes de jours courts

Elles mettent en train leur floraison (ou leur tubérisation) lorsqu'elles ont subi un certain nombre de nuits plus longues qu'une durée donnée (ou jours inférieurs à une durée donnée).

Ce sont en général des plantes d'origine tropicale dont la floraison se trouve ainsi placée à la fin de la saison des pluies. Leurs graines mûrissent à temps pour germer au début de la saison des pluies suivante. Il existe un *photopériodisme* strict : c'est le cas de la plupart des variétés de sorgho et de *pois congo* cultivées en Haïti et qui ne fleurissent que lorsque les jours deviennenent inférieurs à une durée précise. *Le photopériodisme peut être relatif* : c'est le cas du maïs qui a besoin d'une somme de température plus faible lorsqu'il fleurit en jours courts, mais qui fleurit quand même en jours longs.

Le degré de photopériodisme est une caractéristique variétale, certaines variétés de sorgho sont non photopériodiques.

Autres exemples : le manioc tubérise mieux en jours courts. En jours longs, le développement de ses organes aériens est favorisé par rapport à celui des tubercules.

Les plantes indifférentes

Elles peuvent former leurs organes en toutes saisons, quelque soit la longueur du jour.

Les plantes de jours longs

Elles fleurissent après avoir subi un certain nombre de jours plus longs qu'une durée donnée. Ce sont en général les plantes des régions tempérées dont la floraison ou la tubérisation se trouvent ainsi placées en été. On peut cultiver en climat tropical les plantes de jours longs dont les parties aériennes sont consommées, et non les fruits.

Le sorgho : effets combinés de la température et de la photopériode

La plupart des variétés de sorgho cultivées en Haïti sont photopériodiques : leur floraison a lieu en période de jours courts. A Petite Rivière de Nippes (côte nord de la presqu'île sud), sur une centaine de parcelles paysannes qui ont été suivies :

- les dates de semis étaient étalées de la fin mai à la fin août (sur 3 mois),
- mais toutes les parcelles avaient atteint 50 % de floraison entre le 13 et le 16 novembre (sur une semaine) et étaient récoltées en janvier.

Les résultats d'expérimentations réalisées au Tchad nous montrent comment se comportent des variétés de sorgho photopériodiques semées à intervalles d'un mois :

- plus le sorgho est semé tard, plus la période végétative est courte. La quantité de matière sèche fabriquée est plus faible, la somme de température accumulée entre le semis et la floraison diminue,
- on constate aussi que le nombre de feuilles fonctionnelles et le nombre de grains par panicule diminuent avec la durée de l'intervalle semis-épiaison. Pour les semis réalisés à partir de septembre, les rendements sont nuls.

A partir des données du tableau précédent, la courbe suivante montre la corrélation qui existe entre la durée du cycle et le rendement par pied. Chaque point est une date de semis différentes. La photopériode agit en liaison avec la température. Le sorgho a besoin d'une somme de température en un temps donné pour pouvoir fleurir.

Conséquences pour le paysan

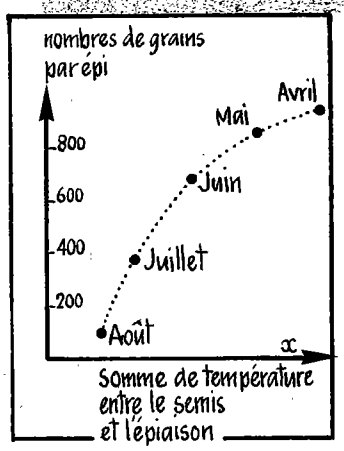
Il existe une relation entre la somme des températures du semis à l'épiaison et le rendement du sorgho. Pour une variété donnée, il existe une valeur optimale de la somme des températures, déterminant une productivité maximale. Il est donc possible en étudiant cette relation d'en déduire pour une variété donnée, dans une région donnée, une date de semis optimale.

Remarque : le choix de la date de semis par le paysan tient compte surtout de la date d'arrivée des pluies. Le rendement du sorgho est aussi déterminé par la quantité d'eau reçu durant son cycle et la répartition de cette pluviométrie (cas de régions ou l'eau est le principale facteur limitant).

Données sur les cycles de développement et les rendements de variétés tardives et photopériodiques de sorgho au TCHAD (d'après Cochemé et Franquin, 1967).

Semis	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.
Nbre de jours entre le semis et l'épiaison	189	163	136	110	92	78	82	94
Date d'épiaison	5/10	10/10	13/10	18/10	30/10	16/11	12/12	1/2
Somme de T° semis-épiaison	5095	4295	3515	2815	2355	2070	2205	2455
Nbre de grains par épi	915	840	680	385	60	-	-	-
Nbre de feuilles	8,0	6,4	4,9	4,1	3,3	-	3,2	4,0

Courbe de productivité d'un sorgho tardif en fonction de la somme de températures entre le semis et l'épiaison (d'après Cochemé et Franquin, 1967).



L'ANALYSE DE L'ÉLABORATION DU RENDEMENT

L'analyse de la croissance et de l'élaboration du rendement permet de déterminer quels ont été les facteurs limitants durant les différentes phases du cycle des plantes. Cela nécessite aussi une analyse fine des conditions du milieu : climat, sol, parasites.

L'élaboration du rendement du maïs

On distingue quatre phases dans le cycle du maïs :
1ère phase : au départ, le fonctionnement de la plante dépend uniquement de la taille de la graine dont les réserves permettent l'établissement des premières feuilles et des premières racines.
2ème phase : durant la phase végétative, la plante fabrique *ses capteurs* : les feuilles captant l'énergie lumineuse et le CO_2, les racines captant l'eau et les éléments minéraux. C'est durant cette phase qu'est déterminé le *nombre de feuilles total.*
3ème phase : c'est la période reproductrice ; le fonctionnement de la plante assure l'extension de ses feuilles et racines et la fabrication des organes reproducteurs (fleurs mâles et femelles). Durant cette phase, s'élabore le nombre de fleurs, donc de *futurs grains.*
A lieu ensuite la fécondation ; le nombre de grains est déterminé par le nombre de fleurs formées et le taux de fécondation.
4ème phase : dans la dernière phase; après fécondation, la plante ne fabrique plus ni feuille, ni racine. Son fonctionnement assure uniquement l'accumulation de matière sèche dans le grain.

Le rendement du maïs peut se décomposer ainsi :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{poids de grains}}{\text{surface}} = \frac{\text{nb de grains}}{\text{surface}} \times \text{poids d'1 grain}$$

Le nombre de grains par unité de surface et le poids d'un grain sont *des composantes du rendement* (voir p. 193) :
• le nombre de grains/m², noté NG/m², s'élabore entre le semis et la floraison femelle,
• le poids moyen d'un grain, noté P1G est déterminé entre la floraison femelle et la maturité.

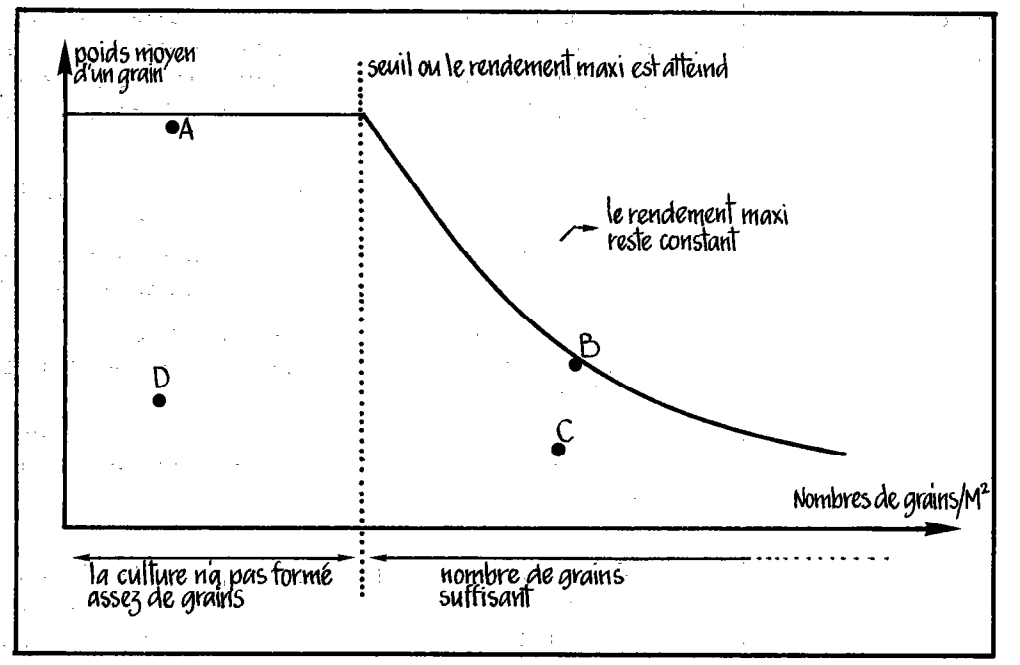
• Interprétation de ces valeurs
Le *poids moyen d'un grain* (P1G) est lié au *nombre de grains/m²* (NG/m²); on ne peut donc juger de sa valeur qu'en fonction du nombre de grains/m².
Le poids maximum que peut atteindre un grain est défini par la variété (génotype). Lorsque le nombre de grains formés est supérieur à un seuil NGx/m², le poids d'un grain ne peut plus atteindre son niveau maximum, même si les conditions d'alimentation minérale et hydrique ne sont pas limitantes. C'est le rayonnement (lumière) reçu qui devient insuffisant pour satisfaire la demande de croissance exprimée par le nombre de grains.
Ainsi, à toute augmentation de NG/m² au delà du seuil NGx/m² correspond une diminution de P1G. Mais cette diminution n'affecte pas le rendement. Le rendement potentiel (maximum) permis par le rayonnement et la variété est une constante telle que: Rdt max.= NG/m² x P1G; d'où la courbe de la figure 82 :

. Si le poids moyen d'un grain est jugé trop faible (C et D)
On s'intéressera à rechercher quels ont été les facteurs limitants durant la dernière phase. Cela n'est possible que si l'on a bien déterminé cette période et les conditions de milieu correspondantes : alimentation en eau, maladies ou parasites... Cela peut être aussi la conséquence d'une récolte réalisée avant maturité.

. Si le nombre de grain est faible (A et D)
Soit un ou plusieurs facteurs ont été limitants entre le semis et la floraison ; soit la densité était trop faible, soit il y a eu une mauvaise fécondation; ces causes pouvant se cumuler.

Figure 82 : relation entre le poids moyen d'un grain et le nombre de grains par m².

On peut resituer par rapport à cette courbe les valeurs mesurées sur les parcelles paysannes suivies:
- **en A**, la culture n'a pas formé assez de grains, il faut donc essayer de comprendre pourquoi;
- **en B**, le nombre grains/m² et le poids moyen d'un grain sont suffisants, le rendement potentiel est atteint;
- **en C**, NG/m² est suffisant mais P1G est trop faible et il faut en rechercher la cause;
- **en D**, le rendement est limité à la fois par le NG/m² et le P1G.



Il est nécessaire alors de préciser le diagnostic en décomposant à son tour le nombre de grains par mètre carré en autres composantes du rendement :

nbre de grains/m² = nbre de pieds/m² x nbre d'épis par pieds x nbre de grains par épi.

$$NG/m^2 = NP/m^2 \times NE/P \times NG/E$$

• Si le nombre de pieds est faible, ce qui est facilement mesurable, on recherchera la cause de cette faible densité : nombre de grains semés, qualité des semences, conditions de germination.
• Si le nombre de grains par épi est faible : soit il y a eu une mauvaise fécondation, il faut alors connaître les conditions climatiques durant cette période; soit la croissance durant la période semis-floraison a été mauvaise, le poids de matière sèche à la floraison est alors réduit, ce dernier peut être facilement mesuré (cf. fig. 88). Les pieds sans épi résultent de situations particulièrement limitantes ou d'accidents.

Détermination des composantes du rendement du maïs

• Les composantes du rendement du maïs sont les suivantes :
- nombre de pieds par mètre carré : NP/m²
- nombre d'épis par pieds : NE/P
- nombre de grains par épi : NG/E
- poids moyen d'un grain : P1G

ona donc:
Rendement (en g/m2) = NP/m² x NE/P x NG/E x P1G

• Exemple sur un carré de 25 m² :
- on compte 75 pieds soit : nombre de pieds par m² = 3
- chaque pieds à un épi : nombre d'épis par pieds = 1

On pèse les grains récoltés et on obtient : 3.600 grammes, soit 144 grammes par m².
On pèse 3 fois 500 grains pris au hasard et on obtient le poids moyens des 3 pesées = 90 grammes.
On en déduit :
- le poids moyen d'un grain : 90/500 = 0,18 gr.
- le nombre de grains par m² : (144 x 500)/90 = 800 grains/m²
- le nombre de grains par épi : 800/3 = 267 grains par épi

Le rendement se décompose donc ainsi :

Rendement = 3 P/m² x 1 P/E x 267 G/E x 0,18 gr. = 144 g/m²

soit 1440 kg/Ha.

NOTION DE PHASES CRITIQUES

Certains organes sont particulièrement sensibles aux conditions de milieu. C'est le cas des fleurs pour les céréales et les légumineuses. Si les conditions du milieu provoque la mort des fleurs pendant la phase critique, cela conduit à une chute irréversible du nombre de grains donc du rendement.

• Le maïs

La sensibilité du maïs à la sécheresse varie au cours de son cycle. Elle est maximale durant la quinzaine de jours qui précèdent la floraison femelle et la semaine suivante : si l'on mesure un faible nombre de grains par épi lors d'une analyse de rendement, il faut étudier les conditions climatiques lors de cette phase critique.

Un déficit hydrique sans conséquences sur le rendement durant les cinquante premiers jours de végétation peut faire chuter le rendement de plus de 50 % s'il a lieu lors de la phase critique.
Pour toutes les céréales (riz, mil, sorgho); une mauvaise alimentation en eau durant la période entourant la floraison fait chuter considérablement le rendement.

• Le riz

• De mauvaises conditions de température, d'éclairement ou d'alimentation en eau durant la période de formation des panicules (25 jours avant la floraison) et la floraison entraîne un nombre important de fleurs stériles, donc réduit le nombre de grains par panicule,
• Durant la phase de remplissage des grains, la plante a besoin d'eau pour assurer la circulation de la sève. Une mauvaise alimentation hydrique ou un fort coup de chaleur provoquant un déssèchement de la plante pendant cette phase empêche les migrations des réserves vers les grains : on dit qu'il y a échaudage. La période la plus sensible se situe entre 15 et 20 jours après la floraison. Lorsqu'il y a échaudage, le poids moyen d'un grain est réduit, il y a une grande proportion de grains vides.

• Les légumineuses

Pendant la floraison, les légumineuses sont particulièrement sensibles aux mauvaises conditions de milieu (fortes températures, sécheresse ou excès d'eau, vent

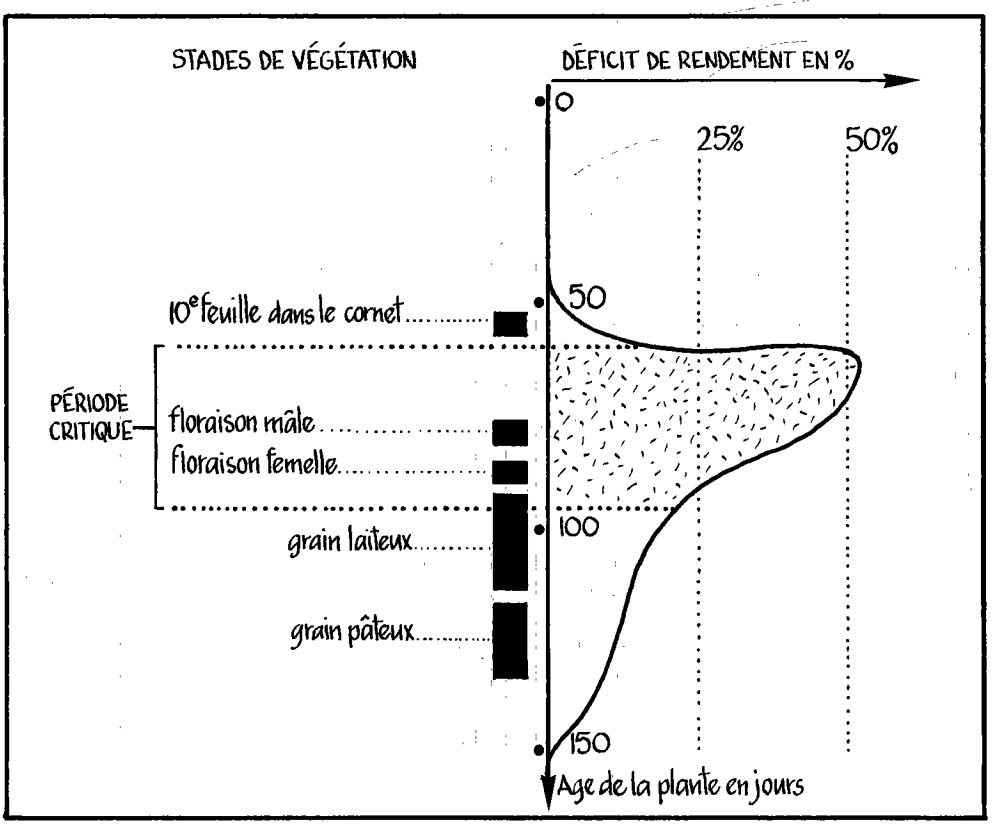


Figure 83 : le déficit de rendement occasionné par un même stress hydrique varie en fonction du stade de la culture au moment où il intervient.

violent, parasites) qui peuvent provoquer la chute d'un nombre élevé de fleurs, réduisant ainsi le nombre de gousses et le rendement final : fortes températures, sécheresse ou excès d'eau, vent violent, parasites. Mais l'évaluation de tels effets est beaucoup plus difficile que pour les céréales car la floraison est très étalée.

• **Les plantes à tubercules**
Il n'y a pas pour les plantes à tubercules de périodes critiques comme pour les céréales. Il n'existe aucune phase comparable à la floraison des céréales dans l'élaboration du rendement en tubercules. Le rendement est beaucoup plus liés au poids des tubercules qu'à leur nombre. Cependant, la phase d'*implantation* de la plante est déterminante dans l'élaboration du rendement final. Selon les espèces, il existe des phases du cycle durant lesquelles un facteur devenant limitant diminue plus fortement le rendement : par exemple, la patate douce est relativement résistante à la sécheresse mais supporte mal un déficit hydrique entre 50 et 60 jours après la plantation.

L'INDICE DE RÉCOLTE

L'indice de récolte mesure la répartition de la matière sèche entre les organes récoltés (grains, tubercules) et le reste de la plante. Il s'exprime de la façon suivante :

$$\text{IR indice de récolte} = \frac{\text{poids des organes récoltés}}{\text{poids de la plante entière}} \times 100$$

L'indice de récolte permet de porter un jugement sur l'efficacité de la matière sèche fabriquée. La capacité d'une plante à produire des grains dépend de sa taille, du nombre de ses feuilles vertes et de ses réserves donc globalement de son poids. Une plante d'un poids important, ayant donc fabriqué une grande quantité de matière sèche, et donnant peu d'organes de récolte traduit une mauvaise efficacité de la croissance. En absence de facteur limitant, l'indice de récolte est limité génétiquement, c'est une caractéristique variétale que prend souvent en considération en amélioration génétique.

• **Plantes dont on récolte les graines** : pour les céréales et les légumineuses l'indice de récolte est souvent utilisé :

$$IR = \frac{\text{Poids de grain}}{\text{Poids de (paille + grain)}} \times 100$$

Un faible indice de récolte (par rapport à une référence connue) indique que la période de floraison ou de post-floraison s'est déroulée dans de mauvaises conditions, c'est à dire que le nombre de grains était insuffisant pour utiliser toutes les réserves de matière sèche présentes dans la plante ou que les conditions n'ont pas permis le transfert.
Par exemple : manque d'eau ou trop forte chaleur durant la floraison des céréales, coulure des fleurs par le vent ou la pluie pour les légumineuses.

Lors d'une mesure de rendement dans une parcelle, la pesée des plantes entières correctement séchées est facile à réaliser et le rapport poids de grains/poids de la plante est un bon indicateur de l'efficacité de la croissance (voir fig. 83).
Pour les légumineuses, l'efficacté de la croissance s'analyse aussi à partir du nombre de grains formés, mais elle est très varaible selon le nombre d'étages fructifères (ramifications) formés.

• **Les plantes à tubercules** : pour le manioc, par exemple, l'indice de récolte s'exprime :

$$\frac{\text{Poids de tubercules}}{\text{Poids de tubercules + parties aériennes}} \times 100$$

La matière sèche photosynthétisée dans les feuilles est utilisée d'une part pour le maintien de l'appareil de production (croissance des tiges et renouvellement des feuilles), d'autre part, pour la croissance des tubercules.

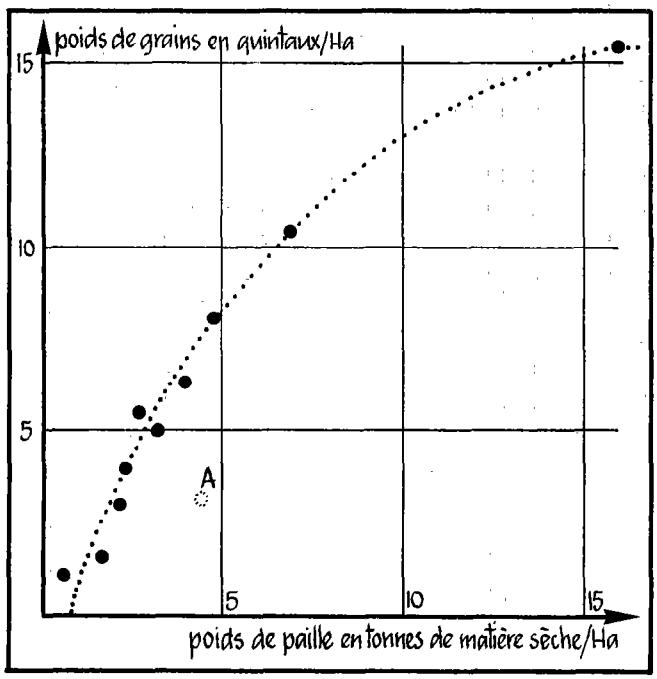


Figure 84 : relation entre la croissance de l'appareil végétatif et le rendement en grain du sorgho «*disejour*» à Petite Rivière de Nippes; d'après Yves JEAN et Jean CAVALIE, 1980.

Cette courbe met en évidence une corrélation positive entre la croissance de l'appareil végétatif et le rendement en grain du sorgho «disejour». Cela indique que les faibles rendements sont dûs à une faible croissance durant la période semis floraison. Une situation en A indiquerait qu'il y a eu des mauvaises conditions durant la phase critique.

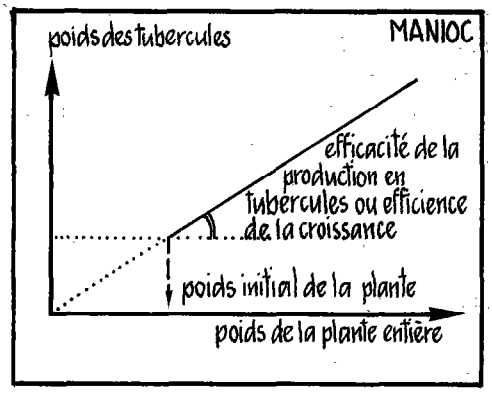
La proportion de matière sèche stockée dans les tubercules varie de 40 % à 70 % selon les variétés et les conditions du milieu. Il y a comme une concurrence entre les parties aériennes et les tubercules.

• **Conséquences sur le choix d'une variété :**
Les variétés les mieux adaptées à une situation donnée sont celles qui consacrent le minimum de matière sèche au maintien d'une surface foliaire et le maximum aux tubercules. Par exemple : les variétés à fort développement végétatif seront mieux adaptés aux régions fraîches d'altitude où leur développement végétatif sera réduit.
L'indice de récolte traduit le bon équilibre entre le développement aérien et celui des tubercules et donc l'adaptation d'une variété au milieu.

L'EFFICIENCE DE LA CROISSANCE

L'efficience de la croissance est définie par le rapport entre le nombre de grains et la matière sèche à la fin de la floraison :

$$\frac{\text{Nombre de grains}}{\text{poids de matière sèche à la fin de la floraison des parties aériennes.}} = \text{efficience de la croissance}$$



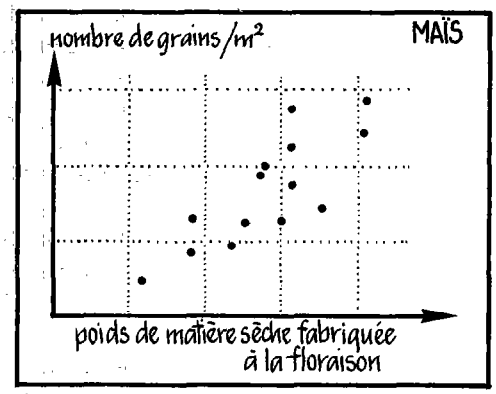


Figure 85 : le rapport entre matière sèche des tubercules et matière sèche de la plante entière est constant pour une variété donnée de Manioc (d'après BOERBOOM, 1978).

Figure 86 : relation entre l'état de croissance de la culture à la floraison et le nombre de grains/m² (mesures effectuées sur 15 parcelles paysannes).

• **Le cas du maïs**

Le nombre de grains peut être considéré comme le résultat de l'activité photosynthétique de la plante avant floraison : lorsque les conditions sont favorables entre la floraison et la maturité, il existe une étroite relation entre le nombre de grains et le poids de matière sèche à la floraison pour une même variété de maïs.

Mais dans la pratique, quand on compare des résultats obtenus dans différentes situations, on observe que pour une même croissance réalisée à la floraison (MS/m^2), le nombre de grains/m^2 peut varier et donc que l'efficience de la croissance peut varier.

Une faible efficience peut être due :
• soit à une réduction de la vitesse de croissance à la floraison (stade critique), ce qui a pour effet de réduire le nombre de grains,
• soit à un poids individuel des pieds à la floraison trop faible ou trop fort.

En effet, il n'y a pas de proportionnalité entre le poids moyen d'un pied et le nombre de grains moyen par pied car :
• les gros pieds ne sont pas capables de fabriquer un nombre de grains supérieur à un seuil NGX (défini par la variété) ; leur efficience est faible car il n'y a pas assez de grains pour utiliser toute la croissance disponible ;
• les pieds plus petits qu'un seuil MSo ne sont pas capables de fabriquer des grains (pieds sans épis).

Par ailleurs, pour une disponibilité en facteurs de croissance donnée, le poids moyen d'un pied varie en fonction de la densité :
• plus la densité est faible, moins la compétition entre les pieds est forte et plus le poids moyen d'un pied est élevé.
• au contraire, plus la densité est forte, plus la compétition entre les pieds est forte et plus leur poids individuel est faible (voir p. 211, densité et compétition entre les plantes).

Donc, selon la densité, pour une même croissance de la culture à la floraison (MS/m^2), le nombre de grains (et l'efficience) varie.

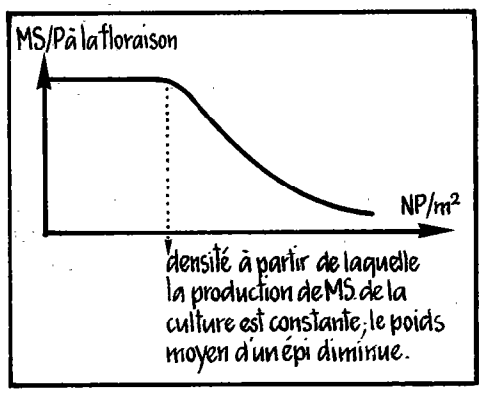


Figure 87 : relation entre le poids de matière sèche par pied (MS/P) à la floraison et la densité (nombre de pieds par m^2 : NP/m^2).

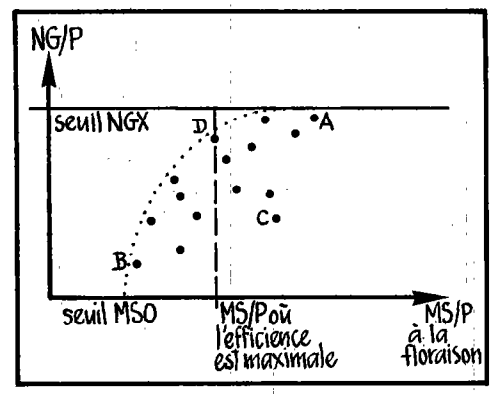


Figure 88 : relation entre le nombre de grains par pied (NG/P) et le poids de matière sèche par pied à la floraison (MS/P).

• **Analyse de l'efficience par pied** (voir fig. 88) :
Lorsque l'on compare la croissance de maïs d'une même variété dans différentes situations (ici 15 parcelles paysannes, chaque point représente une parcelle) ; si l'on réalise un graphe avec en abscisse le poids de M.S. à la floraison par pieds et en ordonnée le nombre de grains par pieds; la courbe enveloppe obtenue en rejoignant les meilleures situations est caractéristique de la variété.

A partir de cette courbe, on peut faire l'analyse des différentes situations rencontrées :
A. Le nombre maximum de grains par épi est atteint (limité génétiquement), aucun facteur n'a été limitant durant le cycle du maïs. Le nombre de grains/m^2 et l'efficience au niveau de la parcelle sont limités par la densité. Celle-ci peut être augmentée.
B. Le nombre de grains est limité par une faible croissance des pieds. Certains

facteurs de croissance ont été limitants durant la période semis floraison. Au niveau de la parcelle, la densité est trop forte pour la disponibilié des facteurs.
C. Le nombre de grains est limité non par une mauvaise croissance du pieds, mais par de mauvaises conditions durant la période critique.
D. L'éfficience est maximum, la densité est optimale par rapport à la disponibilité des facteurs de croissance.

CROISSANCE DANS LE TEMPS ET COURBES DE CROISSANCE

A un instant de la vie d'une plante, sa capacité a produire de la matière sèche dépend *du milieu* et de *ses surfaces captatrices* : taille et nombre de ses feuilles et racines.
Dans un milieu favorable, la croissance d'une plante est limitée par sa taille.
En début de cycle, au fur et à mesure que la plante grandit, sa capacité à produire de la matière sèche augmente; **ses besoins en facteurs de production augmentent de la même manière.**

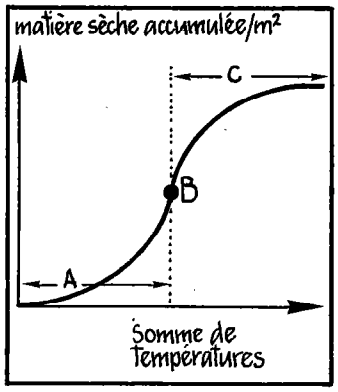


Figure 89 : la courbe de croissance d'une plante est une courbe en « S «.

La courbe de croissance durant la première partie du cycle d'une plante suit une loi exponentielle.
Lorsque le nombre et la taille maxima des feuilles est atteint, la vitesse de croissance se stabilise puis diminue pour s'annuler. Pour le maïs, la vitesse de croissance maximum est atteinte à la floraison, phase du cycle à laquelle les besoins sont aussi maximum (eau, lumière, éléments minéraux).

La courbe de la figure 89 représente le poids de matière sèche fabriquée en fonction du temps exprimé en *sommes de températures* :
- dans un premier temps (**A**), la vitesse de croissance augmente, cela correspond à la mise en place des capteurs (feuilles, tiges, racines), la courbe est exponentielle,
- au point d'inflexion (**B**) la vitesse de croissance (dMS/dt) est maximum,
- ensuite (**C**), la vitesse de croissance diminue.

Pour une même variété, si les facteurs du milieu ne sont pas limitants, les courbes de croissance sont semblables, même pour des dates de semis différentes.

• Utilisation des courbes

La comparaison d'une courbe de croissance (établie à partir de mesures chez un paysan) avec une courbe potentielle (déterminée en station) permet de déceler les périodes où il ya eu des limitations de croissance dans la parcelle du paysan:

De la même manière, on peut comparer la même variété de maïs dans deux situations différentes, dans la même parcelle ou entre plusieurs parcelles paysannes.

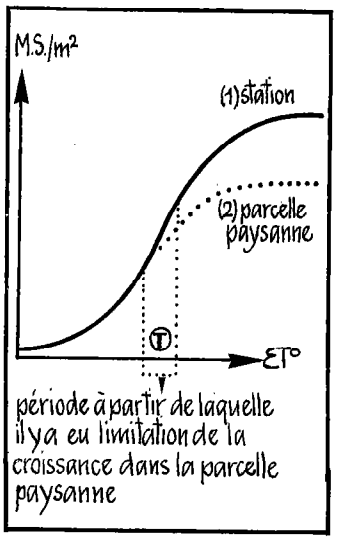


Figure 90 : courbes de croissance du maïs (même variété), l'une établie en station (1) et l'autre sur une parcelle paysanne (2).

La mesure de la croissance par le poids de matière sèche nécessite la destruction régulière de plantes sur les parcelles. Dans la plupart des cas, on se limite à des mesures de hauteur et de diamètre à la base des tiges (cf. page 197). Pour des dates de semis et des conditions de température identiques (exposition, altitude), on peut exprimer le temps en nombre de jours. L'analyse des courbes de croissance complète l'analyse de l'élaboration du rendement. Elle permet d'évaluer une technique dont l'effet, pour différentes raisons, a joué sur la croissance des plantes sans que le rendement n'en ait été affecté.

• Croissance des organes dans le temps

La croissance globale d'une plante est liée à la croissance de chacun de ses organes, mais aussi à l'apparition de nouveaux organes, donc au *développement*.
L'initiation de certains organes, selon les variétés, ne peut se faire que sous certaines conditions (température, lumière) qui définissent le mode de développement de ces plantes. Voici quelques exemples de courbes mettant en évidence le lien entre croissance et développement.

Figure 91 : courbe de croissance de deux variétés cultivées dans les mêmes conditions, la variété 1 est plus précoce que la 2.

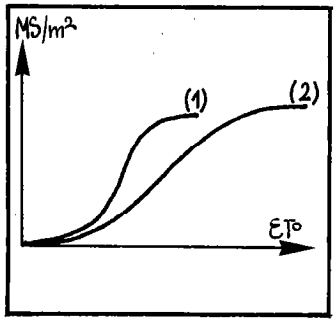


Figure 92 : évolution en fonction du temps du poids de matière sèche des différents organes du maïs (d'après R.B.Curry).

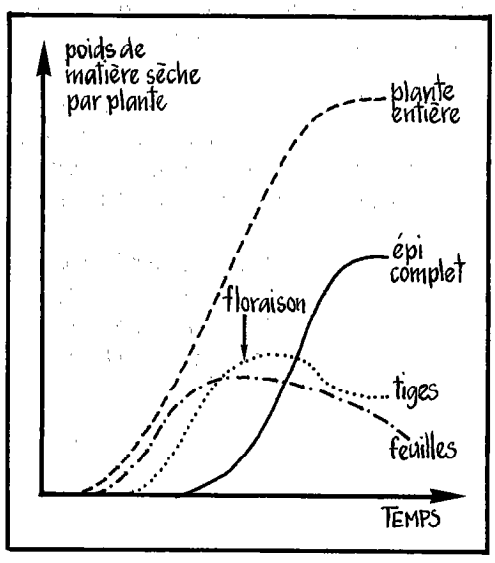
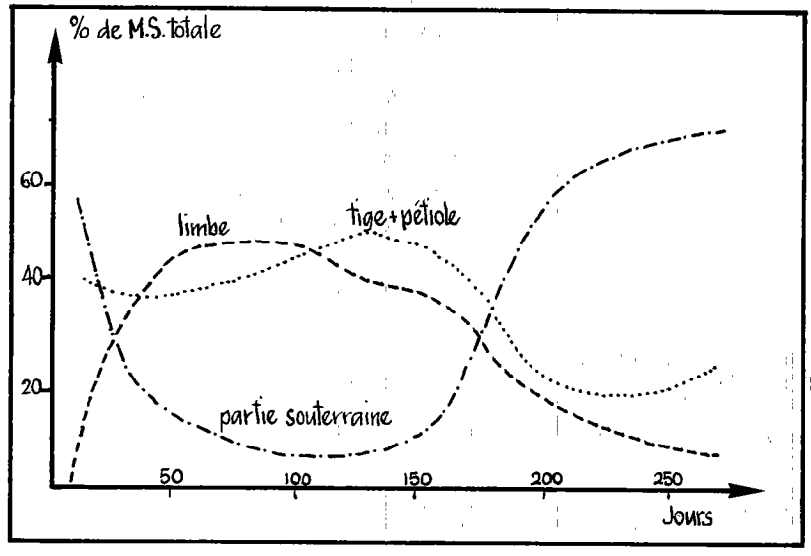


Figure 93 : évolution de la part des différents organes dans le poids total de matière sèche de l'igname D.trifida «INRA 5-20» (centre de recherche agronomique Antilles-Guyanne, 1976 et 1979)



Densité et compétition entre les plantes

Quelques définitions

• **La parcelle** : c'est une portion de terrrain conduite de façon homogène : les espèces cultivées et les techniques qui y sont appliquées sont identiques sur l'ensemble d'une parcelle. C'est le «*jardin*» des paysans haïtiens.

• Une «***fê***» est une portion de terrain appartenant à un même propriétaire et cultivée par le même paysan. Elle peut être divisée en plusieurs «jardin» cultivés différemment; donc plusieurs parcelles.

• **Le peuplement végétal** d'une parcelle est l'ensemble des plantes qui s'y trouvent.
On distingue :
- le peuplement cultivé qui est l'ensemble des plantes mises en place par le paysan,
- les plantes adventices, ou mauvaises herbes dont la présence est indésirable et qui nuisent à la croissance des plantes cultivées.

• **Une culture** est l'ensemble des plantes cultivées sur une parcelle et des techniques qui leur sont appliquées par le paysan.
On distingue :

• les cultures pures : toutes les plantes cultivées en même temps sur la parcelle sont de la même espèce (mais peuvent être de variétés différentes), par exemple : un champ de riz, une parcelle de choux, une culture de manioc...
• les cultures associées : des plantes d'espèces différentes sont cultivées en même temps sur la même parcelle. Leurs cycles sont souvent différents et de ce fait le peuplement cultivé change dans le temps. Les associations de cultures se caractérisent par le nombre d'espèces présentes, leur nature et leur disposition dans l'espace. Ce mode de culture est largement dominant en Haïti.

• **Système de culture** : c'est l'ensemble des **successions de cultures** (pures ou associées) et **des techniques** mises en oeuvre sur une même parcelle pour obtenir une ou plusieurs productions végétales.
Un système de culture est caractérisé par le niveau de production qu'il permet et par son influence sur la fertilité du milieu. Dans une exploitation, plusieurs systèmes de culture coexistent généralement*.

*Voir aussi les définitions dans le chapitre 1.

MESURER LA DENSITÉ

La densité d'un peuplement végétal est le nombre de plantes d'une même espèce par unité de surface. On l'exprime le plus souvent en nombre de pieds par mètre carré (Nb de pieds/m²) ou par hectare (Nb de pieds/ha).
La densité de semis est le nombre de grains semés par unité de surface.

La densité de peuplement juste après la levée est plus ou moins inférieure à la densité de semis car un certain pourcentage de graines ne germent pas à cause soit de leur mauvaise qualité, soit de mauvaises conditions de germination (structure du sol, humidité, profondeur des graines, parasites).
Entre la levée et la récolte, la densité de peuplement peut diminuer du fait de la



Dans la Plaine du Nord, la patate douce est parfois cultivée en culture pure (photo M. Bonnefoy).

disparition de certains pieds due aux parasites, aux techniques de culture (lors du sarclage par exemple) et à certaines situations plus défavorables.

EN CULTURE PURE

Lorsqu'une seule espèce est présente dans la parcelle, la mesure de la densité ne pose aucun problème. On pratique de la même manière que pour réaliser un carré de rendement. Lorsque l'on mesure le rendement d'une culture, il est d'ailleurs toujours nécessaire d'en connaître la densité*.

* Voir chapitre 7.

Le choix de l'emplacement du carré est très délicat, il sera le plus souvent nécessaire d'en réaliser plusieurs dans chaque parcelle en tenant compte des hétérogénéités de peuplement.

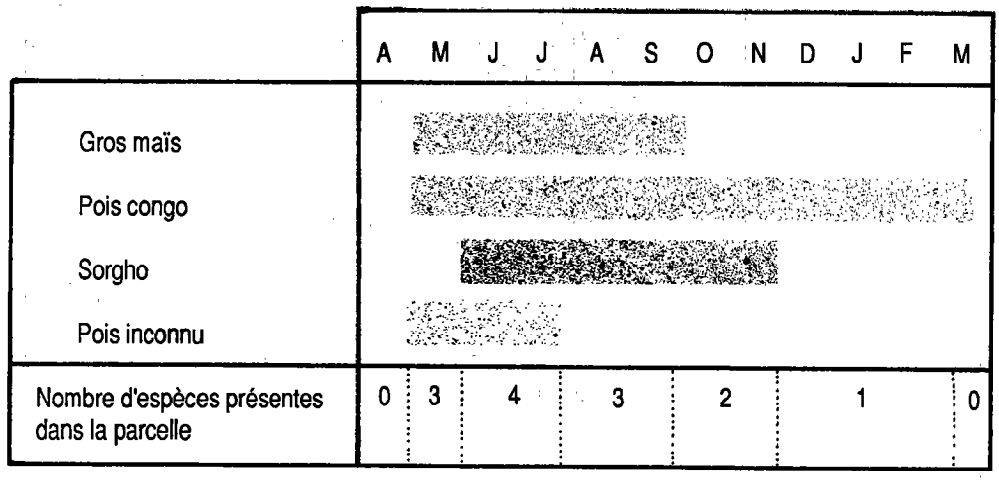
La comparaison entre plusieurs parcelles, ou plusieurs zones dans la même parcelle permet de savoir si la densité a pu limiter la production.

Toutes choses étant égales par ailleurs, on ne pourra comparer l'effet de densités différentes que si les adventices ont été correctement maîtrisées (car elles rentrent en compétition avec les plantes cultivées).

DANS LE CAS D'UNE ASSOCIATION DE CULTURE

L'association de culture représentée dans le tableau suivant est celle qui est la plus fréquemment pratiquée sur le Plateau Central :

Figure 94 : calendrier de l'association de culture: maïs/ pois congo/sorgho/pois connu pratiquée sur le Plateau Central.



Tout au long de l'année, le nombre d'espèces présentes sur la parcelle varie entre zéro et quatre. Les compétitions entre plantes sont différentes selon les périodes et si un facteur devient limitant (sécheresse par exemple), l'effet sera différent. Les observations réalisées sur une culture ou association de cultures doivent donc toujours être resituées par rapport aux circonstances climatiques correspondantes.
Il est facile de mesurer la densité de chaque espèce présente mais impossible de les additionner. Par contre il est important de noter la répartition des différentes espèces dans l'espace : la réalisation d'un dessin est le meilleur moyen.
Le tableau précédent permet de représenter la répartition des différentes espèces dans le temps.

DÉTERMINATION DE LA SURFACE OCCUPÉE PAR CHAQUE ESPÈCE

Cela permet par exemple de déterminer l'assolement par espèce d'une exploitation ou de comparer des densités de plusieurs parcelles ayant la même association.

Exemple d'une parcelle de 1000 m² avec une association maïs-patate :
- la parcelle mesure 1000 m²,
- la densité de la patate douce : 30 000 pieds/ha,
- la densité du maïs : 20 000 pieds/ha.

La densité optimale du maïs dans cette situation en culture pure est de 50.000 pieds/ha. Celle de la patate douce est de 30 000 pieds/ha. Les densités optimales sont celles qui donnent dans les mêmes conditions (sol et climat) les meilleurs rendements. Elles sont déterminées pour une variété et un milieu donnés, lors d'essais où seules les densités varient.

- On calcule les rapports entre les densités réelles et les densités optimales en culture pure :

$$\frac{20\,000}{50\,000} = 0{,}4 \text{ pour le maïs} \qquad \frac{30\,000}{30\,000} = 1 \text{ pour la patate douce}$$

Cela signifie qu'il faudrait 1,4 fois la surface considérée pour avoir le même nombre de pieds en cultures pures.

- On en déduit le pourcentage de terrain occupé par chaque espèce :

$$\frac{1 \times 1000}{1{,}4} = 710 \text{ m}^2 \text{ pour la patate} \qquad \frac{0{,}4 \times 1000}{1{,}4} = 290 \text{ m}^2 \text{ pour le maïs}$$

Cela nous donne l'occupation du sol à un moment donné ; mais les espèces cultivées ont des durées de cycle différent dont on peut tenir compte : il suffit de multiplier la surface occupée par le nombre de jours de présence de chaque espèce sur la parcelle :
- patate : 180 jours soit 127.800 jours-m².
- maïs : 165 jours soit 47.850 jours-m².

Pour déterminer l'assolement d'une exploitation, il ne reste plus qu'à additionner les valeurs des cultures de toutes les parcelles. Pour chaque espèce, on pourra déterminer un pourcentage :

$$\frac{\text{patate en j} \times \text{m}^2 \times 100}{\text{total de j} \times \text{m}^2 \text{ pour l'exploitation.}}$$

Cette méthode a cependant des limites car :
- le choix des densités en culture pure est difficile à réaliser,
- les espèces à cycle long sont privilégiées,
- les mêmes espèces n'ont pas la même durée de cycle selon les variétés et les régions (altitude).

DENSITÉ ET RENDEMENT DES CULTURES

La croissance et le développement des plantes sur une parcelle dépendent du milieu mais aussi du nombre de plantes présentes. Il existe des phénomènes de compétition entre plantes qui, pour une richesse du milieu donnée, s'accentuent quand le nombre de plantes augmente. En choisissant les dates de semis (ou plantation) des différentes espèces et leur disposition dans l'espace, le paysan essaye de mettre les plantes dans les meilleures conditions de croissance possible. Pour cela il faut savoir :

• que les conditions et facteurs du milieu varient dans le temps : surtout les conditions climatiques,

• que les besoins de la culture varient dans le temps selon les stades de croissance et de développement atteints par les différentes espèces.



Association de riz pluvial et de maïs en cours de sarclage. Celui-ci intervient déjà trop tard, les mauvaises herbes sont plus hautes que le riz et ont déjà nui à la culture (photo M. Bonnefoy).

Le paysan ne contrôle pas tous les paramètres du milieu mais beaucoup mieux le peuplement végétal.

Les facteurs les plus souvent limitants en Haïti sont l'eau et les éléments minéraux disponibles dans le sol :

• **L'eau** : en dehors des zones irriguées qui représentent une très faible proportion de la surface cultivée en Haïti, les cultures sont tributaires de la pluviométrie. C'est surtout en choisissant des dates de semis ou plantation en fonction des périodes de précipitations que le paysan peut influer sur l'alimentation en eau des plantes.

• **Les éléments minéraux** : leur disponibilité dans le sol est en partie gérée par les paysans qui en apportent sous forment de matières organiques ou d'engrais minéraux. Mais les taux de matières organiques des sols haïtiens sont en moyenne assez faibles et les engrais minéraux très peu utilisés. Face à une fertilité des sols limitée, les paysans là aussi essayent d'adapter les peuplements végétaux.

RENDEMENT EN GRAINS

Le rendement d'une culture pure est une production par unité de surface. Il peut se décomposer de la manière suivante :

Rendement = (Production moyenne d'une plante)
x (Nombre de plantes par unité de surface)

La courbe suivante nous montre la relation qui existe entre la densité de peuplement et le rendement en grains des céréales :

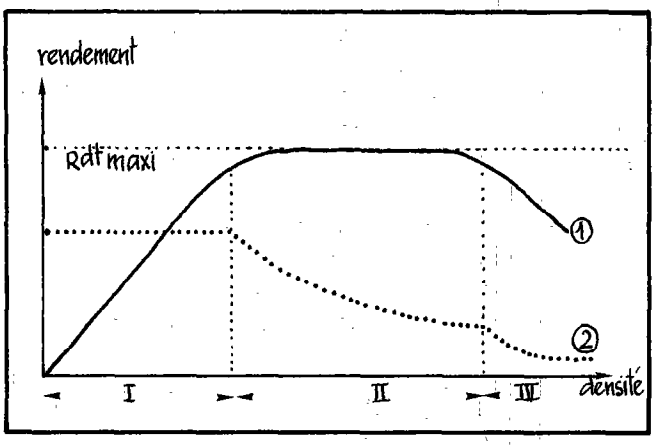


Figure 95 : rendement en grains d'une culture de céréale 1 et rendement moyen d'une plante 2 en fonction de la densité (Nb de plantes/m²)

On distingue à partir de l'allure de cette courbe trois situations différentes :
• **Situation I** : le rendement augmente proportionnellement avec à la densité, il n'y a pas de compétition entre les plantes (1). Le rendement moyen d'une plante reste constant et est maximal (2).
• **Situation II** : la courbe s'applatie; le rendement n'augmente plus avec la densité, il est maximum pour le milieu considéré. Au fur et à mesure que la densité augmente, le rendement moyen par plante diminue (2); il y a une compétition de plus en plus forte mais cela n'altère pas le rendement global (1).
• **Situation III** : la compétition se fait plus forte et la chute du rendement par plante n'est pas compensée par l'augmentation du nombre de plantes, le rendement global de la culture diminue.

En conclusion, pour une espèce et une variété données, il existe une *densité optimale* définie par le facteur le plus limitant. La zone II de la courbe représente *la gamme de densités idéales*. Elle est importante pour le riz qui peut taller donc émettre des tiges et des épis supplémentaires lorsque la densité est faible, et pour les légumineuses qui emettent des ramifications. Elle est étroite pour le maïs qui n'a pas cette capacité de compensation.

RENDEMENT EN MATIÈRE SÈCHE

Lorsque la compétition entre plantes est trop forte ; le rendement en grains diminue car chaque plante n'accumule pas suffisamment de matière sèche; mais la production totale de matière sèche au niveau de la parcelle n'est pas altérée comme le montrent les graphiques suivants :

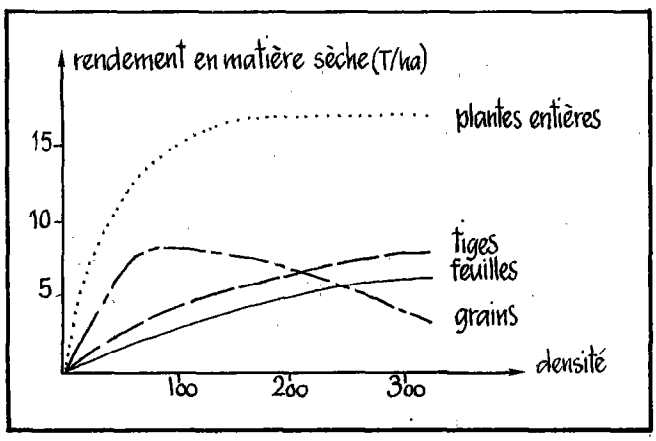


Figure 96 : relation entre la densité et le rendement en matière sèche des différents organes du maïs (d'après BARLOY 1972).

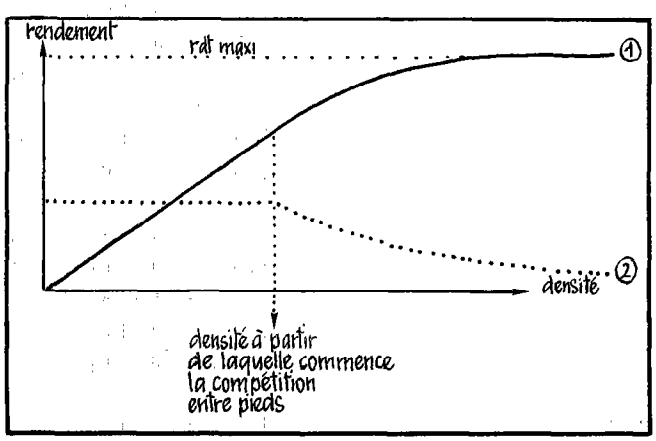
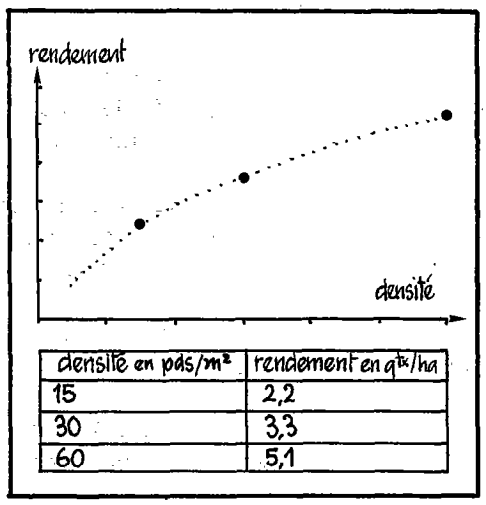


Figure 97 : rendement en matière sèche de la culture (courbe 1) et par plante (courbe 2), en fonction de la densité.

A partir d'une certaine densité, il a y compétition entre les pieds pour les facteurs du milieu: le rendement par plante commence alors à diminuer mais le rendement global de la culture en matière sèche continue à croître jusqu'à un maximum puis stagne.

Exemple des fortes densités de haricot pratiquées par les paysans du plateau des Rochelois.

Les densités généralement conseillées pour la culture pure de haricot sont de 20 à 30 pieds au m². Les paysans du plateau des Rochelois pratiquent des densités très élevées de l'ordre de 35 à 55 pieds par m². Avant de porter un jugement sur cette pratique et de conseiller des densités plus faibles, il importe d'en rechercher le bien-fondé. Une petite expérimentation a permit de comparer différentes densités, en voici les résultats.



densité en pds/m²	rendement en q^tx/ha
15	2,2
30	3,3
60	5,1

Rendement du haricot en fonction de la densité de peuplement

Lorsque l'on passe d'une densité de 30 à 60 pieds/m², le rendement augmente considérablement. Les densités que le paysan haïtien applique sont donc correctes par rapport au milieu où il travaille : les sols bauxitiques particulièrement pauvres du Plateau des Rochelois.

Pour atteindre des densités de peuplement 35 à 55 pieds/m², les agriculteurs sèment 3 à 4 grains par poquet à raison de 18 à 23 poquets/m², ce qui correspond à une densité de semis de 54 à 92 grains/m². Il y a donc une perte très importante de plantes entre le semis et la récolte. Les causes peuvent être la mauvaise qualité des semences ou la mortalité en végétation (insectes-maladies).

Les problèmes que rencontrent les paysans pour la culture du haricot sont : une faible fertilité des sols, une perte importante de plantes durant la végétation.

Les fortes densités pratiquées sont une réponse à ces deux contraintes. La recherche des solutions doit donc s'orienter vers l'amélioration de la fertilité des sols et la réduction des pertes de plantes : meilleure conservation des semences, lutte contre les insectes et maladies.

L'enracinement des cultures

QU'EST-CE QUE L'ENRACINEMENT ?

RÔLE DE L'ENRACINEMENT

Les systèmes racinaires des plantes ont deux fonctions essentielles : l'ancrage de la plante au sol, l'absorption par la plante de l'eau et des éléments minéraux. Pour certaines espèces, les racines constituent des organes de réserve (manioc).

Rôle d'ancrage

Le système racinaire assure la fixation au sol de la plante et son maintien vertical. Pour résister aux vents forts, la plante doit posséder un enracinement suffisamment profond et puissant. Certaines plantes, comme le maïs ou le sorgho, possèdent des racines spécialisées pour l'ancrage : ce sont de grosses racines partant des premiers noeuds de la tige et, en partie, aériennes. Pour les plantes rampantes comme la patate douce, ce rôle n'existe pas.

Absorption de l'eau et des éléments minéraux

La plante puise dans le sol, grâce à ses racines, l'eau et les éléments minéraux indispensables à sa croissance et son développement.

• **L'eau**

L'absorption de l'eau par les racines est commandée par la transpiration des feuilles qui crée un appel d'eau. Cette transpiration est elle-même gouvernée par la demande climatique (l'évapotranspiration potentielle).

Cette perte d'eau se répercute à travers les vaisseaux de la plante jusqu'aux racines qui acquièrent ainsi une *force de succion*. La plante est capable de s'alimenter en eau tant que cette force est supérieure à celle avec laquelle le sol retient l'eau*.

*Voir chapitre 9.

• **Les éléments minéraux**

La plus grande partie des éléments minéraux absorbés par les racines se trouve sous forme dissoute dans l'eau du sol (ions). Une très faible part est puisée par contact direct des racines avec les particules du sol.

Les sécrétions acides des racines et l'activité des micro-organismes du sol assurent la solubilisation d'éléments minéraux se trouvant à l'état solide.

Deux mécanismes permettent simultanément l'absorption des ions par les racines :

• un entraînement *passif* des éléments minéraux par l'eau,

• une absorption *active* nécessitant une dépense d'énergie de la part des cellules racinaires (car la concentration en ions de la sève brute est supérieure à celle de la solution du sol).

La capacité d'absorption des racines est très importante et n'est pas un facteur limitant l'alimentation minérale. Ce sont la richesse du sol en éléments minéraux, leur mobilité et la colonisation du sol par les racines qui peuvent être limitants.

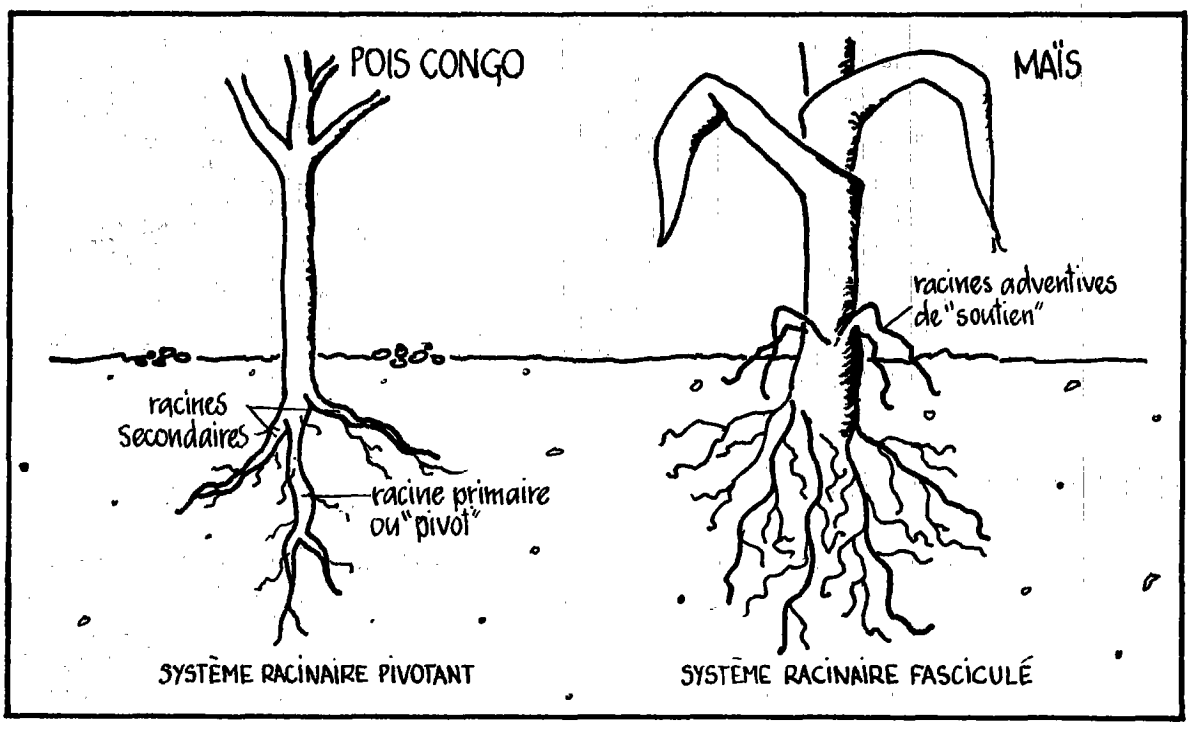
L'alimentation hydrique et l'alimentation minérale des plantes sont donc étroitement liées. Pour assumer ses deux fonctions, les racines doivent être nombreuses, longues et bien ramifiées, ceci d'autant plus que l'humidité et la richesse minérale du sol sont faibles :

• l'augmentation de la densité des racines dans un horizon donné permet une meilleure extraction de l'eau et des éléments minéraux disponibles à ce niveau,
• l'extension du système racinaire en profondeur et en largeur aboutit à mettre à la disposition de la plante un volume de sol plus important.
L'alimentation hydrique et minérale des plantes est aussi fonction de la richesse du sol. Plus un sol est riche et humide, moins la plante a besoin d'explorer un grand volume de sol; un système racinaire bien développé est donc dans ce cas moins nécessaire.

LES DIFFÉRENTS TYPES D'ENRACINEMENT

Un système racinaire se construit à partir d'une ou plusieurs racines primaires qui se ramifient en racines secondaires, tertiaires, quaternaires. Une partie de cet ensemble porte des poils absorbants.
Les racines qui naissent à partir de la tige et non d'une racine primaire sont les racines *adventives*. L'essentiel du système racinaire des graminées est construit à partir de racines adventives, leur enracinement est dit *«fasciculé»* (en forme de faisceau). Les légumineuses ont au contraire un système racinaire *pivotant*, construit à partir d'une racine principale qui se ramifie.
Les plantes multipliées par boutures (manioc, patate douce) ne développent que des racines adventives.

Figure 98 : exemples de systèmes racinaires pivotant (*pois congo*) et fasciculé (maïs).



La forme générale d'un système racinaire est défini en partie génétiquement. Les différentes espèces n'explorent donc pas le sol de la même façon et cela leur donne une plus ou moins grande capacité d'adaptation aux situations.
Un enracinement profond, comme celui du pois congo par exemple, permet à la plante de mieux résister à la sécheresse en utilisant l'eau des horizons inférieurs.

Cas particuliers

• Certaines plantes développent des *tiges souterraines* appelées *rhizomes*. Ces rhizomes sont des organes de multiplication végétative et qui, dans le cas de certaines espèces, peuvent tubériser.
• Certaines racines sont spécialisées dans la recherche d'eau en profondeur. Elles s'enfoncent profondément jusqu'à la nappe phréatique.
• D'autres sont spécialisées pour venir respirer à la surface du sol comme les racines respiratoires du palétuvier.

Quelques exemples d'enracinement

• **Plantes à système racinaire fasciculé** : maïs, riz, sorgho, mil, manioc, bananier, *malanga* (Xanthosoma), *mazombelle* (Colocasia)..

• **Plantes à système racinaire pivotant** : haricot, *pois congo* (cajanus cajan), arachide, *pois connu* (Vigna unguiculata), tabac, tomate, cotonnier, carotte, ricin.

• **Plantes à rhizomes** : gingembre, ananas, pomme de terre, imperatas et certaines adventices : *chloris guyanis et cyperus rotondus.*

• **Plantes à racines tubéreuses** : manioc, patate douce, *mazombelle*, *malanga.*

Enracinement fasciculé du riz (photo M. Bonnefoy).



LA CROISSANCE DES RACINES ET LEUR FONCTIONNEMENT

COMMENT POUSSE UNE RACINE

• **Si le sol n'est pas déformable** : une racine s'allonge dans le sol en cheminant dans les pores d'une dimension supérieure ou égale à la sienne. C'est le cas des sols très sableux à toutes humidités, et de tous les sols en conditions sèches. Lorsqu'un sol est sec, sa cohésion est forte et les racines ne peuvent pas agrandir les pores pour y pénétrer; elles ne se développent alors que dans la porosité structurale ou macroporosité.

• **Si le sol est suffisamment humide et argileux, il devient déformable** : les racines peuvent alors, en exerçant une pression, pénétrer dans les pores légèrement inférieurs à leur diamètre (sauf s'il y a une trop grande différence de porosité avec la zone d'où elle vient).
Ainsi, en condition sèche particulièrement, une bonne colonisation du sol par les racines nécessite une porosité structurale importante et bien répartie (structure fragmentaire fine).

CONDITIONS ET FACTEURS NÉCESSAIRES À LA CROISSANCE ET AU DÉVELOPPEMENT DES RACINES

Les **facteurs** nécessaires à la croissance et au développement des racines sont : l'eau, l'oxygène, les éléments nutritifs.
Les **conditions** qui favorisent plus ou moins leur croissance sont : la température, la structure du sol, l'absence d'obstacles, de substances toxiques ou de parasites.
Une mauvaise croissance des racines entraîne une moins bonne alimentation de la plante, une mauvaise croissance des parties aériennes et pour finir un faible rendement. Ceci d'autant plus que le sol est pauvre en eau ou en éléments

minéraux. Certaines techniques culturales comme le travail du sol, le sarclage, le buttage ont pour effet de créer de bonnes conditions de croissance des racines.

La température

La température optimale de croissance des racines se situe entre 30 et 35° pour les espèces tropicales.

L'aération du sol

Les racines ont besoin d'oxygène pour respirer et cet oxygène doit donc circuler dans le sol en permanence (sauf pour certaines plantes comme le riz, capable de croître en milieu inondé).
Les besoins en oxygène des racines varient selon les espèces mais, d'une façon générale, une bonne aération du sol favorise leur croissance. En l'absence totale d'oxygène la plante peut mourir en quelques heures. Lors de sa respiration, elle consomme de l'oxygène (O_2), libère du gaz carbonique (CO_2) et de l'éthylène (C_2H_4). L'accumulation de ces substances dans le sol est néfaste pour les racines.

L'eau

Elle est indispensable à la vie des racines, mais elle peut aussi entraîner leur asphyxie lorsqu'elle est en excès. Si la macroporosité du sol est occupée par l'eau ; l'air ne circule plus et les racines ne peuvent plus circuler. Ainsi, la présence d'une nappe d'eau dans un sol est un obstacle au développement du système racinaire.

L'absence de substances toxiques ou de parasites

Les substances toxiques peuvent être :
- du calcaire actif,
- des ions toxiques comme l'aluminium (Al^{+++}) qui devient soluble et assimilable par les plantes lorsque le pH du sol est très acide. Certains cas de toxicité aluminique ont été observés dans les sols bauxitiques du Plateau des Rochelois,
- certains produits toxiques comme les sulfures peuvent s'accumuler dans les zones asphyxiées.
- les parasites des racines : champignons, nématodes, insectes et larves.

La structure du sol*

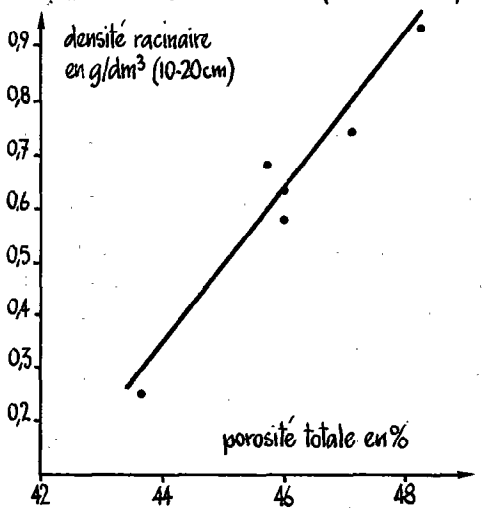
* Voir chapitre 3.

La structure du sol joue un rôle fondamental dans la croissance des racines d'une culture. C'est la structure qui détermine sa *porosité* :
- les conditions d'aération du sol et des racines,
- la circulation de l'eau et le drainage,
- le nombre et la taille des pores dans lesquels les racines vont pouvoir pénétrer.

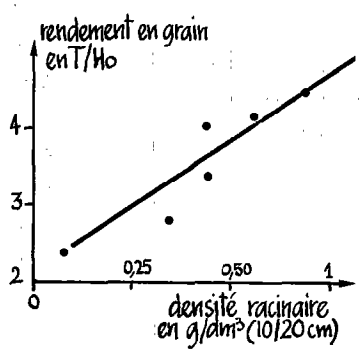
Porosité et enracinement

Des expérimentations réalisées par l'IRAT sur sols ferrugineux en 1969 au Sénégal montrent que pour le maïs :
- plus la porosité est importante, plus le système racinaire se développe,
- plus la densité racinaire est importante, meilleur est le rendement du maïs.

Relation entre la porosité du sol et la densité racinaire d'une culture de maïs (Nicou - IRAT).



Relation entre la densité racinaire et le rendement d'une culture de maïs (Nicou - IRAT).



LES OBSTACLES A LA CROISSANCE DES RACINES

Dans un sol, les racines peuvent rencontrer différents types d'obstacles qui vont modifier leur croissance et, de ce fait, l'aspect général du système racinaire de la plante.

• Obstacles liés à la structure du sol

Toute zone où la porosité (donc la densité apparente) change peut être un obstacle à la pénétration des racines :

. zones où la porosité est plus faible : zone plus tassée (motte de terre compacte), horizon du sol non travaillé,

. zones où la porosité est beaucoup plus forte : zones creuses, fentes de retrait en sol très argileux, galeries d'animaux.

Plus la transition entre deux zones de structure différentes est brutale, plus les racines ont du mal à y pénétrer.

• Autres types d'obstacle

. pierres, changement d'horizon pédologique,

. présences de matières organiques non décomposées,

. gley, zones asphyxiées,

. nappe d'eau.

L'observation des racines lors de la réalisation d'un profil cultural permet de repérer les différents obstacles présents et leurs effets sur l'enracinement.

En arrivant sur un obstacle, la racine peut modifier sa trajectoire, changer d'aspect ou arrêter sa croissance.

Le tableau suivant présente les réactions visibles des racines face à différents types d'obstacles.

Lorsque les obstacles sont importants et que la majorité des racines primaires et secondaires d'une plante sont modifiées, leur répartition dans le sol devient hétérogène.

Un volume important du sol est donc inexploré.

Les schémas d'enracinement qui se développent dans un milieu défavorable sont déformés.

Un obstacle est plus ou moins gênant selon le type de système racinaire, les répercussions sur un système pivotant sont souvent plus importantes que sur un système fasciculé.

Un enracinement réduit a un effet néfaste d'autant plus important sur le rendement que le sol est pauvre.

Les plantes sont donc moins bien alimentées, réduisent leur croissance aérienne puis racinaire, ce qui limite le *rendement* de la culture.

Des systèmes racinaires déformés ont des conséquences néfastes sur le fonctionnement des plantes :

• d'une part, les racines réduisent leur activité lorsqu'elles sont déformées ou asphyxiées.

• d'autre part, le volume de sol exploité par les racines est réduit.

COMMENT FAVORISER L'ENRACINEMENT

Travail du sol et enracinement*

* Voir chapitre 3.

Pour favoriser l'enracinement des cultures, il est nécessaire d'avoir un sol bien aéré, avec une porosité structurale importante. C'est le travail du sol qui permet la création d'une structure favorable au bon développement du système racinaire. Mais la jonction entre l'horizon travaillé et l'horizon inférieur ne doit pas être trop marquée par un changement brutal de densité.

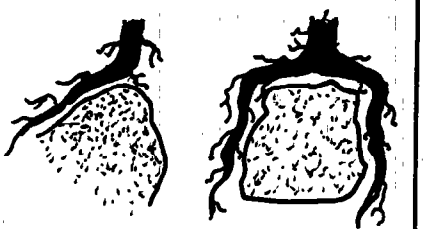
Pour la grande majorité des cultures, 70% à 80% des racines se trouvent dans les 25 à 30 premiers centimètres. Cela correspond, dans la plupart des cas, à l'horizon du sol le plus riche en matières organiques et en éléments minéraux. En Haïti, l'horizon travaillé n'excède jamais 20 cm lorsque le travail du sol est réalisé à la charrue (traction animale) et 15 cm lorsqu'il est travaillé à la houe. Dans de nombreuses situations il est inférieur à 5 cm.

L'augmentation de la profondeur de travail du sol permet souvent un développement plus important des racines, mais il a pour effet en même temps de diluer la matière organique de l'horizon supérieur dans un plus grand volume de terre.

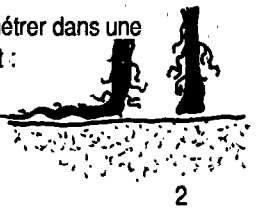
La réalisation de buttes ou billons à pour effet de mettre à disposition des plantes

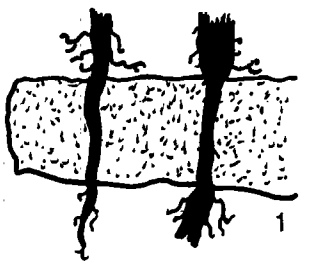
Obstacles structuraux
- Mottes compactes
- Zones tassées
- Lissages dus au passage d'un outil (charrue)

• Les racines essaient de contourner l'obstacle ;
- Elles sont coudées
- Les racines pivots sont fourchues
- Leur trajectoire devient horizontale
- Certaines se terminent en massue



• Les racines qui ont réussi à pénétrer dans une zone plus compacte, tassée, sont :
- sans ramification et droites (1)
- étranglées, aplaties (2)

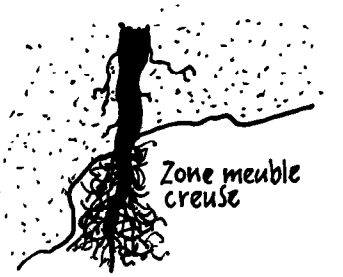




- Zones creuses (fentes et retraits)

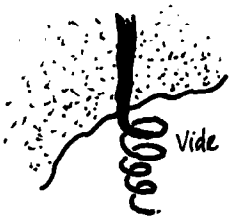
• Les racines n'adhèrent plus à la terre et n'arrivent plus à trouver d'appui :
- il y a une prolifération de ramifications et de poils absorbants.
La racine a un aspect velu.

- Zone très meuble sur un horizon tassé



- Espace vide

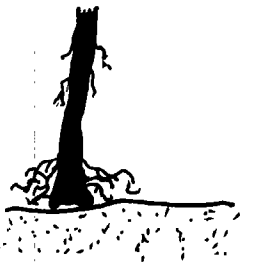
• Racine en tortillon.



Autres obstacles :
- Pierres/profondeur du sol
- Paquets de matières organiques non décomposées
- Zones asphyxiantes, gley

• Les racines sont coudées ; leur trajectoire est modifiée ; elles deviennent éventuellement horizontales (taille de l'obstacle).

• La racine arrête sa croissance, se renfle à son extrémité où elle développe de nombreuses ramifications.



- Présence d'une nappe d'eau

• Les réactions sont semblables à celles des racines buttant sur un horizon très tassé.

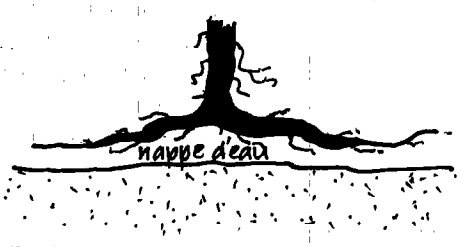


Figure 99 : réactions des racines à divers types d'obstacles, telles qu'on peut les observer.

un grand volume de terre meuble, tout en concentrant localement la matière organique de l'horizon de surface.
Dans certains cas, c'est la profondeur du sol qui limite l'enracinement, notamment sur les sols érodés des mornes où la roche est parfois apparente.

Observation d'un enracinement

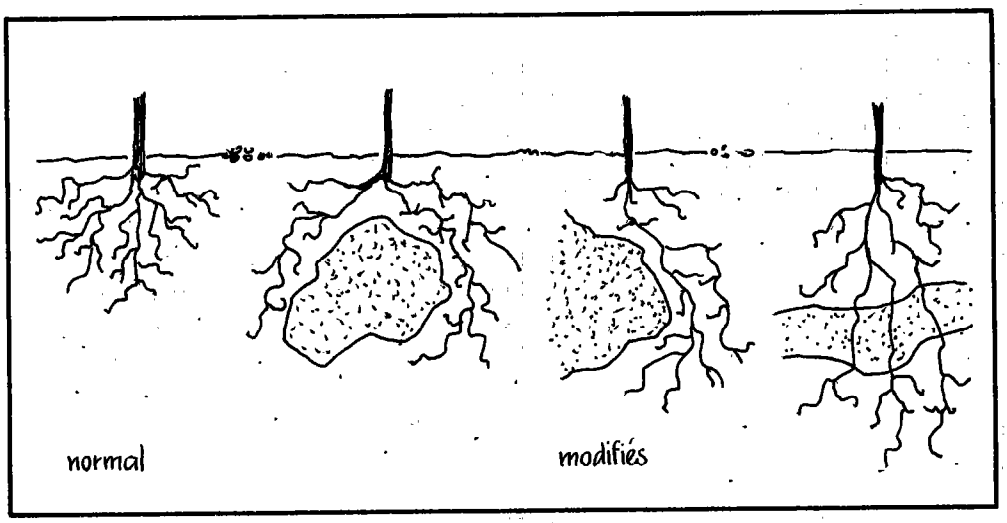
Lorsque l'on réalise un diagnostic sur une culture en place, il est nécessaire d'évaluer le développement de son système racinaire. Des méthodes d'observation sont décrites dans le chapitre sur le *profil cultural**.

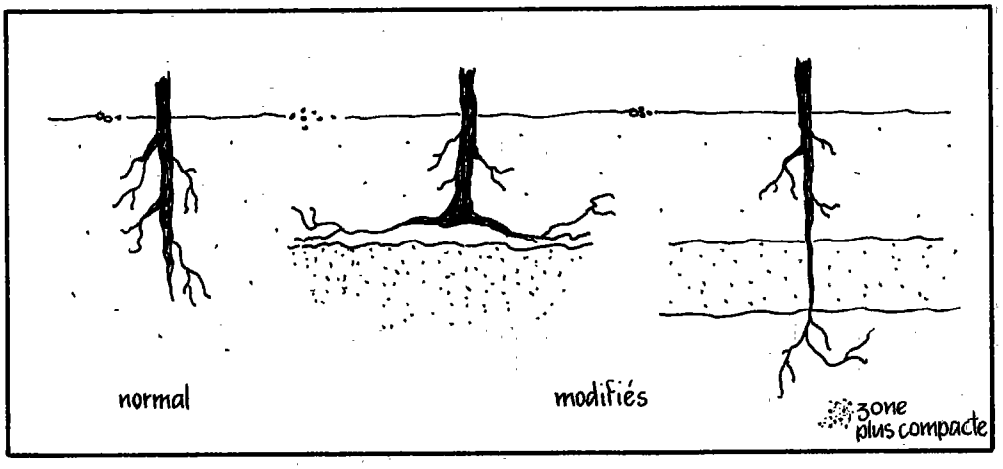
Pour porter un jugement sur l'enracinement d'une culture, il est nécessaire d'avoir des *références* telles que le type d'enracinement correspondant aux meilleurs

* Voir chapitre 3.

Figure 100 : systèmes racinaires fasciculés, normal et modifiés.

Figure 101 : systèmes racinaires pivotants, normal et modifiés.





rendements pour la même culture et dans les mêmes conditions. De telles références n'existent pas en Haïti. Cependant, la comparaison d'enracinements observés en différents points d'une parcelle ou sur plusieurs parcelles d'une même zone peut permettre d'expliquer certaines différences de rendement. De telles observations sont indispensables lorsque l'on cherche, par exemple, à comparer l'effet de différentes techniques de travail du sol.

COMPETITION ENTRE LES PLANTES POUR LES FACTEURS DU SOL

La compétition pour les facteurs du sol entre les différentes plantes d'une culture (ou d'une association de culture) commence généralement plus tôt que pour la lumière.
De la même manière qu'un enracinement insuffisant limite la croissance des parties aériennes, une plante qui ne reçoit pas suffisamment de lumière (ombre d'autres plantes au début de son cycle par exemple) aura un enracinement limité.

CONCURRENCE VARIABLE POUR LES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Cette concurrence se produit dès que les zones d'épuisement autour des racines des différentes plantes se rejoignent.
Elle est plus rapide pour l'eau et les ions nitrates (NO_3^-) qui sont plus mobiles que le phosphore et le potassium.
La zone d'épuisement de l'eau peut s'étendre jusqu'à 25 cm autour d'une racine.
Les ions mobiles (NO_3^-) sont entraînés par l'eau en mouvement dans le sol et leur

zones d'épuisement peuvent correspondre à celle de l'eau s'ils sont absorbés dès qu'ils arrivent aux racines.

Les éléments nutritifs comme le phosphore, le calcium, le potassium, l'ammonium, sont absorbés à la surface des particules du sol. Leur concentration est faible dans l'eau et leur déplacement concerne de très faibles distances (seulement quelques millimètres pour le phosphore). Les zones d'épuisement de ces ions est réduite à quelques millimètres autour des racines. La concurrence pour ces éléments est donc très faible, sauf dans le cas d'une densité racinaire importante, les systèmes racinaires se pénétrant l'un dans l'autre.

En conclusion :
• un enracinement dense est nécessaire pour une bonne alimentation en potassium mais surtout en phosphore, d'autant plus que le sol en est peu pourvu,
• la compétition est forte pour l'eau et l'azote et peut se manifester assez tôt.
Ces principes sont valables quelques soient les espèces cultivées dans les associations.

COMPÉTITIVITÉ DES PLANTES POUR LES FACTEURS DU SOL

Selon les types d'enracinement, certaines espèces sont plus ou moins compétitives pour les facteurs du sol. La compétitivité dépend du volume de sol exploité, de la répartition spatiale des racines (notamment en profondeur) et de la densité de racines dans le volume exploré. C'est surtout un développement rapide des racines et une absorption précoce qui détermine une forte compétitivité d'une espèce pour les éléments mobiles. Mais c'est la richesse du milieu qui détermine le degré de concurrence entre les plantes pour une *densité donnée*.

UTILISATION COMPLÉMENTAIRE DES FACTEURS DU SOL

La plupart des profils racinaires observés en Haïti sur des associations de cultures annuelles montrent que 80% des racines sont concentrées dans les horizons de surface (25 à 30 cm) et en particulier dans l'horizon travaillé (15 premiers centimètres). Il n'y a donc généralement pas d'utilisation complémentaire des différents horizons par des profondeurs d'enracinement différentes. Il a été montré à Madian que le *pois congo* et le sorgho cultivés en association exploitent aussi intensément l'horizon superficiel malgré le caractère pivotant du système racinaire du *pois congo*.

Par contre, cette complémentarité existe et joue un rôle important dans les parcelles arborées, notamment les jardins "devant porte-kaye". Dans ce cas, les arbres puisent les éléments dont ils ont besoin à plusieurs mètres de profondeur et les restituent en surface lorsqu'ils perdent leurs feuilles. L'horizon superficiel est ainsi régulièrement enrichi en matières organiques et éléments minéraux disponibles pour les plantes annuelles.

Dans les associations de légumineuses et non-légumineuses, la légumineuse satisfait généralement l'essentiel de ses besoins en azote par la fixation symbiotique. Les autres composantes exploitent la solution du sol. Certains auteurs ont montré que la fixation symbiotique s'effectuait mieux en présence de non-légumineuse, c'est à dire quand le milieu est appauvri en azote.

Dans certaines associations, les besoins très contrastés des différentes composantes peuvent conduire à une utilisation complémentaire des divers éléments minéraux (ou formes d'éléments).

Enfin, la meilleure utilisation des facteurs du sol par certaines associations de cultures s'explique le plus souvent par un décalage dans le temps des périodes de fortes demandes (pour ces facteurs) des différentes composantes.

La gestion de la lumière

La fabrication de matière sèche par les plantes suppose la transformation d'énergie lumineuse par l'assimilation chlorophylienne. En milieu tropical comme en Haïti, le manque d'eau ou la faible fertilité chimique des sols sont souvent des facteurs plus limitants pour les plantes que la lumière. Une variation de celle-ci n'a alors pas de conséquence sur le rendement.

Il arrive toutefois que la lumière soit un facteur important du rendement ; dans les régions d'altitude où la nébulosité peut être forte en saison des pluies, dans les zones irriguées où l'eau est abondante. Dans les deux cas, la limitation sera surtout sensible si la fertilité chimique du sol est élevée.

La pratique des cultures associées génère aussi des compétitions par rapport à la lumière entre les plantes qui méritent d'être soigneusement analysées avant de porter un jugement.

Utilisation de la lumière par la plante

RAYONNEMENT NET ET PRODUCTION POTENTIELLE

L'énergie lumineuse est à la base de toute production de matière sèche. Son origine est le soleil.

Le rayonnement est un ensemble d'ondes électromagnétiques qui transportent une énergie. Une radiation est un ensemble d'ondes de même longueur d'onde.

Nous distinguerons :

- les radiations visibles (de courte longueur d'ondes) qui jouent sur la photosynthèse,
- les autres radiations, et en particulier celles de grandes longeurs d'ondes (infrarouge), qui jouent sur l'évaporation.

Le rayonnement global (R_G) est composé de l'ensemble des rayonnements:

- le rayonnement direct (rayons de soleil),
- les rayonnements diffus, émis par l'atmosphère et tous les corps.

La part du rayonnement global reçue par le sol et les plantes est *le rayonnement net* (R_N). Cette énergie sert à :

- l'échauffement de l'air, du sol, des plantes,
- l'évaporation de l'eau,
- la photosynthèse.

Le rayonnement net correspond au bilan représenté par la figure n° 101 et s'écrit:

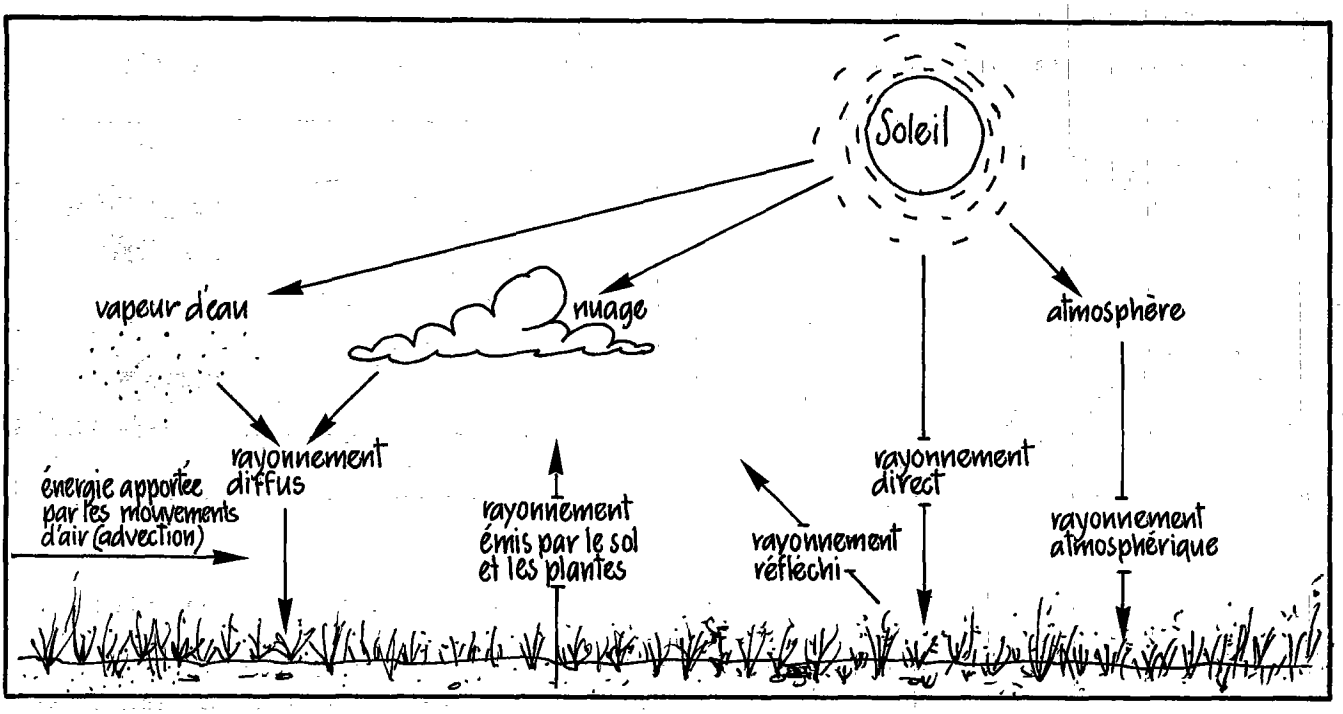
$R_N = R_G$ - rayonnement réfléchi - rayonnement émis

La part de rayonnement réfléchi varie de 10 à 20 % pour un sol nu, et de 30 à 40 % pour la végétation.

L'énergie lumineuse est une donnée climatique sur laquelle le paysan ne peut pas intervenir directement. Elle diffère de ce fait des autres facteurs de croissance. La lumière devient souvent le facteur limitant lorsqu'on a recours à l'irrigation et à des engrais minéraux car l'eau et la fertilité du sol ne sont alors plus limitants. L'un des buts des systèmes de culture est donc d'exploiter la lumière de façon optimale.

La production potentielle est la quantité de matière sèche totale qui peut être produite quand tous les facteurs et conditions de croissance sont optimum et que seule l'énergie lumineuse est limitante. La production potentielle varie d'un endroit à l'autre. En Haïti elle diminue quand l'altitude augmente, les heures d'ensoleillement étant plus réduites car il y a plus de nuages.

Figure 102 : les composantes du bilan radiatif au niveau du peuplement végétal et du sol



L'INDICE FOLIAIRE



En début de culture, l'indice foliaire est très faible. Les plantes (patates douces) couvrent très peu le sol (photo M. Bonnefoy).

La capacité d'un peuplement végétal à capter l'énergie lumineuse dépend de la surface totale des feuilles vertes par unité de surface du sol; c'est *l'indice foliaire,* égal au rapport :

$$\frac{\text{surface des feuilles vertes}}{\text{surface du sol}} = \text{indice foliaire}$$

Au fur et à mesure que les plantes poussent, l'indice foliaire augmente; le sol et la base des plantes sont de moins en moins éclairées. Seules les feuilles du haut et du milieu reçoivent assez de lumière pour que la photosynthèse soit supérieure à la respiration.
Ainsi, par exemple, dans un champ de riz où la densité est très forte, les feuilles du bas ne recevant plus assez de lumière jaunissent rapidement.
Au contraire, lorsque la densité est très faible, la lumière atteint directement le sol qui a tendance à se dessécher en surface.
L'intérêt du paysan est que le peuplement cultivé sur sa parcelle ait un indice foliaire *optimal* le plus longtemps possible. Mais plus l'indice foliaire augmente, plus les besoins en eau et en éléments minéraux augmentent.

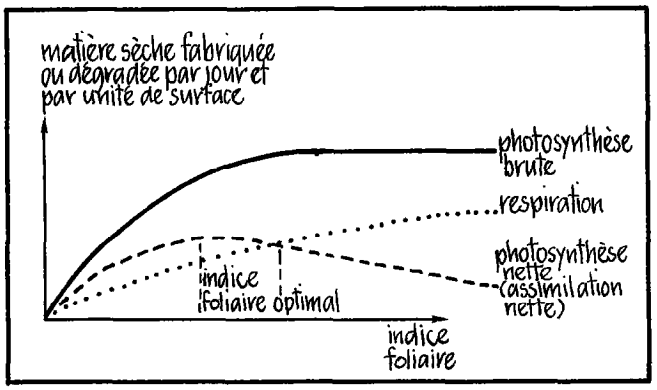
NOTION D'INDICE FOLIAIRE OPTIMAL

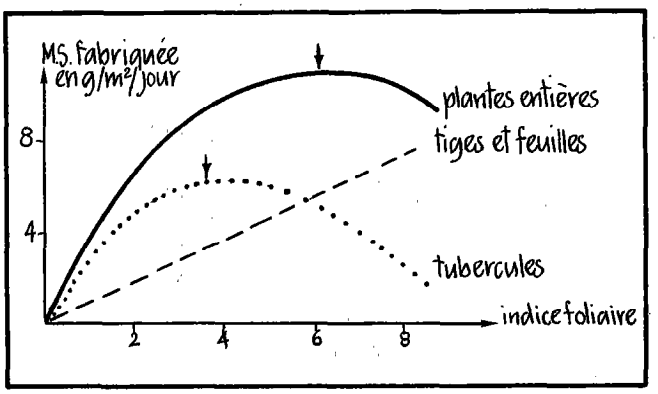
Lorsque l'indice foliaire augmente, la photosynthèse augmente, puis se stabilise à un maximum quand la quasi-totalité de la lumière est interceptée par les feuilles. Mais la respiration continue d'augmenter (sauf dans certains cas où elle peut se stabiliser); le bilan, donc l'*assimilation nette* ou la quantité de matière sèche fabriquée diminue. On définit ainsi pour une espèce et un rayonnement donnés une plage d'*indice foliaire optimal* .
La valeur de l'indice foliaire optimal suppose que les autres facteurs ne soient pas limitants. L'indice foliaire optimal diffère selon l'organe récolté.

Au delà d'un indice foliaire de 3-4, le manioc fabrique plus de tige et de feuilles et moins de tubercules. Pour la production totale de matière sèche, l'indice optimal est de 6; pour la production de tubercules il est de 3-4.

Figure 103 : variation de l'assimilation nette (matière sèche fabriquée par la photosynthèse moins celle dégradée par la respiration) en fonction de l'indice foliaire d'une culture.

Figure 104 : production et répartition de la matière sèche dans les différents organes du manioc en fonction de l'indice foliaire.





INDICE FOLIAIRE ET PORT DE LA PLANTE

L'indice foliaire optimal est différent selon les espèces et notamment le port des plantes :

- il est d'environ 6 pour les plantes à port dressé comme le riz,
- il est de 3-4 pour des plantes recouvrant mieux le sol comme la patate douce.

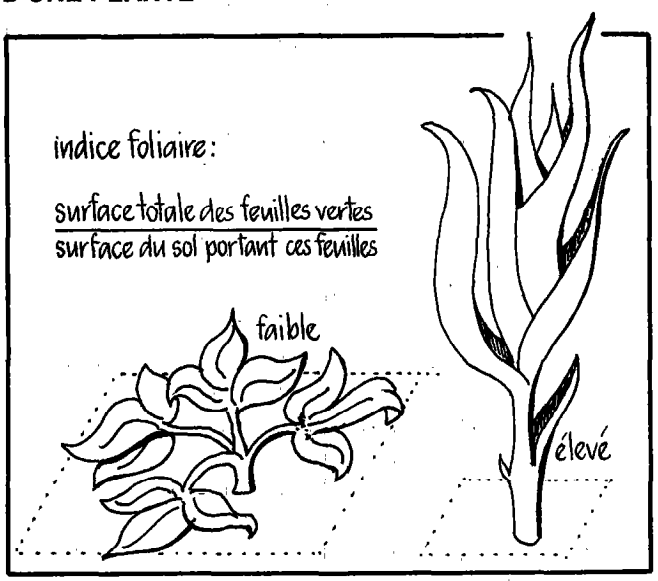
Il diminue lorsque la luminosité est faible. Il suppose que les autres facteurs ne soient pas limitants.

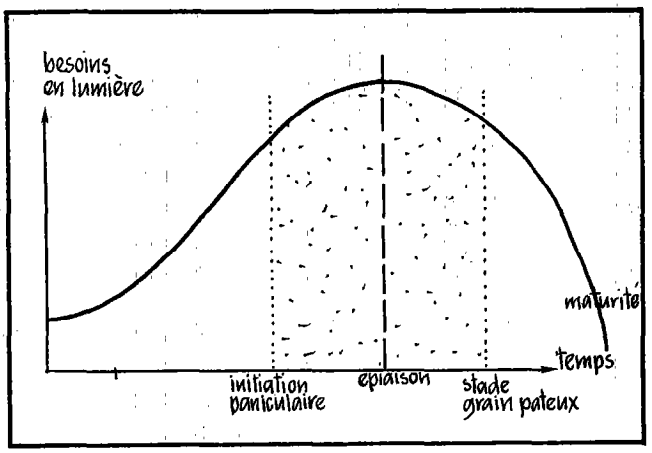
En culture intensive, la sélection de variétés à port particulièrement dressé permet d'obtenir un meilleur rendement de la photosynthèse (recherche actuelle sur le riz aux Philippines).

LES VARIATIONS DANS LE TEMPS DES BESOINS EN LUMIÈRE D'UNE PLANTE

Figure 105 : l'indice foliaire dépend du port de la plante.

Figure 106 : besoins en énergie solaire du riz à différents stades de croissance et de développement





Période critique pour les besoins en lumière, durant laquelle un faible rayonnement peut provoquer une forte stérilité, donc un faible rendement.

UTILISER AU MIEUX LA LUMIERE

CHOISIR LA DENSITÉ ET LA STRUCTURE DU PEUPLEMENT

Densité

Plus le nombre de plantes par unité de surface est important, plus la compétition pour la lumière est forte. Une trop forte densité provoque un *étiolement* des plantes : c'est à dire une élongation des tiges et des feuilles, la plante est plus haute et plus fine; elle est aussi plus fragile et risque d'être couchée par le vent (c'est la verse des céréales). Mais le plus souvent en Haïti, c'est la disponibilité en eau ou en éléments minéraux qui détermine la densité optimale.

Organisation spatiale

La disposition des plantes dans un champ qui permet une meilleure utilisation de la lumière est la disposition en quinconce car elle offre à chaque plante un espace identique.

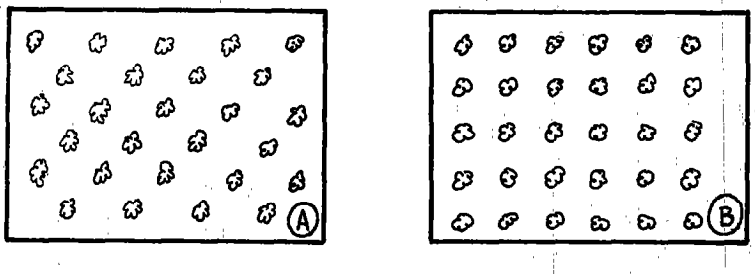


Figure 107 : la disposition A des plantes permet une utilisation plus rationnelle de la lumière que la disposition B.

Plusieurs techniques permettent de favoriser un démarrage rapide des plantes :
- en choisissant bien la date de semis ou de plantation pour que les conditions de croissance soient favorables,
- en ayant des semences ou des boutures de bonne qualité,
- en créant une structure du sol favorable à une bonne germination et à un enracinement rapide,
- en limitant la compétition avec les adventices.



Le sarclage a pour effet de limiter la compétition des mauvaises herbes sur la culture, ici haricots (photo G. de Laubier).

PROLONGER LA VIE DES FEUILLES

L'attaque de parasites et certaines maladies réduisent la surface foliaire. Une feuille qui n'est pas verte ne fonctionne plus. A titre d'exemple, la réduction de la surface foliaire du haricot par les maladies à Salagnac est responsable d'une chute du rendement de 35 %.
Dans le cas des céréales, à la fin du cycle, durant le remplissage des grains, le nombre de *feuilles vertes* est réduit (seules les feuilles du haut fonctionnent). Une mort précoce de ces feuilles diminue fortement le rendement.
Pour maintenir un indice foliaire important le plus lontemps possible, il faut limiter les attaques de parasites et les maladies et favoriser une alimentation correcte en eau et éléments minéraux en fin de cycle.

Les maladies et ravageurs réduisent l'indice foliaire des cultures ; c'est le cas ici d'un jeune choux dévoré par les chenilles (photo G. de Laubier).

Culture d'ignames dans un jardin boisé. Le tuteurage des ignames et la culture en étages sont des techniques permettant une utilisation très rationnelle de la lumière (photo D. Mermet).





AUTRES TECHNIQUES

Le tuteurage des plantes grimpantes permet une meilleure utilisation de la lumière, c'est le cas de l'igname et des variétés de haricots grimpants. Cela est d'autant plus important que ces plantes sont en association avec d'autres espèces.

LA LUMIERE DANS LES ASSOCIATIONS DE CULTURES

L'un des buts des systèmes de culture est d'exploiter la lumière de façon optimale. Cela nécessite une interception élevée de la lumière mais aussi son utilisation efficace. Des valeurs maximales d'interception de la lumière peuvent être atteintes en culture pure avec des densités optimales de plantes. Mais dans les associations de cultures, la lumière est souvent utilisée de manière plus efficace (car la surface foliaire optimale est obtenue plus rapidement, surtout en sols peu fertiles).

CULTURES EN ÉTAGES

Les surfaces foliaires des composantes de l'association peuvent occuper différentes strates verticales, la composante la plus haute ayant un feuillage tolérant une lumière forte, et la plus basse étant une plante d'ombre. Comme dans les jardins *"devant porte-kaye"* des paysans haïtiens. Chaque culture, allant des grands arbres aux plantes annuelles basses à croissance lente, est adaptée à son étage particulier de lumière.
C'est le cas de nombreuses autres associations telles que la culture de caféiers et de cacaoyers sous l'ombre d'arbres forestiers ou fruitiers.

COMPÉTITION INTER-SPÉCIFIQUE

Dans une association, il y a toujours des plantes dominantes et des plantes dominées.

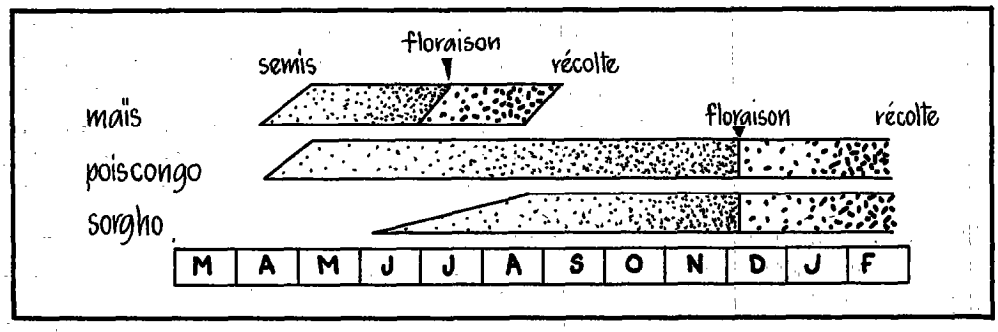
Les plantes les plus hautes sont dominantes et les plus basses sont dominées. De légères différences de hauteur au début de la croissance créent une dominance qui généralement s'accentue. L'association doit permettre de réduire la concurrence pour la lumière. Différentes techniques le permettent :

- la disposition en ligne double ou en poquet des plantes dominantes. Ainsi dans l'association maïs/arachide, il faut concentrer au maximum le maïs pour qu'il laisse passer la lumière. Lorsque le paysan haïtien introduit de l'arachide dans une association comprenant du maïs, il diminue la densité de ce dernier,
- le choix de la date de semis permet de mettre en situation de domination une espèce par rapport à l'autre,
- le choix d'espèces dominées tolérant l'ombre,
- l'inclinaison des feuilles joue aussi un rôle important : elle permet une meilleure utilisation de la lumière par l'espèce elle-même mais accroît aussi la lumière disponible pour les plantes dominées. C'est pourquoi les centres de recherche sélectionnent depuis quelques années des variétés de maïs à feuilles inclinées, spécialement adaptées aux associations (maïs/manioc, maïs/taro).

Association de maïs et de vigna. Le vigna tolère bien l'ombre mais le maïs est très sensible à un manque de lumière (photo D. Mermet).



Figure 108 : calendrier de l'association de cultures maïs/sorgho/pois congo à Petite Rivière de Nippes



PLANTES D'OMBRE, PLANTES DE LUMIÈRE

Certaines plantes ont la capacité de s'adapter aux faibles intensités lumineuses en diminuant dans l'obscurité leur respiration, leur rapport racines/pousses et en augmentant leur rapport surface foliaire/poids des feuilles.

Plantes d'ombre :

- le *malanga* tolère bien l'ombre et adapte son type de croissance à la luminosité. Les plantes qui sont ombragées ont des pétioles plus longs et des feuilles beaucoup plus larges que celles qui sont exposées directement à la lumière solaire,
- le *pois connu* (vigna) tolère aussi l'ombre et est souvent cultivé sous céréales hautes comme le maïs ou le sorgho,
- l'igname, plante forestière, tolère bien l'ombre.

Plantes de lumière :

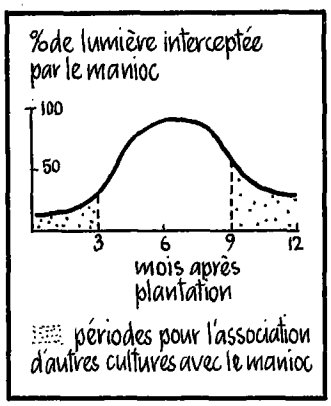
- les céréales comme le maïs ou le riz sont très sensibles à un manque de lumière. C'est aussi le cas du manioc.

CULTURES DÉROBÉES OU DE RELAIS

On appelle culture dérobée la culture d'espèces dont les cycles se chevauchent de façon à ce que les périodes où les exigences des différentes espèces sont maximales ne coïncident pas.

Ainsi, le manioc est une espèce exigeante en lumière mais lente à établir sa surface foliaire. Cela permet d'effectuer une culture de courte durée au départ (vigna - maïs) ou à la fin du cycle (haricot) lorsque la surface foliaire décroît.

Figure 109 : interception de la lumière par le manioc pendant son cycle végétatif et périodes possibles pour des cultures associées.

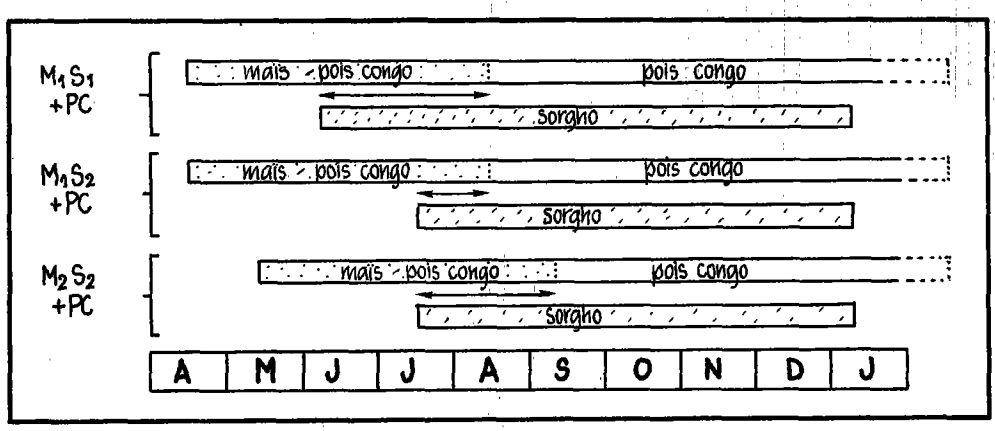


LES RELATIONS DE COMPÉTITION DANS L'ASSOCIATION MAÏS - SORGHO - POIS CONGO

Petite Rivière de Nippes est située dans les mornes de basse altitude, sur le versant nord des Nippes. Le système de culture largement dominant dans cette zone est l'association maïs/sorgho/*pois congo* (calendrier de l'association ci-dessous).

Dans cette région, la saison pluvieuse s'étend de la mi-avril à la fin octobre, elle est coupée par une petite saison sèche en juin-juillet.
Le principal facteur limitant de la croissance plus ou moins accentué selon le type de sol est l'eau. La contrainte principale que rencontrent les paysans est la lutte contre les adventices qui nécessite énormément de main-d'oeuvre (en moyenne 400 heures par ha au «*couteau digo*»). De plus, les dates de semis étant déterminées par l'arrivée des premières pluies, l'ensemble des parcelles doivent être sarclées en même temps, ce qui occasionne des pointes de travail insurmontables.

Figure 110 : calendrier de l'association de cultures maïs/ sorgho/pois congo à Petite Rivière de Nippes



La succession des travaux (itinéraire technique) est la suivante :
• la préparation du sol a lieu dès les premières pluies : "*dechoukaj*" du sorgho et sarclage à la houe ou au «*couteau digo*» ;
• dès que le sol est préparé, le maïs et le *pois congo* sont semés en poquets. Dans chaque poquet on trouve : 3 à 6 graines de maïs, 0 à 3 graines de *pois congo*.

Les semis du maïs et du *pois congo* sont toujours réalisés avant la saison sèche de juin.
• Le premier sarclage a pour objectif d'éliminer la compétition des adventices sur les plantes cultivées et de préparer le sol pour l'implantation du sorgho.
• Le semis du sorgho : les dates sont beaucoup plus étalées que pour le maïs, de la fin mai à la fin août. Le sorgho est semé en poquets d'une trentaine de graines.
• Un deuxième sarclage est réalisé avant la récolte du maïs et parfois même un troisième selon le développement des adventices.

Le maïs est récolté en août-septembre, il ne reste alors sur la parcelle que le sorgho récolté fin janvier (photopériodique) et le *pois congo* dont la récolte s'étale de décembre à mars.

LE FONCTIONNEMENT DE L'ASSOCIATION

Des observations en parcelles paysannes, accompagnées d'expérimentations en station, ont permis de mettre en évidence certaines relations qui existent entre les pratiques paysannes et le fonctionnement du peuplement végétal dans le milieu. Nous en présentons ici quelques résultats.

Conséquence du semis en poquets du maïs

La question que l'on peut se poser est la suivante : la structure du semis en poquets entraîne-t-elle une compétition importante entre les pieds, au point de limiter la croissance du maïs et le rendement final ?
En effet, nous pouvons faire l'hypothèse que la structure en poquets ne permet pas une utilisation homogène de l'espace, les racines et les feuilles étant moins bien réparties qu'avec une structure par pied unique.
Pour répondre à cette question, on réalisa une expérimentation comparant des cultures de maïs semées à la même *densité* mais de *structures* différentes :
- des peuplements en structure concentrée, c'est-à-dire en poquets de 4 pieds,
- des peuplements en structure diluée, c'est à dire en poquets de 1 pied.

Les densités sont identiques et égales à 50 000 pieds/ha.



Le semis en poquet du maïs permet de faciliter les sarclages et de laisser passer plus de lumière pour le sorgho qui sera semé ultérieurement entre les poquets de maïs (photo G. de Laubier).

• Résultats

. En début de cycle, le maïs en poquets de 4 pieds a une croissance légèrement plus faible que le traitement en structure diluée. Puis cette différence de croissance diminue pour s'annuler à la floraison et plutôt s'inverser à la récolte. Mais ces différences ne sont pas significatives.
. Par contre, la forme des pieds varie : le rapport hauteur/diamètre est significativement plus élevé pour la structure concentrée, la quantité de lumière reçue par pied est donc moindre.
. Le rendement en grain et les valeurs des composantes du rendement n'ont pas de valeurs significativement différentes.

• Interprétations

Le semis en poquets augmente la compétition pour la lumière entre les plantes, cela se traduit par un étiolement : les pieds s'étirent en hauteur et le rapport hauteur/diamètre augmente avec le nombre de pieds par poquet. L'interception de la lumière n'est pas optimale mais cela n'a pas de répercussion sur le rendement pour deux raisons :
. le facteur limitant n'est pas la lumière mais l'eau. Or des observations montrent que l'enracinement est équivalent entre un semis concentré ou dilué. La contrainte en eau joue donc de la même façon, que le maïs soit en poquet ou non,
. tant que l'indice foliaire ne dépasse pas 3 (dans ces conditions de luminosité) le nombre de pieds par poquet ne joue pas sur le rendement.

Les densités de maïs pratiquées par les paysans sont telles que l'indice foliaire du maïs est toujours inférieur à 3. Cela veut dire que l'utilisation de l'énergie lumineuse n'est pas maximale.
Dans ce cas, c'est le nombre de pieds total qui caractérise la densité et non le nombre de poquets.

Figure 111 : comparaison des résultats obtenus lors de cultures de maïs de même densité avec une structure diluée (1 pied par poquet) et une structure concentrée (4 pieds par poquet).

	4 pieds par poquet		1 pied par poquet	
	par pied	par unité de surface	par pied	par unité de surface
Densité à la récolte		49600 p /ha		46650 p /ha
Matière sèche :				
à 27 jours*	1,13 g/pied	0,059 t/ha	1,37 g /pied	0,072 t/ha
à la floraison	74 g/pied	3,700 t/ha	78,6 g/pied	3,670 t/ha
à la récolte	118 g/pied	6,28 t/ha	114,5 g/pied	5,8 t/ha
Rendement :	27,8 g/pied	14 qx/ha	25,2 g/pied	11,8 qx/ha
nombre de grains	159 g/pied	782 g/m2	151 g/pied	701 g/m2
poids de 1000 grains	173 g.		166 g.	
nbr. d'épis/pied	0,84		0,87	
NG/MS floraison (efficience de la croissance)	2,13 grains/g. de MS		2,11 grains/g. de MS	
Indice foliaire	1,65		1,54	
Taille des pieds :				
- hauteur H	175 cm		175 cm	
- diamètre D	1,5 cm		1,57 cm	
- H/D *	117		111	
Développement :				
- nombre de feuilles total	22,3		22,8	
- durée semis-floraison	73,7 jours		73 jours	

* différence significative à 5 %.

• **Conclusion**
Le rendement n'est pas affecté, dans ces conditions, par un semis en poquet mais n'en est pas non plus amélioré. En revanche, cette pratique permet :
• de gagner du temps lors des sarclages,
• de laisser passer plus de lumière pour le sorgho, semé ultérieurement entre les poquets de maïs.

EFFET DE LA COMPÉTION DU MAÏS ET DU POIS CONGO SUR LE RENDEMENT DU SORGHO

Pour étudier les relations de compétition, en particulier pour la lumière, entre les différentes espèces de l'association, le protocole suivant a été réalisé. Trois traitements correspondants à des dates différentes de semis du maïs et du *pois congo* d'une part et de sorgho d'autre part ont été mis en place.

• La comparaison de M1 S1 et M1 S2 permet de mettre en évidence l'effet sur le rendement du sorgho, de la longueur de son cycle lorsqu'il est associé au maïs (cette variété de sorgho étant photopériodique, plus il est semé tard, plus son cycle est court).
• La comparaison de M1 S2 et M2 S2 permet de mettre en évidence l'effet de la durée de recouvrement des cycles de maïs et de sorgho (---) sur le rendement du sorgho.

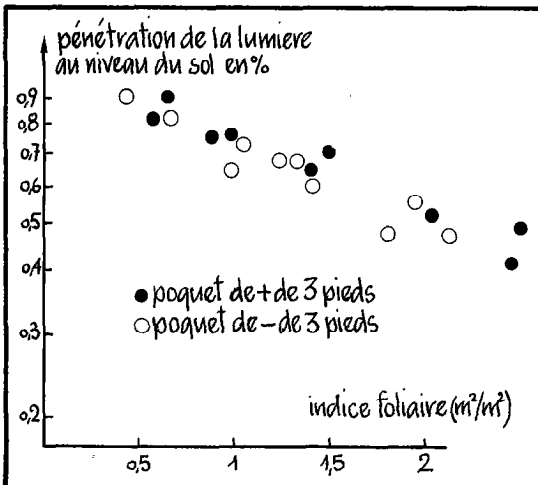
• Ces trois traitements ont été croisés avec quatre densités de *pois congo* : 0, 3000, 6000, 12 000 pieds/ha.
• Une parcelle sans maïs (S2; PC 12 000) permet de mettre en évidence l'effet indirect du maïs sur le sorgho (des échantilllons de 24 ou 48 poquets de sorgho ont été suivis dans chaque parcelle).

Lorsque le sorgho est semé, le maïs et le *pois congo* ont déjà une taille importante. La lumière qu'il va recevoir jusqu'à la récolte du maïs dépend de la structure de peuplement du maïs et du *pois congo*. La disposition en poquets de ces plantes permet une meilleure pénétration de la lumière.
La figure 112 met en évidence que plus l'indice foliaire du maïs est important, moins la lumière pénètre. Mais pour un même indice foliaire du maïs, la lumière pénètre mieux quand le nombre de pieds par poquet est élevé (figure 113).

Figure 112 : pénétration de la lumière en fonction de la surface foliaire du maïs.

Figure 113 : pénétration de la lumière en fonction de la structure de peuplement du maïs.

La date de semis du sorgho est peu importante pour les autres espèces. L'ombrage du maïs est tel que la croissance du sorgho n'est importante qu'après la récolte du maïs.

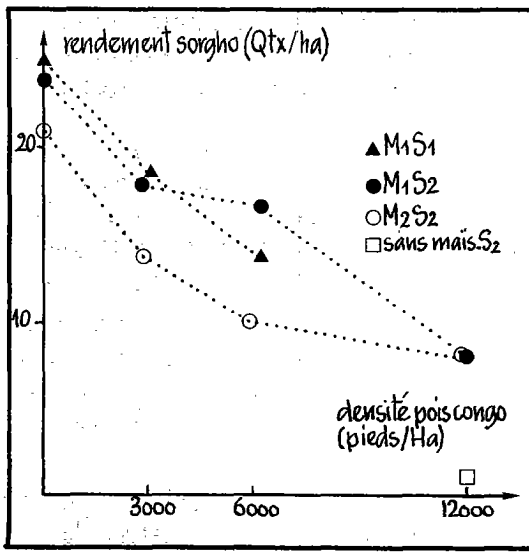


Surface foliaire par pied	Nombre de pieds par poquets	Nombre de poquets par ha	Perméabilité du couvert à la lumière
3046 cm2	2	16 000	59,9 %
3046 cm2	4	8 000	72,3%

Compétition entre le sorgho et le pois congo

Figures 114-115 : rendement du sorgho pour les différents traitements.

Après la récolte du maïs, la croissance du sorgho est limitée par la présence du pois congo. L'effet négatif du *pois congo* est d'autant plus important qu'il a une forte croissance et une forte densité. Cela s'exprime clairement dans la figure 114. Plus la densité du *pois congo* est importante plus le rendement du sorgho est faible. D'autre part, sans maïs, le rendement du sorgho est nul. Cela révèle l'effet indirect du maïs sur le sorgho : la présence du maïs limite la croissance du *pois congo* et provoque son étiolement, ce qui réduit par la suite la dominance du *pois congo* sur le sorgho.



densités du pois congo / Traitements	0	3000	6000	12000	12000 sans maïs
M1 S1	25,4	17,7	14,0	-	-
M1 S2	24,9	17,5	16,5	7,3	0,6
M2 S2	22,2	13,8	10,4	7,6	-

Interprétation des résultats

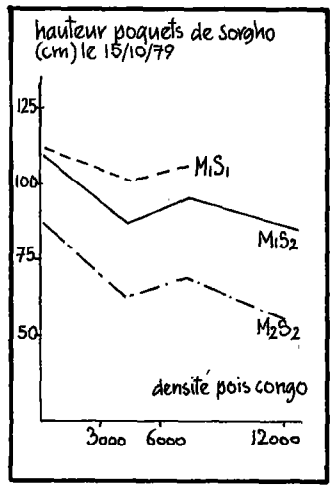
L'analyse de rendement du sorgho met en évidence :

• **l'absence de différence entre les traitements M1 S1 et M1 S2** le raccourcissement du cycle du sorgho photopériodique n'a pas eu d'effet sur son rendement. Pendant la période de croissance végétative supplémentaire, la croissance du sorgho est limitée par la présence du maïs qui crée un ombrage important ;

• **une chute de rendement significative entre M1 S2 et M2 S2**, ce qui indique justement l'effet négatif du maïs sur la croissance du sorgho. Cet effet est d'autant plus marqué que la période de coexistence des deux espèces est longue comme l'exprime la chute de rendement entre M1 S2 et M2 S2. Ceci est vérifié par les mesures de croissance du sorgho (figure 116) ;

• **que plus la densité du *pois congo* augmente, plus le rendement du sorgho chute quels que soient les traitements.** Le *pois congo* est, par son semis précoce, dominant dans la compétition des facteurs de croissance, en particulier l'eau et les éléments minéraux (par ailleurs, des mesures individuelles ont montré que les pieds de sorgho les plus proches du *pois congo* étaient les moins productifs) ;

Figure 116 : croissance du sorgho en fonction de la densité du *pois congo*



• **que le rendement est pratiquement nul lorsque le sorgho est semé dans un peuplement de *pois congo* sans maïs.** Ainsi, le maïs limite la domination du *pois congo* sur le sorgho pour les facteurs de croissance.

Pour un échantillon de poquets de sorgho, les composantes du rendement ont été mesurées. La figure 117 présente celles qui sont révélatrices de l'efficience de la croissance.

A l'augmentation de la densité du pois congo correspond une moindre croissance de l'appareil végétatif, un poids de grains et un nombre d'épis plus faibles. Par contre le rapport poids de grains/poids des appareils végétatifs reste constant. La chute de rendement est donc liée à une diminution de la croissance végétative.

UNE COMPLÉMENTARITÉ JUDICIEUSE

L'association d'espèces à cycle court, comme le maïs, et à cycle long, comme le *pois congo* et le sorgho, permet d'avoir un indice foliaire total élevé durant toute la période pluvieuse (avril à octobre). La croissance rapide du maïs permet de bien utiliser les premières pluies et limite la domination du *pois congo* sur le sorgho. Le semis en poquet du maïs permet au sorgho de démarrer sa phase végétative.

Il existe donc, dans les techniques pratiquées par les paysans, la recherche d'une certaine complémentarité entre les espèces pour l'utilisation de la lumière. Les paysans qui introduisent de l'arachide (*pistache*) dans cette association, diminuent la densité de maïs pour que la lumière pénètre mieux, l'arachide étant une plante basse et exigeante en lumière.

Par ailleurs l'analyse de l'élaboration du rendement du maïs n'a permis de mettre en évidence aucun effet significatif de la présence du *pois congo*, quelle qu'en soit la densité, sur le rendement du maïs.

Figure 117 : quelques caractéristiques des composantes du rendement des échantillons de poquets de sorgho.

Densité du poids congo	M1 S1				M1 S2				M2 S2			
	Matière sèche app. végétatif (MSV)	Poids de grains (PG)	MSV/PG	épis par poquet	Matière sèche app. végétatif (MSV)	Poids de grains (PG)	MSV/PG	épis par poquet	Matière sèche app. végétatif (MSV)	Poids de grains (PG)	MSV/PG	épis par poquet
0 p/ha	118	320	0,37	5,9	109	253	0,43	4,8	104	236	0,44	4,6
3000	80,5	206	0,39	4,5	78,5	187	0,42	4,3	62,8	144	0,43	3,5
6000	67	176	0,38	4,2	72,5	165	0,44	4,3	46,7	106	0,44	3,1
12000	-	-	-	-	33,7	83	0,40	3,2	33	85	0,39	3,0

La gestion de l'eau

L'eau est le constituant principal des végétaux puisqu'elle forme environ 80% de leur poids frais. Elle est indispensable à la vie des cellules et à la quasi-totalité des processus biologiques. Elle joue le rôle de transporteur, d'agent de réaction chimique et elle donne aux plantes leur turgescence (gonflement des cellules qui donne à la plante sa rigidité). Une plante qui perd 15 à 20% de son eau meurt rapidement, excepté certains végétaux comme les mousses ou les lichens.

Les besoins en eau des cultures

TRANSPIRATION ET PHOTOSYNTHÈSE

La transpiration est l'émission d'eau sous forme de vapeur, principalement à travers les stomates, mais aussi à travers la cuticule de la surface des feuilles (fig. 119).
Elle assure le refroidissement de la plante et lui permet de supporter les forts rayonnements du soleil.
Elle crée un appel d'eau dans la plante qui se transmet jusqu'aux racines. Celles-ci acquièrent, de cette manière, la force de succion nécessaire à l'absorption de l'eau du sol et, par la même occasion, des éléments minéraux.
La transpiration foliaire est donc le moteur de la circulation de la sève dans les vaisseaux de la plante.

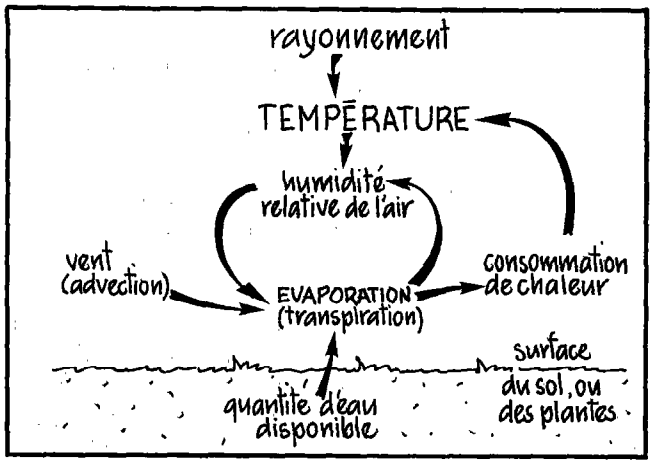
La transpiration consomme une grande quantité d'eau qui ne fait que transiter par la plante. Ainsi, l'eau contenue dans une plante ne représente que 2% de sa consommation totale.
Elle est due à l'énergie d'origine solaire disponible au niveau des feuilles et à un déficit de saturation en eau entre l'air et les feuilles. L'énergie mise en jeu dans ce phénomène est environ dix fois supérieure à celle fixée par la photosynthèse.

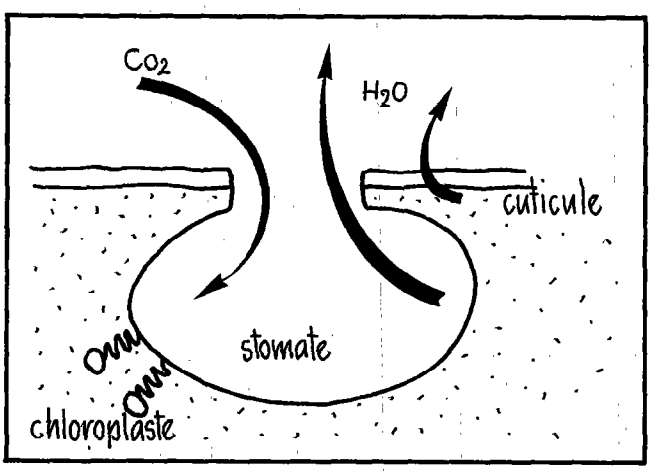
Le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux (évaporation) nécessite 590 calories pour vaporiser 1 g d'eau. Cette énergie est fournie par :
• le *rayonnement net* intercepté par les feuilles sous forme de lumière et de chaleur,
• *l'advection* : le vent, en renouvelant un air sec à la surface des feuilles, augmente la transpiration.
La surface des feuilles est constituée d'une fine membrane très peu perméable : *la cuticule*. Celle-ci est percée de nombreux pores à ouverture variable : *les stomates*. Lorsqu'ils sont ouverts, c'est par eux que se réalisent les échanges gazeux entre la plante et l'atmosphère.

Lorsque le rayonnement solaire devient plus fort, créant une augmentation de température ou une diminution de l'humidité relative, la transpiration augmente. Mais il arrive que la plante soit incapable d'absorber suffisamment d'eau par ses racines pour remplacer celle qui est transpirée. Dans ce cas, la plante fane légèrement et ses stomates se ferment, limitant ainsi les pertes en eau. Mais la fermeture des stomates empêche aussi la fixation du gaz carbonique et la photosynthèse s'arrête ; seules certaines plantes comme l'ananas ou les cactées absorbent le gaz carbonique la nuit, le stockent et réalisent la photosynthèse stomates fermées. Il n'y a plus de production de matière sèche, il peut même y avoir destruction car la respiration continue.

Figure 118 : facteurs intervenant sur l'évaporation à la surface du sol ou sur la transpiration à la surface des feuilles

Figure 119 : échange gazeux à la surface d'une feuille.

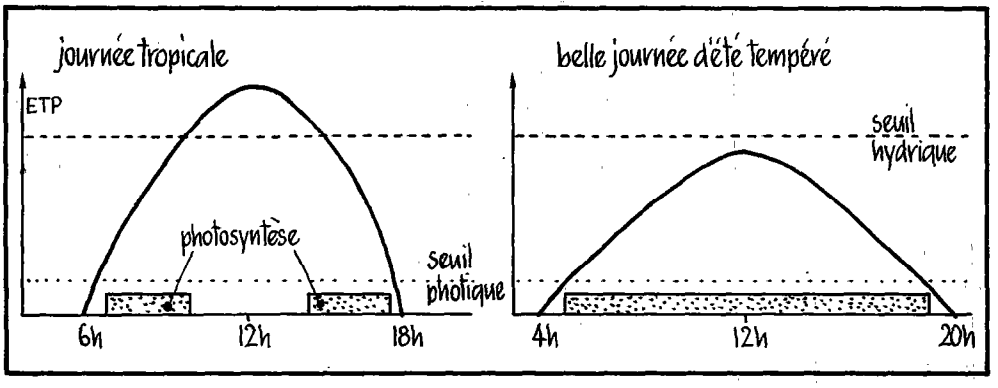




Ce phénomène se produit dans deux situations :
• en période de sécheresse, lorsque la plante ne trouve pas suffisamment d'eau dans le sol,
• aux heures les plus chaudes d'une journée ensoleillée, l'alimentation instantanée en eau de la plante n'étant pas assez rapide pour couvrir les pertes par transpiration.

Ainsi, au cours d'une journée tropicale, la photosynthèse commence le matin dès que la lumière est suffisante : c'est le *seuil photique*. Elle peut s'arrêter en milieu de journée si le rayonnement, et donc la température dépassent un certain seuil *(seuil hydrique)* pour reprendre le soir (fig. 120). Le vent peut contribuer à abaisser ce seuil. Ainsi, certains jours, vers midi, on peut voir des plantes se faner légèrement, même quand le sol est bien pourvu en eau.
Ces seuils sont variables selon les espèces végétales. Les espèces adaptées aux conditions tropicales ont en général des seuils hydriques supérieurs à ceux des plantes originaires des zones tempérées.

Figure 120 : évolution de *l'évapotranspiration potentielle* dans le cours d'une journée tropicale et d'une journée d'été tempérée. En conditions tropicales, quand l'ETP dépasse le *seuil hydrique* de certaines plantes, la photosynthèse s'arrête car les stomates se ferment.



EVALUER LES BESOINS EN EAU D'UNE CULTURE

L'ÉVAPO-TRANSPIRATION : E.T.

Au niveau d'un champ, les besoins en eau d'une culture correspondent à la somme de l'eau transpirée par les plantes et de l'eau évaporée par le sol, on parle alors d'*évapotranspiration*. On l'évalue, comme les précipitations, en hauteur d'eau par unité de temps (mm par jour, mois, année).

Cette évapotranspiration dépend :
• de l'énergie disponible, donc du climat : elle est beaucoup plus importante en climat chaud et sec qu'en climat plus tempéré et humide (plaine/morne),
• de l'importance de la surface foliaire de la culture,
• du degré de fermeture des stomates.

L'ÉVAPO-TRANSPIRATION POTENTIELLE : E.T.P.

L'évapotranspiration potentielle est la quantité d'eau qui serait évaporée si toute l'énergie disponible était utilisée à cela.
L'ETP ne dépend que des facteurs climatiques : le rayonnement global, le vent, l'humidité de l'air.
L'ETP correspond à la quantité maximale d'eau perdue par une culture dont la végétation, abondante et en pleine croissance, couvre totalement un sol largement pourvu en eau. Elle est indépendante du type de cultures.

Différentes formules ont été élaborées pour le calcul de l'ETP à partir de données climatiques. Mais ces formules, plus ou moins adaptées aux différents climats, sont à utiliser avec grandes précautions. En effet, elles ne donnent que des valeurs approchées et souvent inférieures à celles qui sont obtenues par mesure directe. En Haïti, on ne dispose pas actuellement de données climatiques suffisantes permettant d'utiliser ces formules, ni de mesures directes de l'ET. Les mesures d'ETP à Miragoâne (fig. 121) ont été calculées à partir de formules simplifiées, utilisées par les bioclimatologistes de l'INRA de la Guadeloupe.

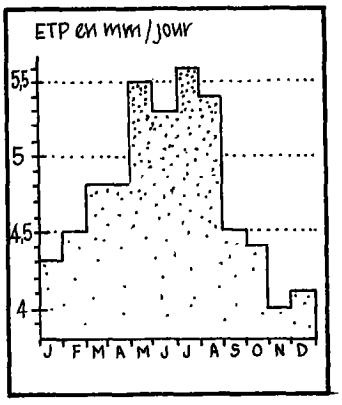


Figure 121 : moyenne mensuelle des ETP journalières à Miragoâne (alt. 20 m, moyenne sur 20 ans).

La formule est la suivante (méthode du rayonnement) :

$$E.T.P.\ (mm/jour) = a\ Rg + b$$

• Rg est le rayonnement global mesuré ou calculé à partir des durées moyennes d'insolation journalière ;
• a et b sont des coefficients obtenus à partir de mesures directes d'ETP. Ils peuvent être utilisés que dans les conditions climatiques proches de celles pour lesquelles ils ont été initialement calculés.

Cette courbe montre une variation annuelle d'ETP relativement faible. L'écart entre les périodes où l'ETP est la plus forte (mai à août) et celles où elle est la plus faible (novembre-décembre) est d'environ 1.5 mm. La moyenne est de 50 mm par décade.
Les variations interannuelles sont aussi très faibles et l'on peut considérer que, sur un cycle de culture, l'ETP est stable d'une année sur l'autre à la même période.
Ces conclusions sont valables pour la région de Miragoâne, d'autres régions peuvent présenter de plus grandes variations.
D'un endroit à l'autre, les variations peuvent être très importantes. D'une manière générale, l'ETP diminue lorsque l'on monte en altitude, car :
. la température est plus faible,
. les durées d'insolation sont plus courtes (plus de nuages),
. l'humidité de l'air et la nébulosité augmentent.
L'exposition au vent est aussi un facteur de variation de l'ETP; plus le vent sera sec, chaud et fort, plus l'ETP sera importante.

L'ÉVAPO-TRANSPIRATION MAXIMALE DES CULTURES : E.T.M. LES COEFFICIENTS CULTURAUX

L'évaporation d'un sol nu est inférieure à celle d'une culture. Au début de leur croissance, les plantes ne couvrent pas totalement le sol et leur transpiration est faible. L'évapotranspiration maximale de la culture (ETM) est donc inférieure à E.T.P.
L'ETM est la quantité d'eau maximale que peut évapotranspirer une culture bien alimentée en eau.

L'ETM varie selon les espèces cultivées, l'importance de la surface foliaire de la culture et en particulier selon :
• la densité de peuplement (nombre de pieds au m2),
• le stade végétatif de la culture,
• la fertilisation (surtout azotée).

Lorsque l'on connaît les valeurs d'ETP d'une région donnée, pour connaître les

valeurs d'ETM des cultures, on utilise des coefficients culturaux (K) tels que :
K = ETM/ETP ou ETM = K . ETP

Figure 122 : valeurs des coefficients culturaux (K) de quelques cultures selon leur stade de développement.

Cultures	K durant la phase de pleine végétation	K durant la phase de maturation
Aubergine	1.0	0.9
Tomate	1.1	0.7
Mils	1.05	0.3
Sorgho	1.05	0.5
Maïs	1.1	0.55
Riz	1.2	1.1 (0.9 le mois derécolte)
Canne à sucre	1.15	0.85
Banane	1.0	0.65
Fourrage	1.0	-
Arachide	1.0	0.55
Haricots	1.1	0.3
Coton	1.1	0.3

Durant la phase initiale, juste après le semis ou la plantation, la valeur K choisie est celle de l'évaporation d'un sol nu soit : K = 0.35.
Ensuite, K augmente en fonction de la croissance des plantes jusqu'aux valeurs inscrites dans le tableau.

Figure 123 : relation entre l'ETM et les stades végétatifs de la culture.
(On suppose, par commodité pour le graphique, que ETP est constante)

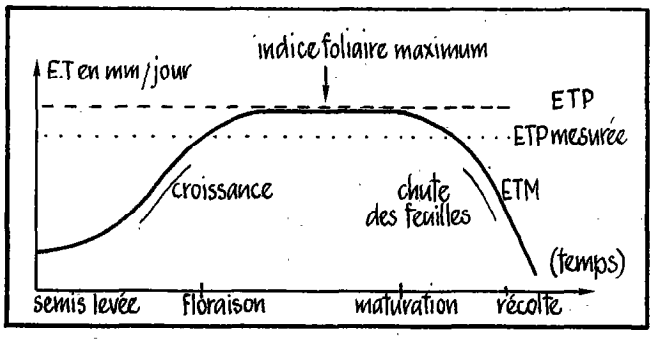
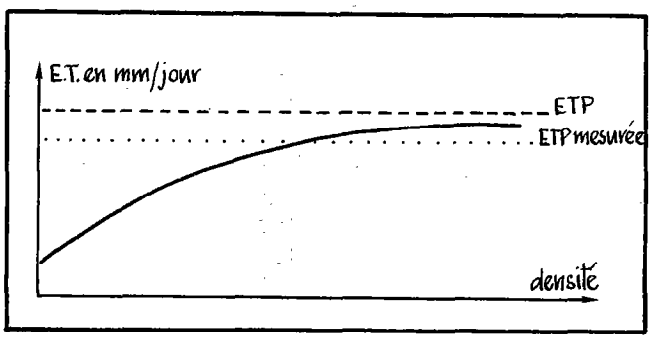


Figure 124 : relation entre l'ETM et la densité de peuplement de la culture



Par définition, la valeur de l'évapotranspiration maximale (ETM) ne peut pas dépasser celle de l'évapotranspiration potentielle ETP. On devrait donc avoir ETM < ETP et K < 1. Mais en fait, ETP est souvent une mesure de référence faite sur gazon, et certaines cultures de grande taille peuvent avoir une évapotranspiration supérieure à cette référence et donc une valeur de K supérieure à 1 (riz, maïs, canne à sucre).

* voir chapitre 8

L'ETM, donc K, varie selon l'indice foliaire* de la culture, donc selon le stade végétatif et la densité .

Jusqu'à présent, nous avons considéré des cultures qui étaient bien alimentées en eau. Dans la réalité, ce n'est pas toujours le cas et, en particulier, dans les régions de plaine où la pluviométrie est faible et aléatoire, du moins à certaines périodes. Lorsque l'alimentation en eau devient limitante, en fermant leurs stomates, les plantes réduisent leur transpiration : l'évapotranspiration réelle devient inférieure à l'évapotranspiration maximale possible de la culture.

Ainsi, par définition, l'on a : **ETR < ETM < ETP**

Outre une mauvaise alimentation en eau, d'autres raisons expliquent que ETR < ETM :
- une trop faible densité,
- une attaque de parasites foliaires,
- une mauvaise croissance due à un autre facteur limitant (fertilité),
- une mauvaise colonisation du sol par les racines, due à la structure du sol, ou un mauvais fonctionnement des racines (nécroses ...).

Toute réduction de la surface foliaire (ou des capteurs aériens) d'une culture entraîne une réduction de son ETR.

UN EXEMPLE DE CALCUL

Pour un maïs de quatre mois semé le 1er mai et récolté le 30 septembre à Petite Rivière de Nippes (Sud Haïti), Nous disposons des données suivantes : ETP journalières, moyennes par décade, valeur de K pour les différentes phases de développement du maïs.
Nous allons calculer par décade, puis sur l'ensemble du cycle de la culture, *l'ETM cumulée.*

Figure 125 : calcul de l'évapotranspiration maximale (ETM) cumulée d'une culture de maïs, par décade et sur l'ensemble du cycle, à Petite Rivière de Nippes (Sud Haïti).

Période considérée (décade)	ETP mm/jour	K selon le stade	ETM K x ETP	Nombre de jours de la période	ETM cumulée sur la période
Mai 1	4.7	0.35	1.65	10	16.5
Mai 2	4.6	0.50	2.3	10	23
Mai 3	4.2	0.75	3.15	11	34.5
Juin 1	4.5	0.90	4.05	10	40.5
Juin 2	5.2	1.0	5.2	10	52
Juin 3	5.0	1.1	5.5	10	55
Juillet 1	5.2	1.1	5.7	10	57
Juillet 2	4.9	1.1	5.4	10	54
Juillet 3	5.2	1.0	5.2	11	57
Août 1	4.6	0.9	4.15	10	41.5
Août 2	5.2	0.55	2.85	10	29
Août 3	5.0	0.55	2.75	11	30
				Total :	490 mm

Durant cette période (cycle du maïs), la culture du maïs évapotranspirera, si elle est bien alimentée en eau, 490 mm, c'est l'ETM cumulée.
Le coefficient cultural est souvent difficile à choisir. On trouvera différentes valeurs de K selon les publications. Dans tous les cas il faut prendre les valeurs se référant à la méthode de calcul d'ETP que l'on a utilisée et à des conditions climatiques proches de celles de la zone où l'on travaille. Malgré tout, il faut avoir conscience que ces valeurs ne sont que des approximations et les utiliser en tant que telles.

Les besoins en eau d'une culture varient non seulement selon son développement végétatif, mais aussi selon :
- les variétés ; celles à cycle long utiliseront plus d'eau ; certaines résisteront mieux à la sécheresse ;

• les conditions climatiques et en particulier le vent ; l'évapotranspiration d'une culture sera réduite si elle se trouve dans une parcelle entourée d'arbres qui coupent le vent et ombragent en partie la culture ;
• les techniques culturales : densité, date de semis, fertilisation, travail du sol.
Dans la plupart des situations en Haïti, les données nécessaires à l'estimation des besoins en eau des cultures par cette méthode sont insuffisantes. On se référera alors au tableau suivant, donnant des gammes d'estimations de ces besoins pour quelques cultures.

Figure 126 : gammes d'estimations des besoins en eau de différentes espèces .

CULTURE	BESOINS EN MM
Maïs	400 - 700
Sorgho	300 - 650
Riz	500 - 800
Haricot	250 - 400
Canne à sucre	1000 - 1500
Bananier	700 - 1700
Caféier, cacaoyer	800 - 1200
Coton	550 - 950
Tomate	300 - 600
Oignon	350 - 600
Tabac	300 - 500
Pomme de terre	350 - 700
Patate douce	450 - 700
Malanga	1400 - 2000
Mazombelle	1750 - 2500
Manioc	750 - 1500
Igname	1000 - 1500

Attention, si l'on veut comparer les besoins en eau de différentes espèces, il faut tenir compte de la durée de leur cycle et des valeurs d'ETP (par ex. riz de saison sèche et riz de saison humide).

Cela permet par exemple de savoir rapidement, en comparant ces données à la pluviométrie locale, s'il est possible d'introduire une nouvelle espèce dans la zone. Ou encore d'émettre des hypothèses sur d'éventuels problèmes d'alimentation hydrique que peuvent connaître certaines cultures. Dans ce cas un diagnostic plus approfondi sera nécessaire pour pouvoir faire des propositions.

EVAPOTRANSPIRATION ET PRODUCTION DE MATIERE SECHE

L'efficience de l'eau transpirée est la quantité de matière sèche que fabrique une plante en transpirant un litre d'eau.
Elle est déterminée par le coefficient (en g/l):

$$\frac{MS}{T} = \frac{\text{Poids de matière sèche produite sur une période}}{\text{Poids d'eau transpirée durant la même période}}$$

L'efficience de l'eau varie selon les espèces; elle est, par exemple, deux fois plus élevée pour le maïs que pour le riz.

Elle varie très fortement au cours du cycle de développement d'une plante. D'une façon générale elle est, pour une période donnée, d'autant plus grande que la croissance est plus active et les conditions climatiques moins évaporantes: lorsque la plante ferme ses stomates, la photosynthèse s'arrête tandis que la transpiration est simplement ralentie, l'efficience de l'eau chute alors fortement.

Elle varie d'un organe à l'autre. Il faut donc prendre soin de préciser le critère choisi pour mesurer cette efficience (matière sèche totale, grains, tubercules, sucre, huile...).
Elle varie aussi selon les conditions de milieu, ainsi :
- elle augmente quand le sol est riche en éléments fertilisants,
- elle diminue quand la température et l'éclairement augmentent (lorsque la demande climatique devient plus forte),
- elle est plus faible en saison sèche qu'en saison humide.

Figure 127 : relation entre le rendement et la quantité d'eau consommée pour deux cultures, le maïs et le sorgho
MST : matière sèche totale.

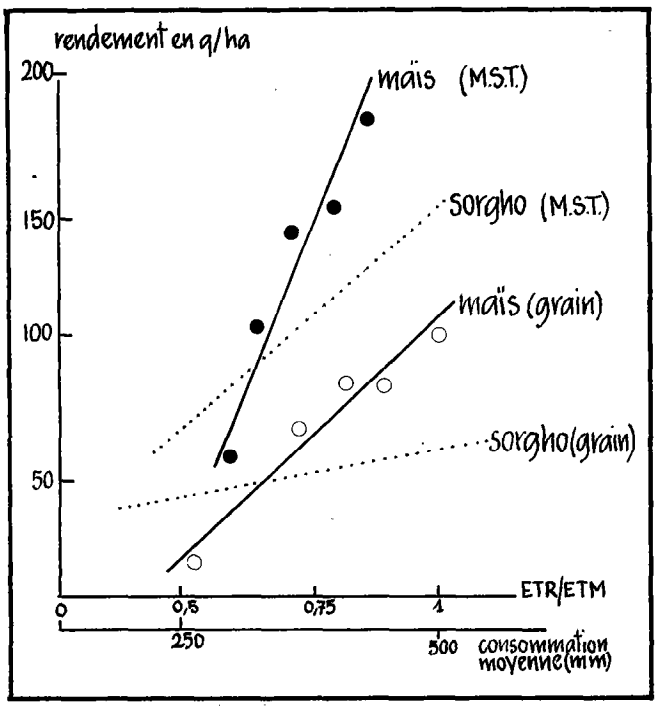


Figure 128 : relation entre un déficit relatif d'alimentation en eau et la perte relative de production de grain qu'il entraîne, pour le maïs et le sorgho. Un même déficit hydrique produit, chez le maïs, une chute de production deux fois plus importante que chez le sorgho.

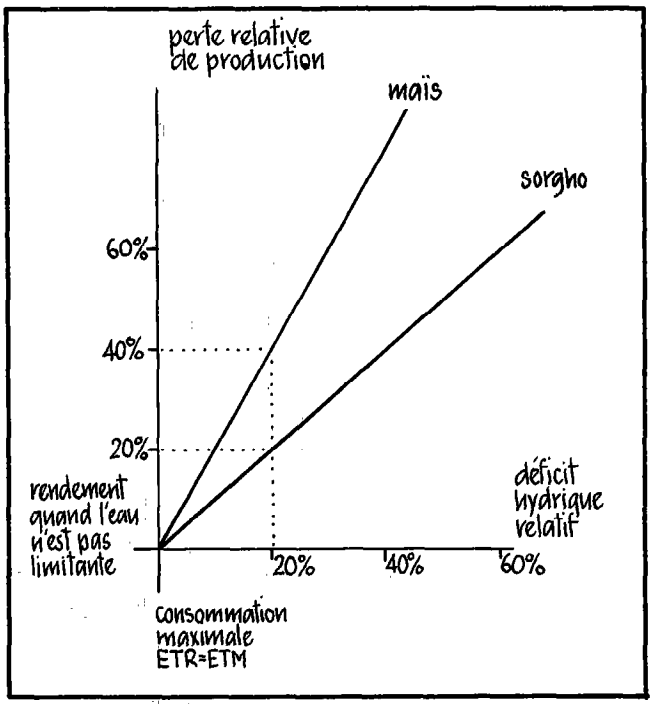


Figure 129 : rendements moyens en canne obtenus sur le domaine de Gardel à la Guadeloupe en fonction de la consommation en eau ETR/ETM, de 1964 à 1984.

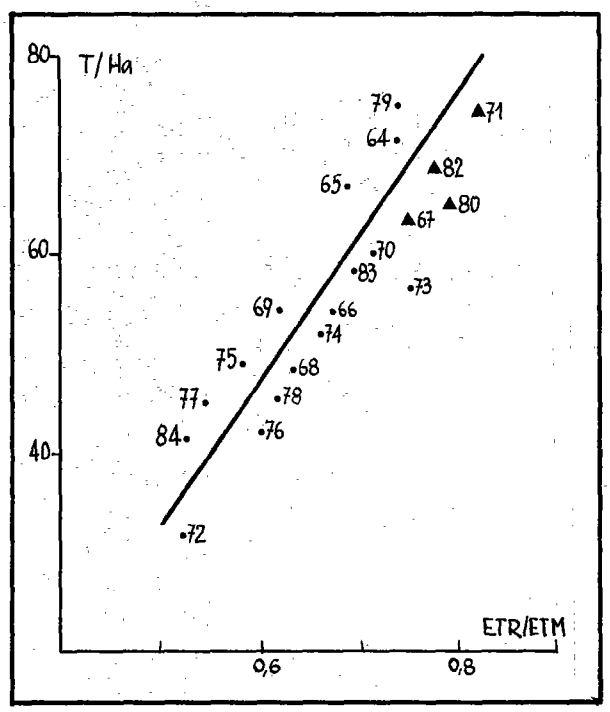
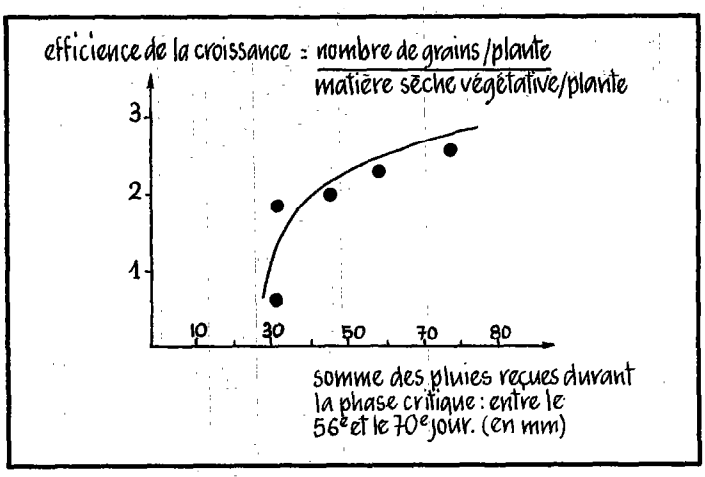


Figure 130 : relation entre l'alimentation hydrique durant la phase sensible et l'efficience de la croissance du maïs alizaine à Petite Rivière de Nippes.



Lors d'expérimentations sur trois années consécutives, il a été mis en évidence que plus l'alimentation en eau du maïs durant la phase critique était faible, plus l'efficience de la croissance était réduite.

Les stades critiques

Selon le stade de la culture auquel il a lieu, un déficit hydrique ne produit pas la même chute de rendement.
Pour toutes les cultures dont on récolte principalement le grain, il existe des périodes où un déficit hydrique a des répercussions plus fortes sur le rendement.

• Pour les **céréales** et les **légumineuses** ces périodes sensibles entourent la floraison.

• Pour les **plantes fourragères**, on récolte pratiquement toute la matière sèche fabriquée. Il n'y a pas de stades critiques comme pour les céréales, mais durant les périodes où la croissance est intense, un déficit hydrique aura un effet particulièrement néfaste.

• Pour les **tubercules**, il n'existe pas de stade critique comme pour les céréales mais, selon les espèces, les exigences ne sont pas les mêmes :
. l'approvisionnement en eau est particulièrement important pour la reprise et l'établissement de ces cultures étant donnés les modes de multiplication végétative utilisés,
. les meilleurs rendements du mazombelle sont obtenus en bordure des rizières inondées,
. l'alimentation en eau des ignames doit être particulièrement régulière entre la 14ème et la 20ème semaine de végétation,
. la patate douce supporte assez bien une longue période de sécheresse sauf si celle-ci à lieu 50-60 jours après la plantation, lorsque commence le renflement des tubercules,
. le manioc s'adapte particulièrement bien aux zones sèches où les pluies sont incertaines. Mais une mauvaise alimentation hydrique durant le premier mois de végétation diminue considérablement le rendement final.

Chez certaines plantes (sorgho, graminées fourragères...), il existe des phénomènes de compensation partielle : une période de sécheresse ralentit la croissance, mais lorsque la plante est de nouveau correctement alimentée en eau, la croissance reprend avec une vitesse supérieure à celle d'une plante qui n'a pas subi de manque d'eau. Ce sont les racines qui profitent le plus de cette phase de "rattrapage".
Des études ont montré que chez certaines plantes, le rapport entre le poids de la

partie aérienne et celui de la partie souterraine pouvait varier selon les conditions d'alimentation en eau : lorsque celle-ci devient mauvaise, la plante a tendance à développer plus son système racinaire. Pour des plantes dont on récolte la partie souterraine, on pourra trouver des valeurs d'efficience améliorées.



Le *mazombelle* (*colocasia*), exigeant en eau, est souvent cultivé en bordure des rizières inondées (photo D. Mermet).

L'eau dans le sol et sa disponibilité pour la plante

HUMIDITE, POROSITE ET DENSITE APPARENTE D'UN SOL

L'humidité d'un sol représente la quantité d'eau qu'il contient. On distingue :

• *l'humidité pondérale* (Hp) d'un sol, exprimée en pourcentage de son poids :

$$\textbf{Hp en \%} = \frac{\text{Poids de terre humide - Poids de terre sèche}}{\text{Poids de terre sèche}} \times 100$$

• *l'humidité volumique* (Hv) d'un sol, exprimée en pourcentage de son volume :

$$\textbf{Hv en \%} = \frac{\text{Volume d'eau}}{\text{Volume occupé par la terre en place}} \times 100$$

MESURE DE L'HUMIDITÉ

On prélève un échantillon de terre que l'on dessèche en le passant à l'étuve durant 24 heures à 105°c. On en déduit l'humidité à partir de son poids avant et après séchage (cf formule ci-dessus). On obtient ainsi *l'humidité pondérale* (Hp) du sol.

Lorsque l'on ne dispose pas d'étuve, on peut procéder de la façon suivante. On pèse un échantillon de terre humide puis on y ajoute de l'alcool jusqu'à saturation. Après avoir bien mélangé, on brûle l'alcool. On répète cette opération jusqu'à obtenir un poids constant (3 à 4 fois). On pèse de nouveau pour avoir le poids sec. On obtient aussi l'humidité pondérale.
Cette méthode, moins précise, ne peut pas être utilisée pour des sols très riches en matières organiques.

Soit un échantillon de terre humide pesant 50 grammes. Après dessiccation, cet échantillon ne pèse plus que 45 grammes. Son humidité était égale à:

$$\text{Hp \%} = \frac{50 - 45}{45} = 11{,}1\% \text{ de la terre sèche.}$$

DENSITÉ APPARENTE ET POROSITÉ

La densité apparente d'un échantillon de terre est le rapport entre son poids sec et son volume (ou du poids d'un même volume d'eau).

$$\textbf{Das (densité apparente)} = \frac{\text{Poids d'un volume de terre sèche en place}}{\text{Poids du même volume d'eau}}$$

Si l'on prélève, à l'aide d'un anneau métallique (voir encadré), 50cm^3 de terre et qu'après séchage cet échantillon pèse 700 grammes:

densité apparente = Das = 700/500 = 1,4 (50cm^3 = 1/2 litre, et 1/2 litre d'eau pèse 500g).

Si l'on connaît la densité réelle de cet échantillon, c'est-à-dire la densité des constituants solides du sol, on peut en déduire la porosité exprimée en pourcentage:

$$\text{Porosité} = \frac{\text{densité réelle - densité apparente}}{\text{densité réelle}} \times 100$$

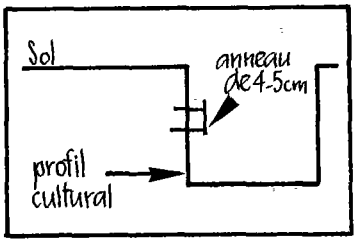
La densité réelle des sols varie peu et celle d'un sol de texture équilibrée est de 2,6. Les sols très riches en matières organiques ont de faible densité.

Mesure de la densité apparente (das)

$$\text{das} = \frac{\text{Poids d'un volume de terre sèche en place}}{\text{Poids du même volume d'eau}}$$

La mesure de la densité apparente est nécessaire pour estimer les réserves en eau, lorsque les humidités mesurées sont des humidités pondérales (ce qui est la plupart des cas).

METHODE DES ANNEAUX



- On enfonce un anneau métallique avec précaution dans le sol, de manière à prélever un volume déterminé de terre en place (sans la tasser).
- On pèse cet échantillon dont on connaît le volume (= volume de l'anneau), puis on en mesure l'humidité.
- On obtient le poids de terre sèche en déduisant le poids d'eau du poids total.
- Dans la pratique, cela se fait sur la paroi d'un profil cultural. Cela permet de prélever plusieurs échantillons à diverses profondeurs.

DENSITOMÈTRE À MEMBRANE

- On creuse une cavité dans le sol en récupérant la terre que l'on pèse après séchage.
On mesure le volume de la cavité en y plaçant une membrane élastique que l'on remplit d'eau jusqu'au niveau du sol : on mesure alors le volume d'eau apportée
(cette méthode est moins précise, surtout dans les sols caillouteux).

ESTIMATION DE LA QUANTITÉ D'EAU CONTENUE DANS UN SOL

- Lorsque l'on connaît l'humidité pondérale d'un sol, on peut en déduire **la quantité d'eau** qu'il contient par unité de poids.

$$\text{Poids d'eau} = (Ps \times Hp) / 100$$

Ps = poids de la terre considérée.
Hp = Humidité pondérale de cette terre en %.

- Mais lorsque l'on veut calculer la quantité d'eau contenue dans un sol, il faut calculer le **volume du sol.**
Vs = Volume du sol = S x h
S = surface du sol considérée.
h = épaisseur de l'horizon considéré (qui correspond généralement à la profondeur d'enracinement).

- Pour savoir le poids de terre que cela représente, il est nécessaire de connaître **sa densité apparente** telle que:

Ps = Vs x das = S x h x das

• On obtient de cette façon **la formule suivante:**
Quantité d'eau contenue dans un volume de sol = (S x h x das x Hp) / 100
Si la surface est exprimée en *mètres carrés* et l'épaisseur de l'horizon en *mètres;* la quantité d'eau le sera en tonnes ou *mètres-cubes.*

Mais par convention, on exprime toujours la réserve en eau d'un sol *en hauteur d'eau* (mm), ce qui permet une liaison directe avec la pluviométrie.
Un mètre-cube d'eau correspond à une hauteur d'eau de un mètre sur un mètre-carré.
Ainsi l'équation peut s'écrire :

$$\text{hauteur d'eau (en m)} = \frac{\text{Volume d'eau } (m^3)}{\text{Surface du sol } (m^2)} = (h \times das \times Hp) / 100$$

et pour obtenir cette hauteur d'eau en millimètres :

Réserve totale en eau (en mm) = (1 000 x h x das x Hp) / 100 = 10 x h x das x Hp
h = épaisseur de l'horizon en m
das = densité apparente
Hp = humidité pondérale en %

• **Soit un sol pour lequel on a:**
Hp = 20%
das = 1,4
h = 0,5 m
La réserve en eau de ce sol est de : 10 x 0,5 x 1,4 x 20 = **140mm**
Cela représente **1.400 m³ d'eau** par hectare (10 000 m²).

• **Note :** lorsque l'on mesure des humidités ou des densités apparentes, il est nécessaire de réaliser ces mesures sur un grand nombre d'échantillons prélevés à différents endroits de la parcelle. En effet, ces caractéristiques sont très variables d'un point à l'autre d'une parcelle.

RETENTION DE L'EAU PAR LE SOL ET SUCCION PAR LA PLANTE

HUMIDITÉS REMARQUABLES

L'humidité d'un sol est maximale lorsque toute sa porosité est saturée d'eau: *c'est l'humidité à la saturation : Hst.*
Dans cette situation, il n'y a plus d'air dans le sol, tous les pores sont occupés par l'eau, les plantes souffrent d'asphyxie car leurs racines ne peuvent plus respirer.

Lorsqu'après une pluie, un sol est bien humecté, une partie de l'eau qu'il contient va rapidement s'écouler par drainage en profondeur sous l'effet de la gravité. Lorsque cette eau en excédent s'est totalement écoulée et qu'elle est remplacée par de l'air, le sol est *ressuyé.* L'eau qui reste alors dans le sol est retenue par capillarité assez fortement pour ne pas être entraînée par gravité.
Lorsqu'un sol est juste ressuyé, son humidité correspond à *l'humidité à la capacité au champ : Hcc.*

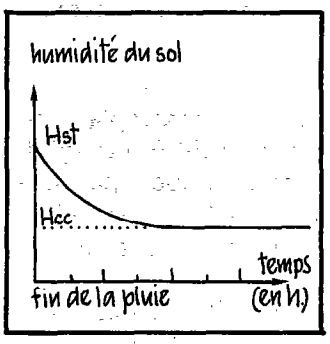


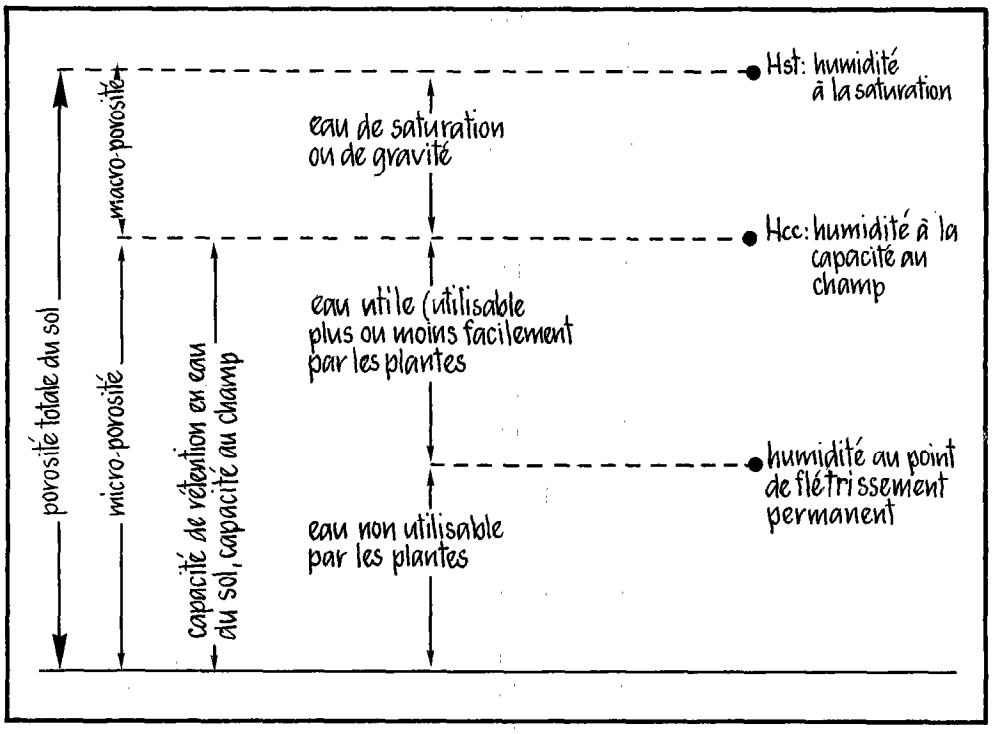
Figure 131 : ressuyage d'un sol après sa saturation en eau par la pluie.

L'humidité à la capacité au champ représente donc la quantité d'eau maximale que peut retenir un sol pendant la culture. Cette eau, stockée dans le sol, est soumise à deux forces:
• la force de rétention du sol (capillarité),
• la force de succion des racines, due à l'appel d'eau provoqué par la transpiration des feuilles.
Lorsqu'un sol est bien humide, les racines peuvent en extraire facilement l'eau. Mais plus l'humidité du sol diminue, plus l'eau restante est retenue fortement par le sol.

A partir d'une certaine humidité, la force de rétention du sol est supérieure à la

force de succion des racines; l'eau qui reste dans le sol est donc inaccessible aux plantes. A ce stade, l'humidité du sol est au *point de flétrissement permanent.*
Toute l'eau contenue dans un sol n'est pas disponible pour les plantes. Une partie est drainée en profondeur et l'autre est retenue trop fortement dans les micropores du sol.
La différence entre l'humidité observée à la *capacité au champ* et celle au *point de flétrissement* donne la quantité d'eau disponible pour les plantes ou *l'eau utile.*

Figure 132 : représentation graphique des différents états de l'eau dans le sol.



Macroporosité et microporosité

La porosité totale d'un sol est la fraction de son volume occupée par de l'air ou de l'eau.
• *Macroporosité*: ce sont les pores de plus grosse taille occupés par de l'air lorsque le sol est ressuyé ou à la capacité au champ.
• *Microporosité*: ce sont les pores de taille plus fine dans lesquels l'eau est retenue après ressuyage. Plus ils sont fins, plus l'eau est retenue fortement.

MESURE DE LA FORCE DE RÉTENTION

L'eau est retenue dans les pores du sol avec une certaine énergie. Cette énergie peut se mesurer comme la pression P qu'il faut exercer sur un sol, à une humidité donnée, pour commencer à en extraire l'eau.
Cette pression P s'exprime en grammes par centimètre carré (g/cm^2). Plus l'humidité du sol est faible, plus cette pression doit être forte.
Pour plus de commodité, on mesure cette énergie par *le potentiel hydrique* noté **pF** tel que:
potentiel hydrique= pF= log P

Pour saisir plus concrètement cette notion de potentiel, prenons l'exemple d'une éponge imbibée d'eau: lorsque l'éponge est pleine d'eau, il suffit d'une faible pression de la main pour extraire de l'eau. Mais au fur et à mesure que l'éponge se vide, l'eau qui reste est de plus en plus fortement liée au tissu de l'éponge et il faut comprimer l'éponge avec une force de plus en plus importante pour extraire cette eau.
La figure 133 donne les valeurs de cette force de rétention pF aux humidités remarquables.

Le *pF à la capacité au champ* varie selon la texture des sols de 1,8 (sables) à 3,1 (argile). De ce fait l'humidité à la capacité au champ (Hcc) est très difficile à mesurer. C'est la raison pour laquelle on utilise dans la pratique une approximation : **He = Humidité équivalente = humidité du sol à pF 3.**

He est facilement mesurable: il suffit d' appliquer à un échantillon de terre saturée en eau une pression de 1000g/cm² puis de mesurer son humidité.

Le *point de flétrissement permanent* correspond à **un pF de 4,2.**
La force de succion maximale pour la plupart des plantes correspond à un pF de 4,2 (sauf pour certaines plantes adaptées aux zones arides qui ont une force de succion supérieure).
Ainsi, lorsque l'humidité du sol est inférieure à l'humidité à pF 4,2 les racines ne peuvent plus en extraire l'eau. L'humidité d'un sol à pF 4,2 est fonction de sa texture (figure 134).

Figure 133 : correspondance entre force de rétention, pF et certaines humidités remarquables.

Figure 134 : texture et humidité au point de flétrissement (pF 4,2) .

Pression P (g/cm²) (1 atmosphère : 1.033 g/cm²)	pF = log.P	Humidité
0	-	saturation
1	0	
10	1	
100	2	
500	2,7	
1.000	3 →	humidité équiva-
10.000	4	lente (± Hcc)
16.000	4,2 →	> point de flétrisse-
100.000	5	ment permanent
1.000.000	6	

Texture du sol	HpF 4,2
Sableux	2,5 %
Sablo-argileux (11 % d'argile)	4,0 %
Sablo-limono-argileux	6,0 %
Limono-argileux (13 % d'A.)	13,0 %
Argilo-sableux	13,0 %
Argilo-limoneux	20 %

Eau utile et sensibilité à la sécheresse des principaux types de sols haïtiens

L'eau utile est la différence d'humidité pondérale d'un sol entre l'humidité et la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement permanent.

eau utile = HpF3(He) - HpF 4,2

Elle est souvent utilisée dans les rapports de pédologie lorsqu'on ne connaît pas les densités apparentes des sols. Elle indique la sensibilité à la sécheresse d'un sol.

Type de sol	Eau utile	Caractéristiques
Sols ferralitiques	12 à 15 %	Grande sensibilité à la sécheresse
Rendzines	13 à 18 %	Sensibilité à la sécheresse accentuée par la faible profondeur de ces sols
Vertisols et sols ferrallitiques	20 à 25 %	Bonne résistance à la sécheresse, surtout pour l'horizon humifère.
Sols bruns calcaires	20 à 21 % (horizon humifère)	Bonne résistance à la sécheresse de l'horizon humifère.

RESERVES D'UN SOL EN EAU UTILISABLE PAR LES PLANTES

RÉSERVE UTILE : RU

La réserve utile est la quantité maximale d'eau retenue par le sol et utilisable par les plantes.

Mode de calcul

On la calcule pour un horizon homogène d'épaisseur h.

RU = (Quantité d'eau retenue par le sol à la capacité au champ) - (Quantité d'eau retenue au point de flétrissement permanent)

RU = 10 x h x das x (Hcc - HpF 4,2)

RU= réserve utile en mm d'eau
h= épaisseur de l'horizon en m (mètre)
das= densité apparente
Hcc et HpF 4,2= humidités en %

Calcul de la réserve utile de l'horizon de surface (20cm) d'un sol de la plaine de Colombier (Plaine de Larbre).
h = 20cm= 0,2m ; das = 1,2 ; Hcc = 46 % ; HpF 4,2= 19%
RU= 10 x 0,2 x 1,2 x (48 - 19) = **69,6 mm** d'eau

Dans les analyses de sols, on trouvera généralement les valeurs pour les humidités à pF3 à pF 4,2 et à pF 2,5. On considèrera alors pour les calculs que Hcc= He = HpF3 pour les sols plutôt riches en argile (<25% d'argile) et Hcc = pF 2,5 pour les sols plus légers (bien que ces valeurs soient des approximations).

Effet de la texture du sol

La capacité de rétention en eau d'un sol et donc sa réserve utile varient selon sa texture.
Plus un sol contient d'éléments fins, plus il cède l'eau avec difficulté. Les sols très argileux ont une humidité très élevée après ressuyage (Hcc), mais une grande partie de cette eau n'est pas utilisable par les plantes car l'humidité au point de flétrissement (HpF 4,2) est aussi très élevée.
Des mesures de réserves utiles pour un sol ferralitique et un vertisol à la Guadeloupe ont donné les résultats suivants (figure 135).

Que ce soit à la capacité au champ ou au point de flétrissement permanent, le vertisol retient une plus grande quantité d'eau que le sol ferralitique. Cependant, c'est ce dernier qui a une plus grande réserve utile.

Figure 135 : réserves utiles calculées sur 1 m. de profondeur pour un sol ferralitique et un vertisol.

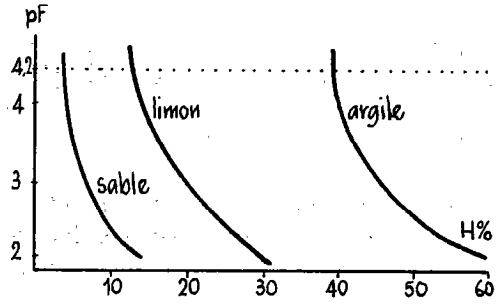
	A la capacité au champ		Au point de flétrissement permanent			
	Humidité pondérale en %	Quantité d'eau en mm	Humidité pondérale en %	Quantité d'eau en mm	Densité apparente	R.U.
Vertisol	55	583	37	392	1,06	191 mm
Sol ferralitique	44	440	22	220	1,08	220 mm

Importance de la profondeur du sol

La réserve utile est proportionnelle à la *profondeur du sol colonisée par les racines.* Il est de plus nécessaire que l'enracinement soit *dense* pour que cette eau soit réellement utilisable par les plantes.
Pour les sols ferralitiques, la profondeur du sol est particulièrement déterminante dans l'alimentation en eau des plantes, mais aussi en éléments minéraux (sols pauvres).
La faible réserve en eau est une des principales caractéristiques des rendzines dont la profondeur est souvent très faible.

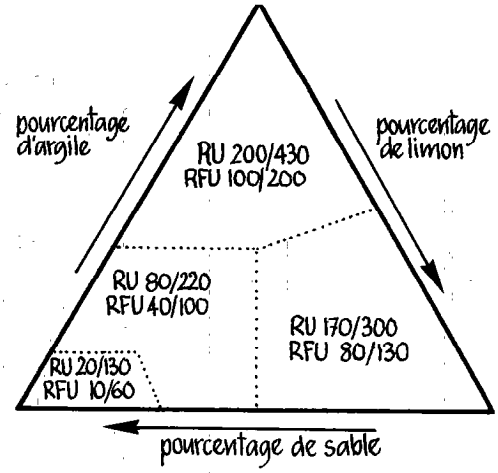
A Petite Rivière de Nippes (Sud-Haïti), le principal facteur limitant la production

Texture et réserve en eau du sol



Relation entre l'humidité du sol et la force de rétention de l'eau (pF).

L'humidité à un pF donné varie selon la texture du sol : à pF égal, elle est plus élevée dans un sol argileux que dans un sol sableux.

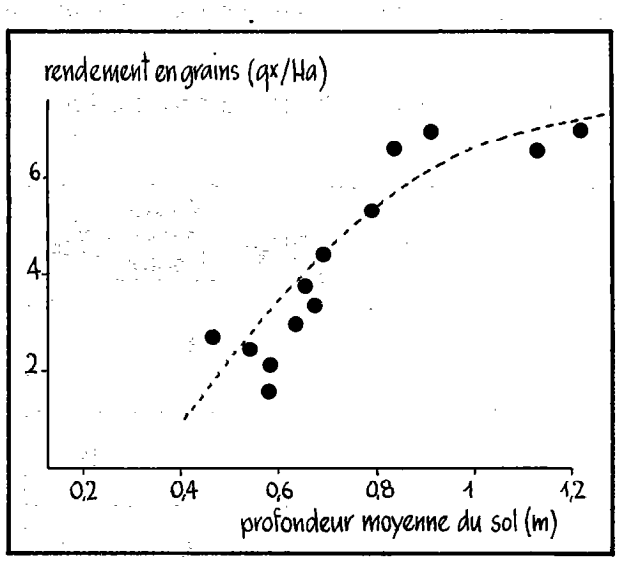


Variation de la réserve utile (RU) et de la réserve facilement utilisable (RFU), en mm, pour des sols de différentes textures (sur une profondeur d'1 m).

est l'eau. En 1976, année particulièrement sèche, les rendements en maïs étaient liés à l'épaisseur du sol (vertisols). Celle-ci est donc un bon indicateur de la réserve en eau. En fait, elle est un indicateur de la richesse globale (eau et éléments minéraux) mais dans ce cas, c'est l'eau qui limite la production, les vertisols ayant une bonne fertilité chimique.

Figure 136 : relation entre le rendement en grain du maïs et la profondeur moyenne du sol à Petite Rivière de Nippes.

Figure 137 : RU et RFU des sols de la plaine alluviale du Colombier, Plaine de Larbre.



	Ru (mm)		RFU = 2/3 RU (mm)	
Profondeur du sol	50 cm	80 cm	50 cm	80 cm
Sols très légers (sableux ; argiles < 10 %)	80	110	54	74
Sols équilibrés (A.L.S.)	135	220	90	147
Sols lourds (argiles > 30 %)	160	245	106	163

RÉSERVE FACILEMENT UTILISABLE : RFU

Les plantes commencent à souffrir d'un déficit hydrique et ferment leurs stomates avant que la RU ne soit vide. La production de matière sèche est donc réduite.
La réserve facilement utilisable ou RFU est la quantité d'eau que peut utiliser la plante sans avoir à fermer ses stomates.
Elle correspond à la quantité d'eau minimale qu'il faut dans le sol pour que l'alimentation hydrique des plantes soit optimale (sans réduction de transpiration).
Plus l'évaporation est forte (climat tropical, zones de basses altitude en Haïti) plus la RFU est faible par rapport à la RU.

Plus la texture d'un sol est fine, plus le rapport RFU/RU est faible car l'eau y est retenue plus énergiquement.

On admet, de manière générale, que la RFU varie de 1/2 à 2/3 de la réserve utile selon les types de sol. Mais cette convention est plus ou moins arbitraire, elle ne prend en compte ni l'effet de l'évaporation, ni l'adaptation de certaines espèces ou variétés à de légers déficits hydriques.

RÉSERVES UTILES DES SOLS DE LA PLAINE ALLUVIALE DE COLOMBIER

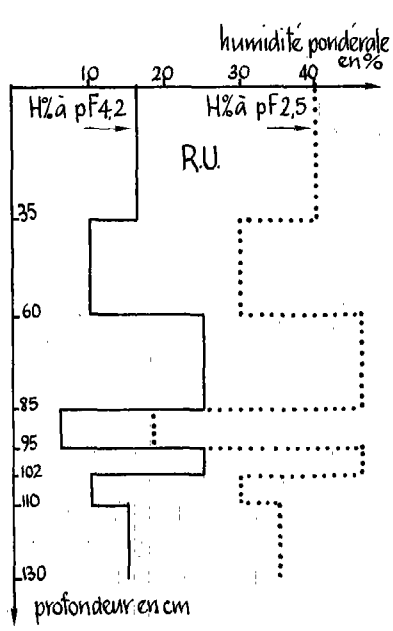
Dans cette région, plus un sol est riche en éléments fins, et surtout en argile, plus sa réserve utile est importante pour une profondeur de sol donnée. Un taux de matières organiques élevé augmente cette réserve en eau, particulièrement dans les sols sableux.
Ces sols alluviaux sont des sols jeunes et constamment "rajeunis" par les apports de terre des crues naturelles ou de l'irrigation. Ils se caractérisent par une faible structuration (peu de cohésion), une porosité élevée et *une alternance de dépôts de texture variée.*
Au niveau agronomique, la grande variabilité de ces sols, à l'intérieur d'une même parcelle, rend difficile le choix de techniques adaptées (cultures, irrigation, fertilisation).

Lors de la réalisation d'un *profil pédologique,* on observe une succession d'horizons bien distincts aux textures très différentes. Ces horizons correspondent à des apports successifs d'éléments par les crues. La capacité de rétention du sol est donc différente pour chacun de ces horizons.
Le calcul de la **RU** doit se faire pour un volume de sol homogène et donc pour chaque horizon identifié.

Le schéma suivant représente, pour un profil pédologique réalisé à "Ti-Saline", les valeurs des humidités à pF 4,2, à pF 2,5 et les réserves utiles de chaque horizon. Ces réserves en eau sont légèrement surestimées car l'on considère que Hcc (Humidité à la capacité au champ)= HpF 2,5 bien que ces sols soient riches en éléments fins.
Les sols de la plaine de Colombier ont fait l'objet d'une étude approfondie pour déterminer les possibilités d'irrigation. Les données présentées ici sont issues de cette étude.

Figure 138 : distribution de la Réserve Utile dans le profil d'un sol de la plaine de Larbre en fonction de la texture des différents horizons (d'après L. Bonheur, Ti-Saline, plaine alluviale de Colombier, 1984).

	TEXTURE	%argile	%H_2O pF4,2	%H_2O pF2,5	densité apparente	réserve utile de l'horizon	R.U. totale
A_1	argile limoneuse	30-35	17	40	1,18	95	95
A_2	limon sablo-argileux	10	10	30	1,30	65	160
A_3	argile limoneuse	35-40	25	45	1,17	58,5	218,5
A4	sable grossier	10	7	18	1,35	8,1	226,6
A5	argile limoneuse	40	25	45	1,20	16,8	243,4
A6	limon sablo-argileux	10	10	30	1,15	18,4	261,8
A7	limon argilo-sableux	20	15	35	1,30	52	313,8



La circulation de l'eau dans le sol

Pour un climat donné, c'est la manière dont circule l'eau dans le sol qui détermine les conditions de remplissage et de vidage de la réserve en eau.
Ainsi lors d'une pluie, la quantité d'eau qui pénètre dans le sol, et va donc remplir la réserve hydrique, est plus importante sur une parcelle plane que sur une parcelle en pente où une partie de cette eau ruisselle.

Les mouvements d'eau dans le sol sont liés essentiellement à deux processus :
- l'infiltration (ou percolation) liée à la pesanteur,
- la diffusion capillaire, liée à des différences d'humidité entre les différents points du sol.

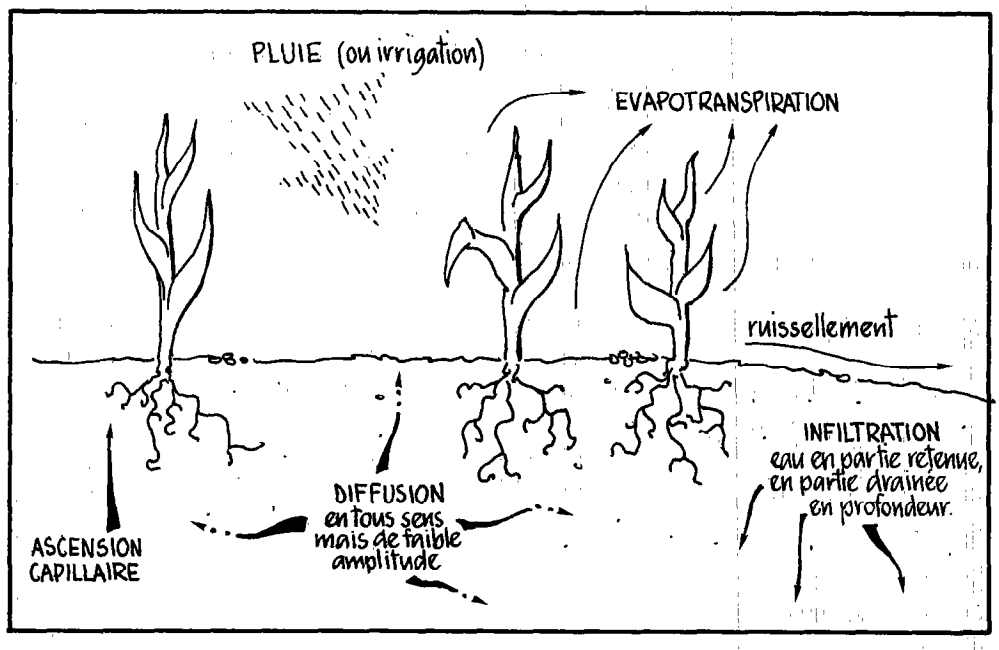


Figure 139 : mouvements de l'eau au niveau d'une parcelle.

INFILTRATION DE L'EAU ET PERMÉABILITÉ DU SOL

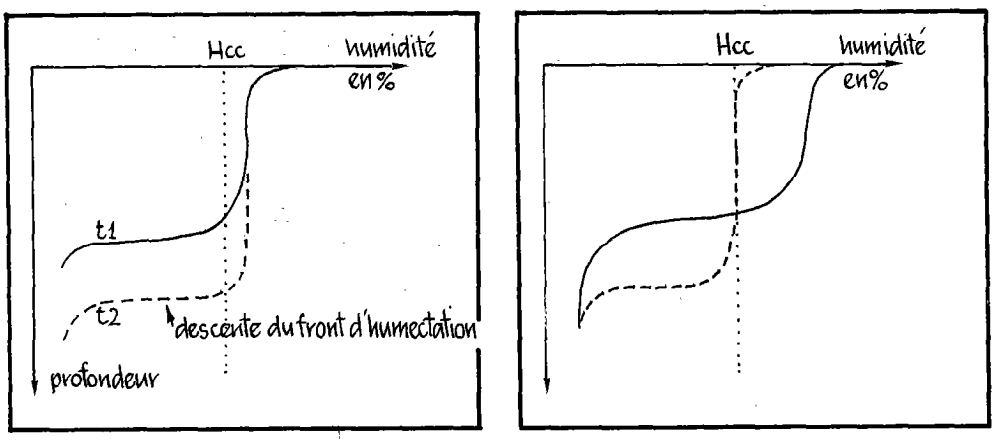
INFILTRATION

Au cours d'une pluie, l'eau pénètre dans le sol en profondeur sous l'effet de la pesanteur. Elle continue à descendre tant que les couches supérieures ont une humidité supérieure à Hcc (Humidité à la capacité au champ), et qu'elle ne rencontre pas d'obstacle (couche imperméable). La limite entre la zone humide et la zone sèche s'appelle le front d'humectation.

Lorsque la pluie s'arrête, il y a *redistribution* de l'eau des couches supérieures vers les couches inférieures jusqu'à ce que ces premières aient une humidité égale ou inférieure à Hcc: on dit alors que le sol est *ressuyé*.

Figure 140 : infiltration de l'eau en profondeur au cours d'une pluie (d'après Henin, 1977).

Figure 141 : redistribution de l'eau dans les différentes couches du sol après une pluie (d'après Henin, 1977).
—— : profil hydrique juste après la pluie
------ : profil hydrique après redistribution de l'eau



PERMÉABILITÉ

La vitesse à laquelle l'eau s'infiltre dépend de la perméabilité du sol. Plus un sol est perméable, plus il sera traversé rapidement par l'eau de gravité.
Cette propriété est fonction de la *texture* et de la *structure* du sol.

• *Texture:* plus la texture d'un sol est fine, moins il est perméable. Certains chercheurs ont montré qu'il existait une certaine corrélation entre la perméabilité d'un sol et sa teneur en argiles et limons fins. Les sols les plus perméables ou plus filtrants sont donc ceux où dominent les sables grossiers et les graviers.
Les argiles gonflantes du type montmorillonite ont leur perméabilité qui diminue lorsque leur humidité augmente. Certains sols riches en argiles gonflantes présentent de ce fait des problèmes de drainage et d'hydromorphie (mauvaise aération du sol et des racines due à la stagnation de l'eau).
La présence de matière organique augmente la perméabilité des sols.

• *Structure:* l'infiltration est d'autant plus rapide que la macroporosité est élevée. Ainsi, un sol riche en argile peut présenter une forte perméabilité si sa structure est bonne. Les sols limoneux, au contraire, caractérisés par une grande instabilité structurale sont très peu perméables: lors d'une pluie, le choc des gouttes d'eau détruit les mottes de surface et les éléments fins bouchent la macroporosité; le sol devient imperméable en surface: c'est la *battance*.

Effet de la structure sur la perméabilité et la circulation de l'eau

Deux sols à Petite Rivière de Nippes : un sol fersiallitique et un vertisol

Ces deux types de sol ont la même texture caractérisée par une forte teneur en argile.
Leurs caractéristiques chimiques sont aussi très voisines.
Seul leur *comportement physique* est différent :
• les sols fersiallitiques ont une structure polyédrique de 1 à 5 cm et assez stable,
• les vertisols ont une structure prismatique grossière (30 cm) et font apparaître des fentes de retrait en saison sèche.

La perméabilité de ces sols est de ce fait très différente:

• infiltration diffuse homogène pour les sols fersiallitiques même en saison humide.

• infiltration localisée dans les fentes de retrait pour les vertisols : lorsque l'humidité augmente, les fentes se referment par gonflement de l'argile et le sol devient pratiquement imperméable. Entre deux pluies, le dessèchement provoque la réouverture des fentes et permet ainsi une aération du sol. Les problèmes d'hydromorphie sont accentués par le fait que ces sols sont localisés dans les cuvettes et en bas de pente.

Granulométrie de ces sols (horizon : 20-40 cm) en %

	Sable grossier	Sable fin	Limon grossier	Limon fin	Argile
Sol fersiallitique court	1,2	1,3	2,9	9,9	84,7
Sol fersiallitique profond	1,7	0,9	1,3	15,5	80,6
Vertisol	1,9	1,3	2,0	10,6	84,2

FAVORISER L'INFILTRATION

Les techniques culturales doivent permettre d'augmenter la perméabilité du sol pour favoriser l'infiltration:
• pour limiter les risques d'excès d'eau et ses effets néfastes sur la structure du sol, la vie biologique du sol et la respiration des racines,
• pour limiter le ruissellement (état de la surface du sol) et ses effets néfastes sur l'érosion et la réserve utile (perte d'eau).

Lorsque les sols sont très filtrants (l'eau les traverse très rapidement) et la pluviométrie importante, l'eau de drainage peut entraîner en profondeur certains éléments minéraux. Il se pose alors un problème de disponibilité de ces éléments pour la plante (faible fertilité des sols ferrallitiques de plateau).

DÉPLACEMENT DE L'EAU PAR DIFFUSION CAPILLAIRE

La diffusion est la manière dont se déplace l'eau de rétention dans la microporosité du sol (lorsque H < Hcc).
L'eau se déplace en tous sens depuis les zones humides vers les zones plus sèches, tendant à égaliser en tout point l'humidité du sol. Les potentiels hydriques (pF) en différents points du sol tendent à s'équilibrer.

Ainsi, au fur et à mesure que le sol se dessèche par évaporation en surface, son pF augmente dans cette zone, créant un appel d'eau et un courant ascendant.
Ce phénomène a pour origine les forces capillaires. Il est d'autant plus important que les pores sont fins et donc que la texture du sol est fine: la hauteur d'ascension en sol nu est d'environ 40cm dans un sol sableux et d'un mètre dans un sol limono-argileux. Une fissure dans le sol (par exemple fentes de retrait en vertisol), est un obstacle à la diffusion.

C'est par le même principe que se déplace l'eau latéralement vers les racines au fur et à mesure de l'absorption par la plante. Cela permet aussi, par la même occasion, le transport d'éléments minéraux solubles nécessaires aux plantes.
Mais ce mécanisme de diffusion est lent et ne concerne que de courtes distances. Ainsi la répartition spatiale des racines est très importante. Un sytème racinaire ayant une faible distance moyenne entre les racines utilise mieux l'eau du sol qu'un système racinaire aux racines espacées, et ceci d'autant plus que l'eau est limitante.

DESSÈCHEMENT D'UN SOL SATURÉ EN EAU

CAS D'UN SOL NU
(fig. 142)

• 1ère phase : circulation sous forme de films
Lorsqu'un sol nu saturé en eau se dessèche, dans un premier temps le dessèchement a lieu à la fois en surface et en profondeur. Ce mouvement n'est pas lié à la diffusion car il ne tend pas à l'égalisation des potentiels.
En fait, l'eau se trouve sous forme de films ininterrompus depuis la surface jusqu'en profondeur. Sous l'action de l'évaporation, l'ensemble de l'eau est "tiré" jusqu'à la rupture des films (on passe du profil hydrique 1 au profil 2).

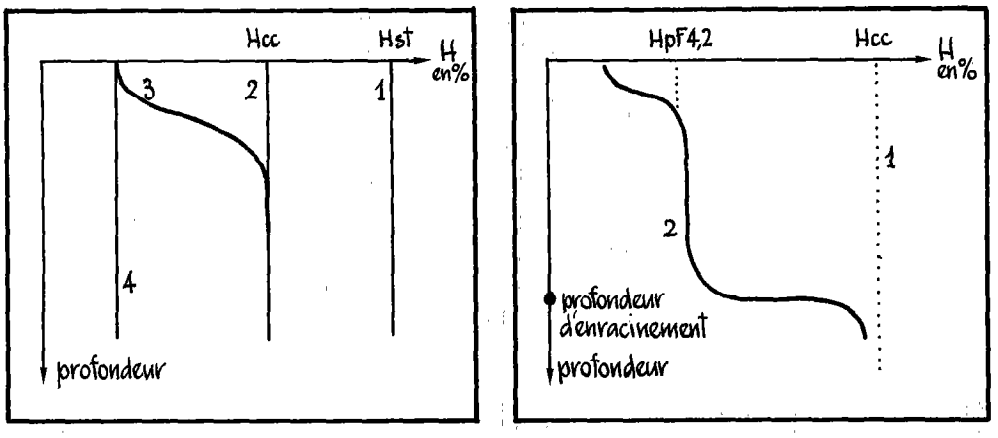
• 2eme phase : assèchement en surface, création d'un self-mulch
Lorsque les films sont rompus, seule la couche de terre au-dessus de cette rupture continue à se dessécher. L'humidité reste pratiquement constante en profondeur. Il se créé un *mulch* qui a pour effet de réduire l'évaporation (on passe du profil 2 au profil 3).

• 3eme phase : l'évaporation est très lente grâce au mulch créé en surface.
Très lentement l'humidité s'égalise entre les couches superficielles et les couches profondes jusqu'au profil 4.

Lorsqu'un sol nu saturé en eau se dessèche de cette façon, la rupture des films intervient plus ou moins rapidement selon les situations:

Figure 142 : profils hydriques illustrant les différentes étapes de dessèchement d'un sol nu initialement saturé en eau (d'après Henin, 1969).

Figure 143 : dessèchement d'un sol cultivé (d'après Henin, 1969).



• un self-mulch se créé plus facilement en sol argileux qu'en sol limoneux ou sableux,
• il se créé plus facilement dans un sol meuble en surface qu'en sol tassé.
Certaines techniques ont comme objectif de favoriser la création d'un self-mulch (rupture des films) pour limiter les pertes en eau par évaporation (voir plus loin, le binage).

CAS D'UN SOL CULTIVÉ (fig. 143)

Lorsqu'un sol est en culture, les plantes limitent ce phénomène en absorbant l'eau des couches inférieures avec leurs racines.
L'évaporation est intense dans l'horizon colonisé par les racines.

On passe progressivement de la capacité au champ (profil 1) au point de flétrissement permanent dans l'horizon exploré par les racines (profil 2). Lorsque le profil 2 est atteint, les plantes meurent.

Lutte contre la sécheresse : techniques pour économiser l'eau

Face à des situations de relative sécheresse, certaines techniques permettent une meilleure utilisation par la culture de l'eau disponible.
Les espèces couramment cultivées dans les zones sèches (et sans irrigation) en Haïti (pluviométrie entre 500 et 1 500 mm/an) sont :
- le mil et le sorgho pour les céréales,
- le manioc et la patate douce pour les tubercules,
- le *pois connu (Vigna unguiculata)* et le *pois congo (Cajanus cajan)* pour les légumineuses.

Bien qu'il soit plus sensible à la sécheresse, le maïs apparaît aussi dans la plupart des associations.
L'association maïs/sorgho/*pois congo* est souvent dominante dans ces zones: Miragoane, Plaine d'Aquin, Désarme, Gonaïves, Plateau Central etc... A ces trois espèces de base peuvent être associés de l'arachide, du manioc, du coton.

LIMITER L'ÉVAPORATION MAXIMALE DES CULTURES (ETM)

CHOISIR DES CULTURES DONT LE CYCLE CORRESPOND AUX PÉRIODES DE DISPONIBILITÉ EN EAU

• **Dans l'association maïs/sorgho/pois-congo à Petite Rivière de Nippes :** le maïs est semé dès le début de la saison pluvieuse. Sa croissance rapide permet une utilisation maximale des premières pluies. Le sorgho et le *pois congo*, aux cycles plus longs et résistants à la sécheresse permettent une utilisation maximale de l'eau sur toute la saison pluvieuse.

Dans cette région, la saison pluvieuse s'étend d'avril à octobre mais elle est coupée par une petite saison sèche en juin-juillet. Le risque est donc que la floraison du maïs (période sensible) ait lieu durant cette période, ce qui serait catastrophique pour les rendements.
L'utilisation de variétés à *cycle court*, ayant leur floraison avant cette période, ou de populations à la floraison étalée dans le temps permet de limiter ces risques.

• **Choix de la date de semis:** les paysans sèment dès les premières pluies si elles sont suffisamment importantes pour permettre la germination. Ainsi, ils diminuent ces risques et cela leur permet de récolter le maïs en conditions sèches, ce qui favorise une bonne conservation des graines.
En situation de cuvette, où l'eau s'accumule, les paysans réalisent des semis

précoces et utilisent les variétés les plus tardives car ce sont les situations où les risques de déficit hydrique sont les plus faibles.
Dans le cas de semis tardifs, les paysans sèment les variétés les plus précoces qui risqueront moins d'être atteintes par la sécheresse de juin-juillet en pleine floraison.

• **Sur le Plateau Central,deux variétés de maïs sont utilisées:**
• le maïs *"tibourrique"*, à cycle court, doit être semé très tôt pour être récolté durant la petite saison sèche de juillet-août,
• la variété *"gros maïs"*, avec un cycle de 5 mois, peut être semée plus tardivement. Elle est récoltée en fin de saison des pluies en octobre/novembre.

CHOISIR UNE DENSITÉ CORRESPONDANT AUX DISPONIBILITÉS EN EAU

En climat sec, la densité optimale de peuplement est inférieure à celle des climats plus humides. Lorsqu'on augmente la densité, on augmente la surface foliaire de la culture et donc son évapotranspiration maximale. L'eau disponible est utilisée plus rapidement, ce qui augmente les risques de déficit hydrique.

Les densités relativement faibles pratiquées par les paysans dans les zones sèches sont très souvent justifiées (sauf lorsqu'elles sont dues à des mauvaises levées).

Effet de la densité sur le rendement du riz pluvial

en 1983, année très sèche, à la ferme de FORO-FORO en Côte d'Ivoire *

*d'après J.Gigou, 1987.

En réduisant la densité des cultures, on diminue l'évapotranspiration, ce qui permet aux cultures de mieux résister aux périodes sans pluie. A la ferme de Foro-Foro (Côte d'Ivoire) une très faible densité lors d'une année très sèche a donné des résultats spectaculaires.
En 1983 la pluviométrie durant la culture a été de 230 mm alors que les besoins minimaux du riz pluvial sont de 500mm à 600mm de pluies durant le cycle.

Si en année très sèche, une très faible densité (10 pieds/m²) permet d'avoir un meilleur rendement, cette même densité ne permet pas d'espérer un rendement correct en année humide.

Dans l'exemple de la ferme de FORO-FORO, on peut faire l'hypothèse qu'en année humide les résultats auraient été inversés.

Densité et rendement du riz pluvial en conditions hydriques déficitaires.

Densité		
Nombre de plantes / m²	43	10
Nombre de panicules / m²	25	30
Poids de pailles (kg/ha)	1.550	1.100
Poids de grains (kg/ha)	380	1.150

Lorsque la pluviométrie est très variable d'une année à l'autre, il est très difficile de connaître la densité optimale. Pour choisir les itinéraires techniques, on peut raisonner de la manière suivante:
• choisir d'abord un objectif de rendement raisonnable compte tenu de la pluviosité de la région (cela nécessite une bonne connaissance du climat et notamment une analyse fréquentielle des pluies sur un grand nombre d'années),
• choisir une densité suffisante pour atteindre l'objectif fixé mais assez faible pour que la culture résiste en cas de relative sécheresse,
• ajuster de la même façon la fertilisation et les autres facteurs de production.

LUTTER CONTRE LES MAUVAISES HERBES

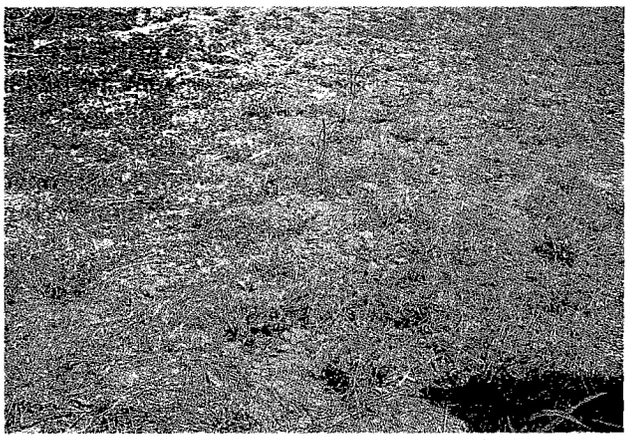
Les mauvaises herbes consomment de l'eau et réduisent la quantité d'eau disponible pour la culture. Il est donc nécessaire de les éliminer le plus tôt possible, c'est le rôle du *sarclage* .
Celui-ci est réalisé soit au *"couteau digo"* (dans les terrains pierreux), soit à la houe ou à la machette.

Le premier sarclage peut aussi servir de préparation du sol, par exemple pour le semis du sorgho dans l'association maïs/sorgho/*pois congo*. Plusieurs sarclages sont nécessaires au cours de la culture. Leur nombre varie selon le développement des adventices, en général deux ou trois suffisent lorsqu'ils sont réalisés au bon moment (avant que les adventices ne gênent la culture).

Le sarclage réduit la consommation d'eau par les adventices. A Carice, les paysans utilisent pour sarcler une petite houe étroite (photo D. Mermet).



En climat sec, la densité optimale de peuplement est inférieure à celle qu'il faudrait sous un climat plus humide (arachide à Terrier Rouge, Nord-Est) (photo M. Bonnefoy).

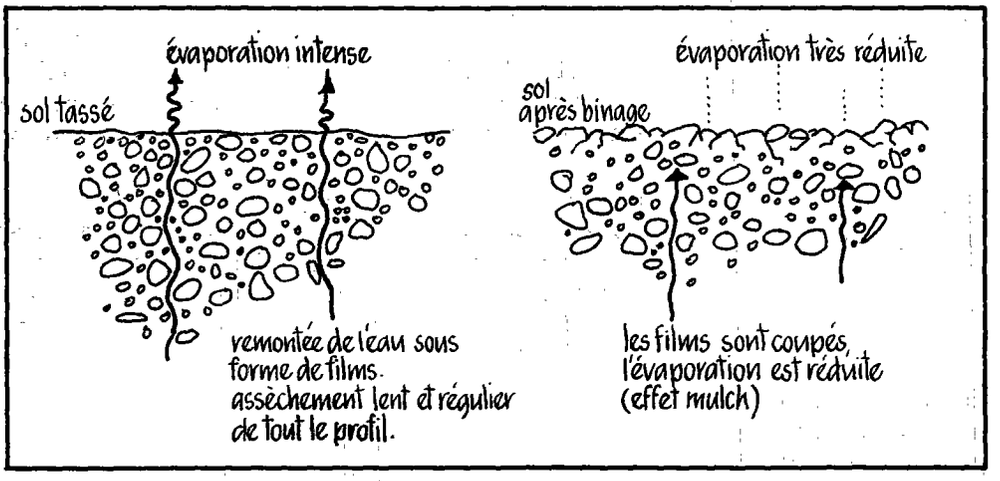


Le sarclage exige une grande quantité de travail:
• 200 à 400 heures/hectare selon les situations pour l'association maïs/sorgho/*pois congo* à Petite Rivière de Nippes,
• 70 à 120 heures/hectare par sarclage pour le riz pluvial à Grison-Garde dans la Plaine du Nord.
Lorsque la plupart des parcelles sont semées à la même période (pour mieux profiter des pluies par exemple), elles nécessitent alors d'être sarclées en même temps, ce qui pose de gros problèmes aux exploitations qui ne disposent pas d'une main-d'oeuvre suffisante.

LIMITER L'ÉVAPORATION À LA SURFACE DU SOL

• Un sol tassé favorise la remontée de l'eau du sol en surface au fur et à mesure de son évaporation.
• Le binage, en cassant l'horizon de surface, provoque son dessèchement rapide et la rupture des films d'eau. La remontée de l'eau est ainsi stoppée et les couches inférieures du sol restent humides (effet mulch).

Figure 144 : effet du binage sur le dessèchement d'un sol.



• Au contraire, un léger arrosage (ou une faible pluie) maintient humide les premiers centimètres, ce qui augmente l'évaporation et favorise la remontée de l'eau de profondeur.
• Recouvrir le sol avec des déchets végétaux (pailles adventices...) limite aussi l'évaporation: c'est un *mulching*.

LES BRISE-VENTS ET L'OMBRAGE

• **Brise-vents :** les haies d'arbres autour des parcelles protègent les cultures du vent et diminuent l'évapotranspiration. La plantation de haies brise-vent autour d'une parcelle est donc une technique de lutte contre la sécheresse. Cette technique joue aussi un rôle sur la circulation de l'eau, l'érosion et l'ensoleillement.
Elle est beaucoup plus efficace lorsqu'elle est appliquée sur l'ensemble des parcelles d'une zone plutôt que sur une parcelle isolée. On parle alors de *zone embocagée*.

• **Ombrage :** dans les jardins "*pré-kaye*", les cultures vivrières bénéficient d'un véritable micro-climat créé par la présence d'arbres. Le rayonnement et le vent sont moins importants et l'humidité de l'air y est supérieure. Ces parcelles sont réservées aux plantes exigeantes en eau: bananes, ignames, taros, mais supportant bien l'ombre. Ces parcelles sont également des zones où la fertilité est élevée du fait d'apports réguliers de matières organiques (détritus de cuisine, parcage des animaux, chute des feuilles d'arbre).



Dans les jardins "pré-kaye", les cultures vivrières bénéficient d'un véritable micro-climat créé par la présence d'arbres (photo D. Mermet).

AUGMENTER LA QUANTITÉ D'EAU DISPONIBLE POUR LES CULTURES

L'irrigation, lorsqu'elle est bien menée, résout évidemment les problèmes d'alimentation hydrique des plantes. Mais les possibilités d'irriguer ne sont limitées qu'à quelques régions en Haïti. Dans les autres régions, certaines techniques simples permettent d'améliorer l'alimentation en eau des cultures.

LIMITER LE RUISSELLEMENT

Lors d'une pluie, une partie de l'eau reçue ruisselle sur le sol et quitte la parcelle. Cette eau n'alimente donc pas la réserve utile et ne sert pas aux cultures en place. La part de l'eau qui s'infiltre dans le sol varie selon sa perméabilité, l'état de surface, la pente et la violence de la pluie (quantité d'eau tombée par unité de temps). Quand le ruissellement devient important, même sur pente faible, l'eau entraîne avec elle des particules de sol: c'est l'érosion, problème très important en Haïti.



En cultivant le manioc sur des billons perpendiculaires à la pente, les paysans réduisent le ruissellement. Une plus grande part de l'eau s'infiltre dans le sol (photo D. Mermet).

Limiter le ruissellement, c'est freiner les phénomènes d'érosion mais aussi favoriser l'infiltration et donc augmenter la réserve en eau du sol pour les cultures:
• les plantes elles-mêmes favorisent l'infiltration de l'eau en freinant le ruissellement et limitent l'érosion en protégeant le sol de l'impact des gouttes de pluie. Ainsi, on évitera de laisser longtemps sans végétation des terrains sensibles à l'érosion,
• ce même rôle peut être joué aussi par une couverture de déchets végétaux (qui joue aussi le rôle d'un mulch),
• *le binage,* en créant un horizon de surface meuble facilite l'infiltration de l'eau dans le sol,
• les aménagements anti-érosifs, réalisés correctement, favorisent l'infiltration en freinant fortement le ruissellement. Lorsque ces aménagements correspondent à des plantations d'arbres ou d'arbustes, ils jouent aussi un rôle de brise-vent.

FAVORISER UN ENRACINEMENT PROFOND ET DENSE

La réserve en eau utilisable par les plantes dépend de la profondeur d'enracinement et de sa densité. Ainsi, en créant des conditions favorables à l'implantation rapide et profonde des racines, on contribue à mettre à la disposition de la culture une réserve en eau importante.
Un travail du sol correct facilite l'enracinement des cultures en créant une structure favorable et en éliminant les obstacles à la croissance des racines. Il favorise aussi l'infiltration de l'eau de pluie et diminue le ruissellement.

En Haïti, le travail du sol est le plus souvent réalisé manuellement, ce qui limite la profondeur du sol travaillée. Un travail du sol plus profond peut aboutir à un enracinement plus profond lorqu'il permet l'élimination d'obstacles à la pénétration des racines. Mais cela entraîne une dilution importante et irréversible de la matière organique dont dépend en grande partie la fertilité des sols.
Parfois, c'est l'épaisseur du sol elle-même qui limite l'enracinement. Un travail profond du sol est alors à proscrire car il peut être néfaste (remontée en surface de roches ou d'éléments peu fertiles). Sur pente, les aménagements anti-érosifs permettent une accumulation des éléments entraînés par l'érosion et donc une augmentation de l'épaisseur du sol.

Dans tous les cas il est nécessaire de connaître précisément ce qui limite la descente des racines avant de vouloir modifier les techniques culturales pratiquées par les agriculteurs*.

* voir chapitre 7 pour l'enracinement et chapitre 3 pour le profil cultural

Les moyens de lutte contre la sécheresse

• Moyens permettant de limiter l'évapotranspiration maximale des cultures.

• Choix de cultures aux cycles de développement adaptés aux périodes de disponibilité en eau: choix de variétés aux cycles courts, associations de cultures ayant des périodes sensibles décalées dans le temps.

• Choix d'espèces ou de variétés résistantes à la sécheresse.

• Choix d'une densité correspondant aux disponibilités en eau.

• Lutte contre les adventices (sarclages).

• Binage pour favoriser un self-mulch.

• Mise en place de brise-vents (création de bocages).

• Mulching par couverture du sol de déchets végétaux.

• Moyens permettant d'augmenter la quantité d'eau disponible pour les cultures

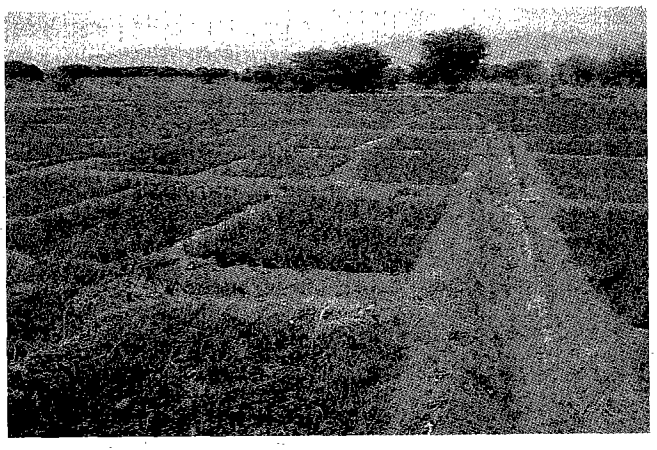
• Limitation du ruissellement (favoriser l'infiltration; cultures sur billons en courbes de niveau; aménagements anti-érosifs; couverture du sol).

• Favoriser un enracinement dense et profond (élimination des obstacles aux racines par le travail du sol).

• Irrigation (si possibilité).

• Amélioration de la capacité de rétention en eau du sol par apports de matières organiques (surtout en sols sableux).





Canal creusé par les paysans à la plaine de Larbre. Au moment des crues, l'eau est amenée jusqu'à leurs parcelles.

Canal desservant des parcelles d'échalottes à la plaine de Larbre, irrigation par pompage (photos M. Bonnefoy).

Micro-barrage réalisé par des paysans pour irriguer leurs parcelles de riz (plaine du Nord) (photo M. Bonnefoy).

Parcelles de riz irriguées, périmètre irrigué de Grison-Garde (plaine du Nord) (photo D. Mermet).





L'alimentation en eau du riz pluvial à Grison-Garde

A Grison-Garde (plaine du Nord), les précipitations annuelles sont voisines de 2 000mm et se répartissent en deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches:
- saison pluvieuse d'automne: de septembre à décembre,
- saison sèche d'hiver: janvier et février,
- saison pluvieuse de printemps: de mars à juin,
- saison sèche d'été: juillet et août.

Le riz est cultivé durant les deux saisons pluvieuses:
-semis en février-mars: *riz de printemps,*
-semis en août-septembre: *riz d'automne.*

Le riz est le plus souvent associé au maïs et au vigna, ce qui permet aux paysans de réduire les risques d'une mauvaise récolte en cas d'aléa climatique :
- en cas de sécheresse, le maïs et le vigna produisent alors que le riz échoue,
- inversement, en année humide, c'est le riz qui fournit la quasi-totalité de la production (les sols, à tendance hydromorphe mettent le maïs et le vigna en situation d'asphyxie).

Les surfaces semées en riz sont beaucoup plus importantes lors de la saison d'automne car les pluies y sont en général plus abondantes et surtout plus régulières.

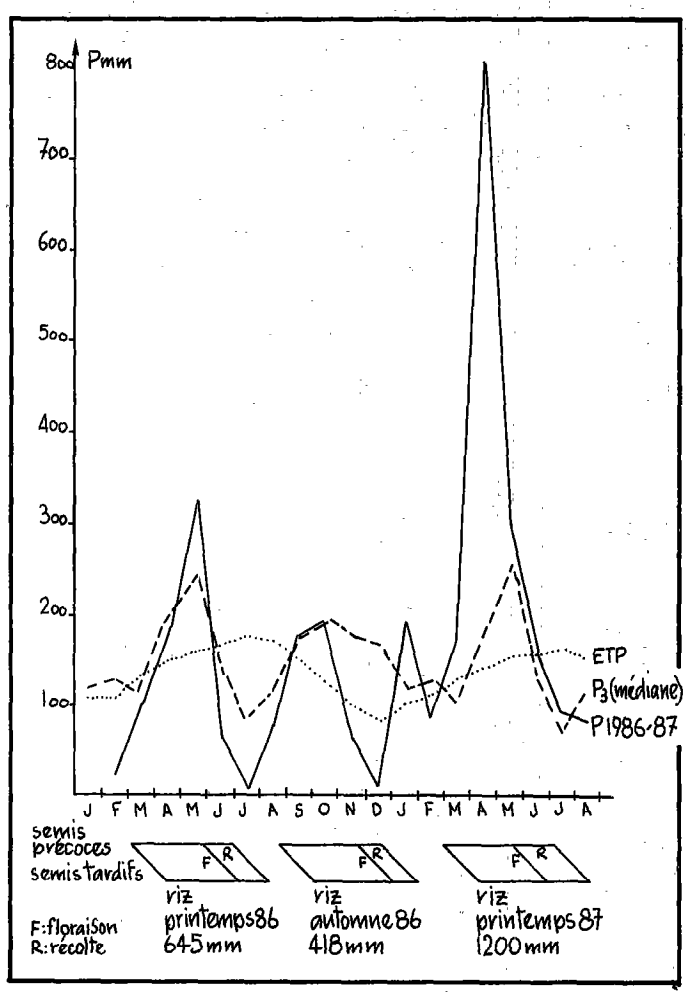


Association de cultures riz-maïs-vigna à Grison-Garde, plaine du Nord (photo D. Mermet).

CALAGE DU CYCLE DU RIZ EN AUTOMNE 1986

La figure suivante présente la pluviométrie mensuelle de 1986-1987 comparée à la médiane (P3 de l'analyse fréquentielle) et à l'ETP. En dessous figurent les cycles du riz pluvial pour trois saisons de culture.

Figure 147 : pluviométrie mensuelle de janvier 1986 à août 1987 (soit sur 3 cycles de riz pluvial), médiane (P3) et ETP (Grison-Garde).



Il ressort de ce graphique :

- que la saison d'automne 1986 est exceptionnellement sèche. Les deux derniers mois de la saison culturale sont déficitaires (P<ETP),
- que la saison de printemps 1987 est particulièrement pluvieuse, les besoins en eau de la culture sont très largement couverts,
- que la saison de printemps 1986 est proche de la médiane, seul le dernier mois de culture (juin) est déficitaire. Il faudrait étudier plus finement la répartition des pluies sur le cycle (par 5 ou 10 jours).

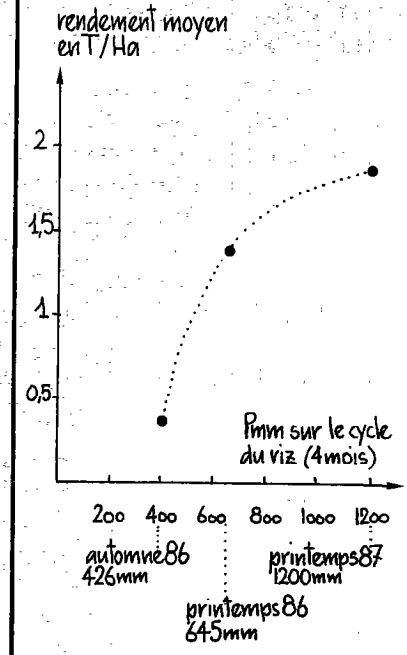
Au cours de ces trois cycles de culture, des rendements ont été mesurés sur un certain nombre de parcelles d'agriculteurs.

Cette grossière analyse laisse penser qu'une faible pluviométrie (dans notre cas, particulièrement en fin de cycle) limite les rendements en riz pluvial, d'autant plus que le déficit est prononcé.

Une étude plus sérieuse serait nécessaire et pour cela il faudrait :

- analyser les résultats d'un plus grand nombre d'années,
- voir sur quelles composantes du rendement les différences s'établissent,
- étudier plus finement la répartition des pluies sur le cycle du riz.

Figure 148 : relation entre la pluviométrie et les rendements en riz pluvial pour trois saisons de culture (Grison-Garde 1986-87).



	Automne 86	Printemps 86	Printemps 87
Nombre de parcelles observées	28	10	10
Nombre de parcelles où le rdt est nul	11	-	-
Pluviométrie sur 4 mois	426 mm	645 mm	12 00 mm
ETP 4 mois	422	558	558
P - ETP	4	+87	+642
Rendement moyen en t/ha	0,43	1,45	1,85

Figure 149 : effets d'une sécheresse à différentes périodes du cycle du riz sur le rendement et les composantes du rendement (Matsushima). (la période de sécheresse est donnée en nombre de jours par rapport à l'épiaison/ floraison)

Période de sècheresse en nombre de jours par rapport à l'épiaison/ floraison	Rendement en grammes par pied	Nombre de de panicule par pied	Stérilité des épillets en %	Epillets* pleins en %	Poids de 1000 grains en g
- 55	18,0	11	11	70	21,8
- 51	16,8	11	9	66	22,0
- 43	19,5	11	14	65	21,5
- 35	20,0	12	11	60	20,5
-27	17,0	11	12	54	20,2
-19	15,7	11	34	52	20,8
-11	6,5	10	62	29	21,6
3	8,3	10	59	38	20,9
+5	16,5	11	10	59	21,9
+13	20,5	10	7	66	22,5
sans période de sècheresse	22,7	10	15	65	21,9

* (l'épillet est la fleur ou le futur grain. Lorsqu'un épillet est stérile, il ne donne pas de grain).

• **Ces résultats confirment aussi :**
. qu'en automne 1986, le premier facteur limitant pour le riz pluvial est l'eau,
. qu'une période de sécheresse est beaucoup plus néfaste lorsqu'elle a lieu au moment de la floraison.

• **Quels conseils peut-on donner aux paysans?**
Il ressort de cet exemple qu'il aurait été favorable de semer tôt, soit avant le 1er septembre, pour que la floraison ait lieu au mois de novembre, plus pluvieux que le mois de décembre. Mais peut-on généraliser aux autres années?

L'analyse fréquentielle de la pluviométrie mensuelle sur 24 ans confirme que les risques d'une sécheresse sont plus importants en décembre qu'en novembre(voir figure 143):
. une année sur quatre, la pluviométrie du mois de décembre est inférieure à 50 mm. Il faudrait alors une réserve utile de plus de 100 mm et pleine fin novembre pour satisfaire la demande climatique (ETP),
. une année sur douze seulement, la pluviométrie du mois de novembre est inférieure à 50 mm. De plus, le mois d'octobre est régulièrement le mois le plus pluvieux ce qui laisse supposer que la réserve utile est suffisamment pleine pour satisfaire les besoins du riz durant une bonne partie du mois de novembre en cas de sécheresse.

En revanche, s'il est préférable de semer tôt, il faut aussi que les conditions le permettent:
. préparation des terres à temps,
. pluviométrie suffisante pour une bonne levée.
Ces conditions ne sont pas toujours réunies et, dans le cas d'un semis tardif, l'utilisation d'une variété à cycle court permet de limiter les risques d'échec en avançant la date de floraison. C'est pourquoi, dans la plaine du nord, a été introduite une variété de riz à cycle court que les paysans appellent *"Riz soleil"* et dont le cycle est de 100 jours au lieu de 130 jours pour les variétés locales. Dans notre exemple, cette variété semée le 15 septembre aurait fleuri le 25 novembre au lieu de 15 décembre pour la variété locale. L'utilisation de cette variété limite donc les risques d'échec du riz d'automne dans cette région.

BILANS HYDRIQUES

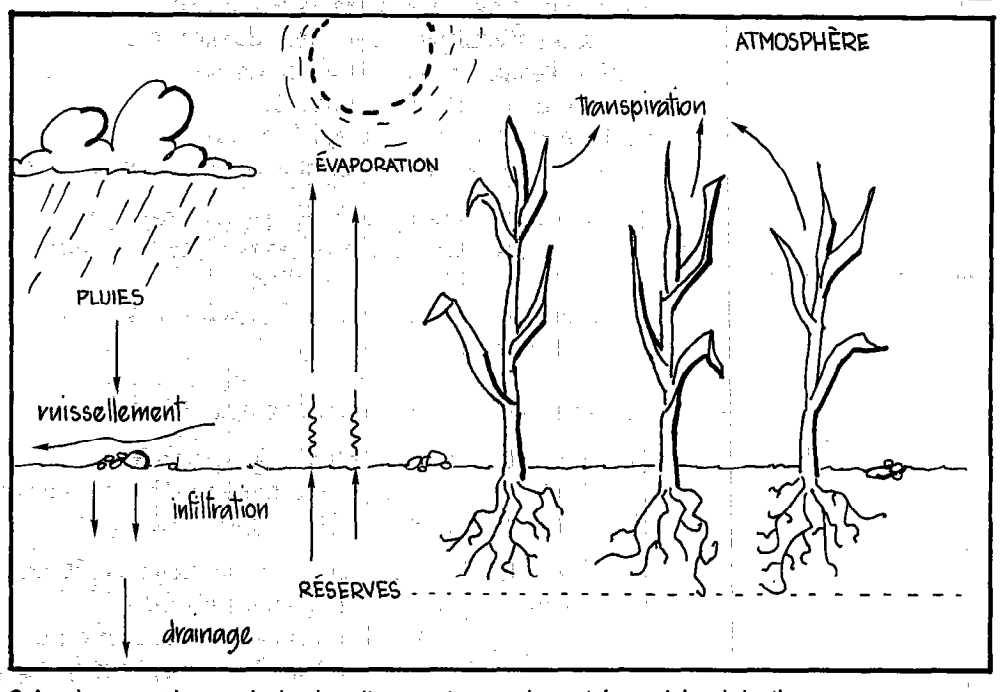
Dans une région donnée, une bonne connaissance du climat, des sols et des besoins en eau des cultures permet d'estimer les problèmes d'alimentation qui peuvent se poser à certaines périodes pour les cultures.

Faire un *bilan hydrique,* c'est comparer la quantité d'eau nécessaire à la culture et celle qui est disponible dans le sol. Ces deux valeurs varient constamment dans le temps selon le stade de la culture et les conditions climatiques (pluie et évapotranspiration potentielle).
L'encadré suivant nous montre quelles sont les entrées et sorties qui constituent les termes de ce bilan.
On distingue deux types de bilan: les bilans réels et les bilans prévisionnels.

LES BILANS RÉELS

Ils sont calculés après une culture à l'aide de mesures réalisées directement tout au long de la culture.
Ils sont utiles pour mieux connaître le milieu et les relations climat-sol-plante qui ont lieu lors de la culture. Ils permettent de mieux connaître les doses d'eau à apporter, les moments des apports et ainsi de faire le diagnostic du fonctionnement d'un système d'irrigation.

Bilans hydriques



Grâce à son système racinaire, la culture peut prospecter une certaine profondeur de sol.
Dans ce volume de sol exploité, elle est capable d'y trouver un certain volume d'eau: c'est la réserve en eau utilisable du sol.
Faire un bilan hydrique, c'est évaluer cette réserve et son évolution au cours du cycle de la culture. C'est donc évaluer dans le temps:

- les entrées : pluies, irrigations.
- les sorties :
  - eau évaporée par le sol,
  - eau transpirée par la culture (ETR),
  - eau drainée en profondeur et donc perdue pour la culture,
  - ruissellement.

La taille maximale de cette réserve est égale à la **réserve utile**.

La formule est la suivante:

P - D - R = ETR + (H finale - H initiale) du sol

- P= pluie ou irrigation
- D= drainage
- R= ruissellement
- ETR= évapotranspiration réelle de la culture

(en mm sur la période considérée)

- (Humidité finale - Humidité initiale)= Δ RU= différence entre la quantité d'eau présente dans l'horizon du sol exploité par les racines entre la fin et le début de la période considérée (en mm).

Lorsque des mesures d'humidité du sol sont réalisées, si le ruissellement et le drainage sont négligeables, ces bilans permettent:
- de déterminer l'évapotranspiration réelle sur une période donnée et la comparer à ETM pour savoir si la culture a souffert d'un déficit hydrique,
- de déterminer la réserve en eau facilement utilisable (RFU).

Bilans hydriques simplifiés pour le diagnostic a posteriori

Durant une période de culture, lorsque la pluviométrie est inférieure à l'ETM (évapotranspiration maximale), la culture puise l'eau dont elle a besoin en partie dans la réserve utile. Si cette période se prolonge, il arrive un moment où la réserve utile est vide, la plante connaît alors un déficit hydrique qui peut entraîner son dessèchement et sa mort.
En réalité, la plante commence à souffrir, et donc à réduire sa photosynthèse avant, dès que la RFU est vide.

Lors d'un diagnostic sur une culture (après récolte), il est important de savoir si elle a connu un déficit hydrique et à quelle phase de son cycle, ce qui peut expliquer en partie le rendement.
On réalise alors un bilan hydrique précis sur la période où P - ETM < 0

L'excès d'eau et les techniques adaptées

• Définition d'un excès d'eau

Lorsqu'un sol est ressuyé (humidité à la capacité au champ, Hcc), l'eau occupe la microporosité du sol et la macroporosité est occupée par de l'air.
Si pour différentes raisons l'eau occupe toute la porosité, le sol est *saturé*, il n'y a plus d'air, ce qui est néfaste pour les plantes: il y a *excès d'eau.*
En général, on estime qu'il y a excès d'eau dès que l'humidité du sol est supérieure à Hcc, c'est-à-dire qu'une fraction de la macroporosité reste occupée par l'eau. Mais dans les cas extrêmes, l'eau recouvre totalement le sol, on parle alors d'inondation.

• Les zones à excès d'eau

Les problèmes d'excès d'eau se rencontrent dans des situations pédologiques et topographiques particulières où un obstacle empêche l'eau de gravité de s'infiltrer en profondeur.
Cet obstacle peut être:
• une couche imperméable du sol (argile, limons fins) ou du sous-sol,
• la présence d'une nappe d'eau souterraine (nappe phréatique) qui remonte à la surface du sol à la saison des pluies.

Voici quelques exemples de zones où l'on rencontre régulièrement des problèmes d'excès d'eau:
• cuvettes en bas de pente(vertisols),
• bords de rivières,
• plaines maritimes,
• plaines hydromorphes.

EFFETS SUR LES PLANTES

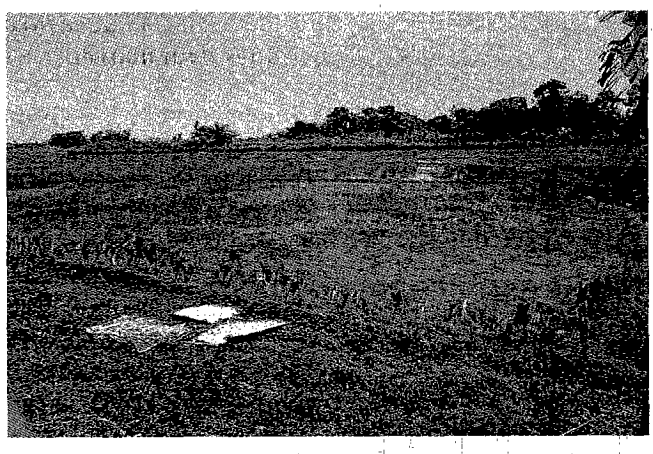
Les plantes sont plus ou moins sensibles aux excès d'eau selon les espèces:
• le riz, par exemple, est adapté aux zones inondées,
• les tubercules, en général, sont très sensibles aux excès d'eau puisque la partie récoltée est en terre. Seul le *mazombelle* (taro) peut supporter de longues périodes d'inondation, sa tubérisation est même favorisée par une forte humidité du sol. C'est pour cela qu'on le trouve fréquemment planté en bordure des rizières.
• la plupart dés légumineuses sont souvent plus sensibles aux excès d'eau que les céréales.

Les plantes sont plus sensibles aux excès d'eau à certaines périodes de leur vie (stades physiologiques) qui sont pour la plupart des espèces :

Une plaine hydromorphe : le marais de la Suisse dans la plaine du Nord.

Une plaine maritime : le «lagon» à Camp-Louise (photos M. Bonnefoy).





• la germination des graines ou la reprise des boutures,
• la formation des fleurs ; la période la plus sensible se situe juste avant la floraison.

LES SYMPTOMES

Les symptômes d'une plante subissant un excès d'eau sont très proches de ceux dus à une mauvaise alimentation hydrique ou minérale:
• les feuilles flétrissent, jaunissent puis meurent à partir de leur base,
• les racines deviennent brunes et visqueuses et arrêtent leur croissance. Après la période d'excès d'eau, de nouvelles racines, courtes, blanches et épaisses apparaissent,
• la croissance globale de la plante ralentit.
Plus l'excès d'eau dure longtemps, plus ses conséquences sont néfastes sur la plante et le rendement.

EFFETS SUR LE SOL

MODIFICATION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

Le sol n'étant plus aéré, la concentration en oxygène diminue et celle en gaz carbonique (CO_2) augmente. Les conséquences sont multiples:
• les racines ne peuvent plus respirer et l'alimentation en eau et en éléments minéraux de la plante ne se fait plus correctement,
• les micro-organismes adaptés aux conditions anaérobies se développent,
• la décomposition des matières organiques se fait mal et libère des substances toxiques pour les plantes. On retrouve alors facilement des matières organiques peu évoluées et le sol prend une odeur de vase,
• la minéralisation de l'azote s'arrête à NH_4^+ qui s'accumule dans les sols hydromorphes (NH_4^+ est beaucoup moins assimilable par les plantes que NO_3^-),
• les minéraux oxydés sont réduits; le fer, lorsqu'il est présent sous forme d'oxyde ferrique (Fe^{3+}), donne au sol aéré une couleur rouille ; réduit à l'état ferreux (Fe^{2+}) en l'absence d'oxygène, il colore le sol en gris-bleu ou verdâtre. Ces tâches bleu-vert présentes dans un profil sont un indicateur des milieux asphyxiants, on les appelle des *gleys*.
D'autres minéraux sont réduits et peuvent devenir toxiques pour les plantes: NO_2, Mn^{2+}.

MODIFICATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES : LA STRUCTURE SE DÉGRADE

Les risques de battance et de prise en masse sont très importants, surtout s'il y a stagnation d'eau en surface. Les argiles se gonflent, les fissures séparant les agrégats disparaissent, la structure devient compacte... Dans ces conditions, les risques d'une mauvaise germination ou d'une mauvaise levée sont élevés et les racines ont du mal à s'implanter.

La cohésion diminue et le sol devient très sensible au tassement; il ne peut plus être travaillé : les paysans ne peuvent pas préparer leurs terres ou sarcler leurs cultures à ces périodes.
La dégradation de la structure entraîne une diminution de la perméabilité et les risques d'un nouvel excès d'eau sont alors accrus.

Exemple d'un diagnostic de milieu asphyxiant pour les racines sur des parcelles de riz irrigué à St-Raphaël

Le riz est la seule céréale qui supporte et apprécie la submersion. Mais les racines ont aussi besoin de respirer et leur oxygénation est assurée par un renouvellement régulier de l'eau dans les parcelles.
Sur certaines parcelles de St Raphaël, les paysans se plaignaient que leur riz était "brûlé" par une "maladie".

Des observations réalisées sur place ont permis de trouver la cause de ces symptômes.

• **Observation des parties aériennes:**
. la plupart des feuilles sont petites, jaunes ou sèches, la croissance des plants de riz est bloquée,
. les mauvaises herbes, quelqu'elles soient, ont les mêmes symptômes, ce n'est donc pas une maladie du riz,
. dans les parcelles en eau, les zones atteintes sont les plus bassesDans les parcelles asséchées, les zones atteintes sont les cuvettes où l'eau a stagné car il reste à la surface du sol une mince couche blanchâtre d'algues sèches.

• **Observation du sol et des racines:**
. par simple prélèvement d'une pelletée de terre pour les parcelles inondées; par un profil cultural en parcelle asséchée dans les zones atteintes.

Parcelles en eau :
. il n'y a pas de porosité visible,
. on note la présence de tâches bleu-noirâtres, en particulier autour des débris végétaux, avec une odeur de vase,
. les racines sont rares, fines en surface et mortes en profondeur.
Le milieu est donc asphyxiant. Les débris organiques fermentent sans oxygène, ce qui aggrave les conditions réductrices et asphyxiantes provoquant des "gleys".

Parcelles asséchées :
. pas de porosité visible,
. des tâches de rouille, en particulier autour des racines vivantes, indiquent une réoxydation récente du fer qui avait été, auparavant, dissous dans l'eau privée d'oxygène sous forme de sels ferreux(Fe^{++}), .juste sous la surface du sol, à côté de racines en mauvais état ou mortes, poussent de nouvelles petites racines blanches.
Le milieu a donc été récemment asphyxiant.

Une asphyxie, pas une maladie

Toutes ces observations concordent à montrer qu'il ne s'agit pas d'une maladie mais *d'asphyxie,* même pour des racines de plantes adaptées à la submersion:
• l'eau stagnante est trop pauvre en oxygène,
• le sol n'a pas de porosité visible:
• soit parce qu'il s'agit de limon à structure fragile qui s'est tassée,
• soit parce qu'il n'y a pas eu de travail du sol pour reconstituer la porosité,
• soit à cause d'un piétinement excessif en conditions humides ce qui a gêné la circulation de l'eau et la pénétration des racines,
• la décomposition des débris végétaux (résidus de cultures précédentes, mauvaises herbes) à l'abri de l'air a aggravé cette asphyxie.

Mais ce diagnostic rapide sur le terrain ne permet pas d'évaluer si cette hydromorphie a provoqué une chute de rendement. Et dans le cas d'une baisse de rendement, à quelles conséquences de la saturation en eau (asphyxie des racines, blocage d'éléments minéraux ...) est-elle due.
Pour répondre à ces questions, un suivi fin de parcelles dans ces conditions est à réaliser avec une analyse de l'élaboration du rendement.

Remèdes proposés
Dès que des signes d'asphyxie en cours de culture sont observés, la situation peut être améliorée :
• en asséchant fréquemment la parcelle et en creusant des rigoles pour drainer les cuvettes où l'eau stagne,
• en assurant une circulation d'eau permanente durant les submersions.

Pour la culture suivante:
• améliorer le planage (mettre la terre des bosses à la pelle dans les dépressions),
• reconstituer une bonne porosité par un labour ou un bêchage,
• éviter de piétiner le sol,
• éviter l'enfouissement de masses de matières organiques non décomposées,
• irriguer avec une circulation permanente de l'eau,
• assécher fréquemment pour réoxygéner en creusant des rigoles pour drainer les cuvettes.

TECHNIQUES CULTURALES PRATIQUEES DANS LES ZONES INONDEES

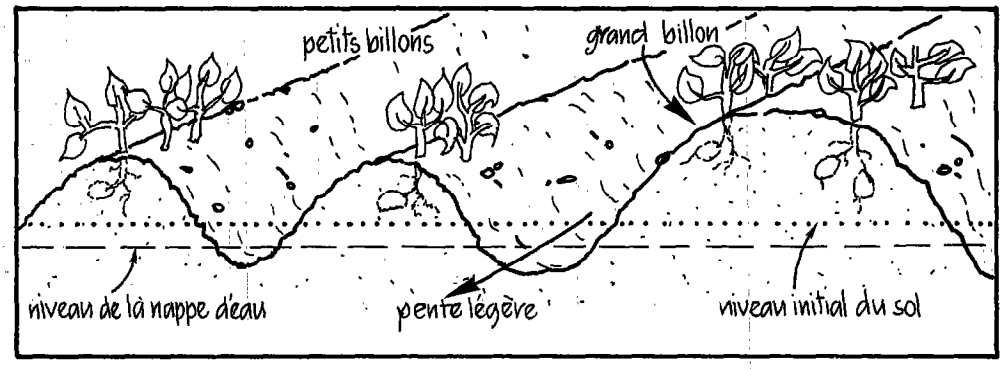
ZONES INONDÉES EN PERMANENCE OU QUASI-PERMANENCE

La pratique de la riziculture inondée implique que le sol soit à la fois suffisamment drainé, et alimenté en eau. Pour cela, des aménagements (réseaux de canaux) sont nécessaires ainsi qu'une grande disponibilité en eau (source, rivière déviée).
Le niveau de la nappe d'eau dans ces zones varie au cours de l'année selon la pluviométrie. Ainsi, à certaines périodes, le niveau descend légèrement en dessous de la surface du sol, ce qui permet de cultiver d'autres espèces utilisant certaines techniques.

La plaine de Camp-Louise

La plaine maritime de Camp-Louise est pratiquement horizontale et le sol est saturé d'eau en permanence par la présence de la nappe phréatique et les remontées capillaires.
Lorsqu'en saison sèche, le niveau de la nappe se trouve en dessous de la surface du sol (voir schéma ci-dessous). Les paysans, en réalisant des *billons*, placent hors de l'eau un certain volume de terre. Celle-ci est alors suffisamment aérée pour permettre aux racines et aux tubercules de s'y développer.

Figure 153 : schémas de billons



Les patates douces, plantées sur les billons profitent d'un sol aéré et régulièrement alimenté en eau par les remontées capillaires. La réalisation des billons dans le sens de la pente (même très faible) permet d'accélérer le drainage.
Du riz peut être planté dans les sillons, la surface du sol est alors complètement utilisée. Le fond des billons est ainsi souvent utilisé comme pépinière pour le riz.
Contrairement aux buttes réalisées pour l'igname, par exemple dans les sols drainés, ici il faut éviter d'enfouir des débris végétaux sous la butte. La décomposition de ces matières organiques dans un sol saturé d'eau produit des gleys toxiques pour les racines.

ZONES À EXCÈS D'EAU TEMPORAIRES

Des inondations de durées plus ou moins longues se produisent dans différentes situations.

Près d'une rivière lors des périodes de crues

La réalisation de buttes ou de billons dirigés vers la rivière permet de réduire la période d'ennoyage des racines lorsque la nappe d'eau remonte à la surface.

Cuvette où s'accumule l'eau

De par leur situation, les sols de fond de cuvette sont souvent très argileux (vertisols) et deviennent imperméables lorsqu'ils sont très humides. Ces zones ont l'avantage de pouvoir être cultivées en périodes sèches alors que les terrains de pentes sont desséchés. Mais en période de fortes pluies, les risques d'asphyxie sont élevés. Les modes de mise en valeur de ces zones sont fonction de la durée de la période d'inondation, de la possibilité de drainage et de la quantité d'eau permettant ou non une irrigation régulière.

Constitution de grosses buttes dans les bas-fonds inondables de Bois-de-Lance (plaine du Nord) avec concentration des résidus organiques (photo M. Bonnefoy).

Préparation des buttes pour la culture du haricot (ou de l'association maïs-manioc-vigna) en plaine inondable à Grison-Garde, plaine du Nord, 1988.

Haricots sur billon en plaine hydromorphe inondée, plaine du Nord, 1988 (photos D. Mermet).







Les plaines hydromorphes

Dans le cas de plaines hydromorphes, les inondations ne sont pas dues à la remontée de la nappe phréatique mais à la présence d'un horizon du sol imperméable qui empêche le drainage en profondeur de l'eau de pluie.
Dans ces plaines, les problèmes d'excès d'eau sont particulièrement importants dans les parcelles situées dans les dépressions où s'accumule l'eau.
Seuls des aménagements importants, tels que la réalisation d'un réseau de canaux de drainage, permettent un assainissement de ces zones. La présence de sources, de rivières, permet de plus la mise en place éventuelle d'un réseau d'irrigation.

L'aménagement de telles zones est une opération de grande envergure qui nécessite de nombreuses études préalables (études pédologiques, hydrologiques, agronomiques et économiques), car cela entraîne de nombreuses modifications, non seulement du milieu physique mais aussi du fonctionnement socio-économique de la région concernée.
Dans le cas d'une plaine maritime (comme à Camp-Louise), ce type d'aménagement risque de provoquer à moyen terme des remontées d'eau saumâtre (salée) qui rendraient le sol impropre à la culture de manière irréversible.

La plupart de ces zones (plaines ou cuvettes) sont alimentées en partie par l'eau qui ruisselle sur les pentes des mornes avoisinantes. Le déboisement de ces mornes favorise le ruissellement et l'érosion. Cela a des conséquences sur ces zones qui sont alors inondées de façon plus violente et irrégulière, rendant d'autant plus difficile leur mise en culture.

La réalisation d'aménagements anti-érosifs efficaces sur les pentes a donc aussi une action favorable sur les zones inondables.

Mazombelle cultivé sur buttes dans les rizières inondées (photo G. de Laubier).



DANS DES ZONES D'ALTITUDE

Sur le plateau des Rochelois (900m /2 000 mm de pluies par an)

La réalisation de buttes dans cette région permet surtout de concentrer la matière organique (résidus de cultures et mauvaises herbes) sous les espèces les plus exigeantes (maïs, igname). Mais son rôle est aussi de favoriser le drainage: en période de fortes pluies, la perméabilité du sol n'est pas suffisamment grande pour drainer toute l'eau, les buttes permettent de maintenir une bonne aération du sol (ce problème est plus lié à la violence des pluies qu'au type du sol: sol ferrallitique).

Le haricot est très sensible aux excès d'eau: (comme la plupart des légumineuses: *pois connu - pois congo*)
Les périodes où il est le plus sensible à l'asphyxie se situent avant la floraison, soit 30-40 jours après le semis et au début du cycle (levée). Le choix des dates de semis et des terrains pour cette culture est un compromis entre les risques d'excès d'eau et de sécheresse. Trois périodes de semis sont pratiquées:
• *semis de février*: ils sont réalisés au retour des pluies, après la saison sèche de décembre-janvier. Un décalage des semis d'une semaine en fonction des pluies fait varier les rendements,
• *semis de juillet*: ils ont lieu après la courte saison sèche de juin,
• *semis d'octobre*: ils sont toujours effectués en conditions humides. Les risques d'excès d'eau sont très importants. Ils sont limités par les capacités drainantes des rendzines de pentes réservées aux haricots d'octobre. La figure 154 montre comment ces problèmes d'asphyxie liés au sol et au climat limitent le rendement final à travers son élaboration.

Sur le plateau central

Dans l'association maïs-sorgho-*pois congo*, le maïs et le *pois congo* sont généralement semés ensemble après les premières pluies d'avril (comme à Madian). Mais dans les *sols hydromorphes*, les paysans ne sèment le *pois congo* qu'après les fortes pluies du mois de mai, entre les pieds de maïs: cela permet au *pois congo*, très sensible aux conditions asphyxiantes, d'éviter les périodes où les risques d'excès d'eau sont importants.

QU'EST-CE QUE LA FERTILITÉ D'UN SOL ?

La fertilité d'un sol représente, dans un climat donné, son aptitude à assurer de façon régulière et répétée la croissance des cultures et l'obtention de récoltes. Elle est la résultante de diverses composantes qui amènent à distinguer :
- la fertilité chimique,
- la fertilité physique,
- la fertilité biologique.

La notion de fertilité du sol est relative. En effet, un même sol ne permettra pas les mêmes niveaux de production selon le climat. D'autre part, il faut tenir compte des besoins des plantes, un sol peut être fertile pour une espèce et impropre à la croissance d'une autre.
Les moyens techniques disponibles transforment le milieu et modifient le jugement que l'on porte :
- l'irrigation par exemple a permis de mettre en valeur des sols qui étaient autrefois peu productifs (vallée de l'Artibonite). Dans ce cas, la fertilité proprement dite du sol n'est pas améliorée, mais la contrainte principale est levée, ici la disponibilité en eau,
- certains aménagements anti-érosifs peuvent permettre la remise en culture de sols abandonnés. Ici on agit sur le sol lui-même.

La fertilité d'un sol ne se mesure pas uniquement au rendement des cultures qu'il porte. Le coût de la production est à prendre en compte, coûts des techniques mais aussi leur difficulté d'application.

QU'EST-CE QUE GÉRER LA FERTILITÉ D'UN SOL ?

Gérer la fertilité d'un sol, c'est lui appliquer les techniques qui lui permettront de produire abondamment, mais aussi de reproduire ou d'améliorer sa fertilité à long terme. Certains systèmes de culture ont, à moyen terme, un effet négatif sur la fertilité du sol, même s'ils permettent une forte production les premières années.

Fertiliser un sol, c'est améliorer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques pour que les plantes puissent s'y nourrir et s'y développer correctement. Cela signifie :
- que le sol puisse fournir aux plantes les éléments nutritifs dont elles ont besoin,
- que sa structure favorise l'enracinement et la circulation de l'air et de l'eau,
- que ses propriétés physico-chimiques favorisent l'activité biologique utile à une bonne évolution des matières organiques,
- que ses propriétés biologiques permettent de limiter la présence d'organismes pathogènes et le stock d'adventices.

L'ensemble des techniques que l'on applique au sol dépendent les unes des autres. Les actions à entreprendre pour l'amélioration de la fertilité des sols devraient logiquement suivre l'ordre suivant :
- s'opposer à l'érosion,
- stabiliser la richesse du sol en éléments nutritifs et sa structure par des apports de matières organiques,
- créer une bonne structure en travaillant le sol au bon moment,
- compléter éventuellement l'alimentation des plantes en apportant des engrais minéraux.

L'ordre logique des actions tel qu'il est présenté ici ne tient compte que des aspects écologiques du milieu. Dans la réalité, il n'est jamais respecté car l'agriculteur haïtien organise son exploitation et son travail en fonction des conditions économiques et sociales dans lesquelles il se trouve.

Un mode de gestion de la fertilité : les jardins du plateau des Rochelois

La majorité des sols du plateau des Rochelois sont des sols ferrallitiques (voir chapitre 3). Leur fertilité est liée essentiellement à leur teneur en matière organique qui stocke et fournit la quasi-totalité des éléments nutritifs. Ainsi, plus que dans d'autres types de sol, la gestion de la fertilité passe ici par la gestion de la matière organique.

Dans ces conditions, les paysans ont mis en place des systèmes de culture où les transferts réguliers de matières organiques ont modifié la fertilité des jardins de manière différente selon leur mode de faire-valoir, leur distance de l'habitation et leur nature.
Les jardins se trouvant près des habitations voient leur fertilité croître grâce aux différents apports de matières organiques. Au contraire, les jardins éloignés et souvent en métayage ou en fermage voient leur fertilité baisser à cause des exportations régulières de résidus de cultures vers les autres parcelles.

Ainsi, sur les mêmes types de sol, on observe trois types de jardins qui diffèrent par leurs modes de culture et leur niveau de fertilité.
Chaque exploitation agricole est constituée au moins de trois jardins :
- un jardin *«devant-porte-kaye»* de 500 à 2000m^2,
- un jardin *«pré kaye»* de 1000 à 5000m^2,
- un ou plusieurs jardins *«loin kaye»*.

LES TROIS «JARDINS»

LE JARDIN DEVANT «PORTE-KAYE»

C'est une zone de végétation dense entourant la maison d'habitation et toujours en propriété. Dans ce jardin, les paysans associent de nombreuses espèces pérennes ou annuelles formant plusieurs *étages* de végétation :
- les espèces arborescentes forment l'étage supérieur : avocatiers (*Persea americana*), chadéquiers (*Citrus maxima*), sucrins (*Inga vera*), lauriers (*Octea leucoxy-*

Figure 158 : relation entre l'importance des apports organiques et les rendements d'une culture de haricot sur les sols ferralitiques du plateau des Rochelois.

	Nombre de parcelles observées	Rendements moyens en quintaux/ha	Coefficient de variation
Jardins *«pré-kaye»* recevant d'importants apports organiques	12	6,2	27 %
Jardins *«pré-kaye»* recevant peu d'apports organiques	4	4,4	26 %
Jardins *«loin-kaye»* sans restitution organique	4	3,9	26 %

UNE GESTION PAYSANNE DE LA FERTILITÉ

Pour gérer les réserves de matières organiques et leur répartition dans les différentes parcelles, les paysans mettent en oeuvre trois pratiques complémentaires :
- le transfert des résidus de culture des jardins *«loin kaye»* vers les parcelles entourant la maison,
- des jachères plus ou moins longues sur les jardins *«pré-kaye»* et *«loin-kaye»*,
- la concentration de la matière organique dans les buttes des jardins *«loin-kaye»* et *«pré-kaye»*.

LA GESTION DES RÉSIDUS DE CULTURE

Sur le jardin *«devant porte-kaye»* est attaché le cochon. Il s'y nourrit d'avocats, de lianes... produits de ce jardin, mais aussi de fanes de patates douces et d'adventices venant des autres jardins. Sa litière est répartie ensuite entre les deux jardins proches de l'habitation.

Sur le jardin *«pré-kaye»*, on retrouve le même mécanisme avec le gros bétail (vache-cheval-mulet). L'animal y trouve une partie de sa nourriture, l'autre partie provient soit du jardin boisé (stipes de bananiers, herbes de Guinée...) soit des jardins *«loin-kaye»* (chaumes et feuilles de maïs, adventices).
Les résidus de cuisines (fanes de haricots, spathes de maïs...) sont répandus sur les jardins proches de la maison. Les cendres fertilisent uniquement le jardin boisé. La cuisine est déplacée chaque année et les paysans plantent sur leur emplacement des bananiers qui bénéficieront de la potasse contenue dans les cendres.
D'autre part, les arbres du jardin *«devant porte-kaye»* produisent de la matière organique; ici c'est uniquement un transfert vertical des éléments nutritifs puisés en profondeur.

Les jardins *«loin-kaye»* ne bénéficient d'aucun apport, par contre sont exportés :
- les fanes, les gousses et les grains de haricots,
- les tubercules et une partie des fanes de patate-douce,
- une partie des adventices.

Il y a très peu de restitution de matière organique après récolte dans ces jardins.

Les transferts se font donc toujours dans le même sens et appauvrissent les jardins les plus éloignés au profit des autres. La raison en est que la sécurité de tenure des jardins *«loin-kaye»* est très faible (terres en métayage ou en indivision). Les paysans ont donc peu intérêt à les fertiliser. Au contraire, ils extrayent le maximum de fertilité de ces terres qu'ils ne sont pas sûrs de pouvoir cultiver l'année suivante.

LA PRATIQUE DES JACHÈRES

Dans les jardins *«pré-kaye»*, la jachère est sous couvert de manioc. La faible densité de celui-ci laisse passer la lumière, ce qui permet la constitution d'un couvert végétal adventice durant la deuxième année de rotation (cf. fig. 154-155).





A gauche : le plateau des Rochelois. Au premier plan, des jachères ; au loin, des parcelles récemment mises en culture.
A droite : jachère sous manioc dans un jardin «pré-kaye», plateau des Rochelois (photos M. Bonnefoy).

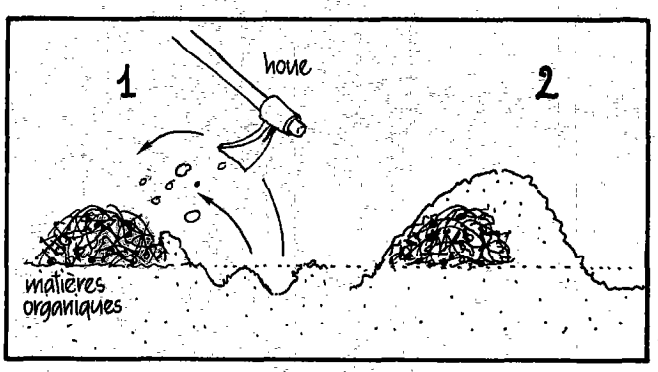
Dans les jardins *«loin-kaye»*, la jachère est nue et pâturée par les animaux. Sa durée est fonction de la disponibilité en terres de l'exploitant. Lorsqu'elle devient très courte (par manque de terres) la végétation spontanée qui s'y installe est très réduite. Il se peut alors que cela entraîne un déséquilibre de tout le système : la production de ces jardins diminue, les transferts vers les autres parcelles sont donc aussi réduits et le niveau de production agricole baisse.

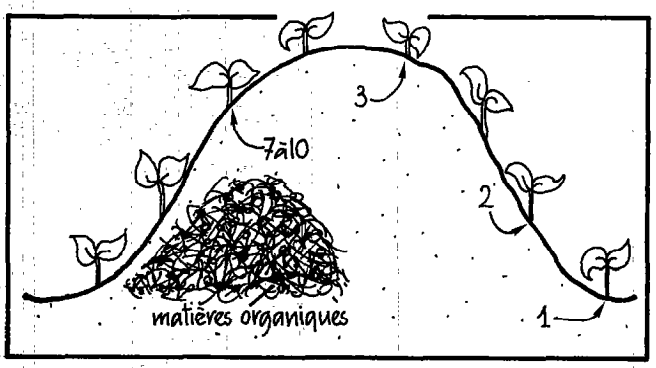
CONCENTRATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DANS LES BUTTES

Cette pratique concerne autant les jardins *«pré-kaye»* que les jardins *«loin-kaye»*.
A la fin de la jachère, un mois avant les semis et plantations, les mauvaises herbes sont sarclées à la houe.
Quinze jours plus tard, le *secouage* consiste à séparer la terre des mauvaises herbes, ce qui empêche leur reprise et active leur minéralisation.
Le *buttage* est réalisé une dizaine de jours après le secouage : les mauvaises herbes sont rassemblées en tas puis recouvertes avec la terre prise dans les 15 premiers centimètres de l'horizon de surface, formant ainsi des buttes d'un mètre de diamètre environ (cf. fig. 159). Cette opération favorise le développement racinaire par amélioration de l'aération et du drainage. Mais surtout elle permet une concentration de la matière organique puisque :
• la terre servant à la confection des buttes est prélevée dans l'horizon le mieux pourvu en matière organique,
• la matière organique fraîche (mauvaise herbe) est concentrée sur 1/4 de la surface comme le montre le schéma suivant.

Figure 159 : confection d'une butte avec concentration de la matière organique.

Figure 160 : rendement en q/ha de haricots selon la position des pieds sur la butte.





Les besoins des cultures en éléments minéraux

Les besoins des plantes en éléments minéraux sont extrêmement variables selon les espèces, mais aussi selon les variétés et les conditions de croissance des cultures (climat, sol, fertilisation).
L'essentiel des éléments minéraux sont puisés par les racines sous forme soluble dans le sol. Ils sont ensuite distribués dans les autres parties de la plante par la circulation de la sève brute vers les lieux de photosynthèse active. Ils ont chacun des rôles biologiques spécifiques.
Les racines peuvent aussi absorber certaines molécules organiques simples (urée - acides aminés) mais cela ne représente qu'un faible apport.

Lorsque l'on analyse des plantes d'une même espèce qui ont poussé dans des conditions différentes, on s'aperçoit que leur composition chimique est très variable. Il est donc difficile de connaître les besoins en éléments minéraux d'une culture, et encore moins d'une association de cultures. En règle générale ils sont proportionnels à la production totale de matière sèche, mais pas toujours au rendement qui dépend du rapport organes récoltés sur plante entière.

Figure 162 : composition élémentaire des végétaux.

Eléments majeurs en pourcentage de matière sèche des végétaux entiers (%)		Micro-éléments reconnus comme nécessaires par million de matière sèche des feuilles (‰)		Autres éléments décelés en très faible quantité
Carbone	40 à 50 %	Fer	40 à 1300	Nickel, Cobalt, Lithium, Rubidium, Cesium, Aluminium, Titane, Chrome, Fluor, Brome, Iode, Arsenic, Sélénium, Vanadium, etc.
Hydrogène	6 à 7 %	Manganèse	25 à 63	
Oxygène	42 à 44 %	Bore	2 à 80	
Azote	1 à 3 %	Cuivre	18 à 36	
Phosphore	0,05 à 1 %	Zinc	12 à 83	
Soufre	0,1 à 0,5 %	Molybdène	2,4 à 4,3	
Potassium	0,3 à 3 % (jusqu'à 8 %)			
Sodium	0,001 à 3,5 %			
Calcium	0,5 à 3,5 %			
Magnésium	0,03 à 0,8 %			
Chlore	0,2 %			
Silicium	0,005 à 1,35 %			

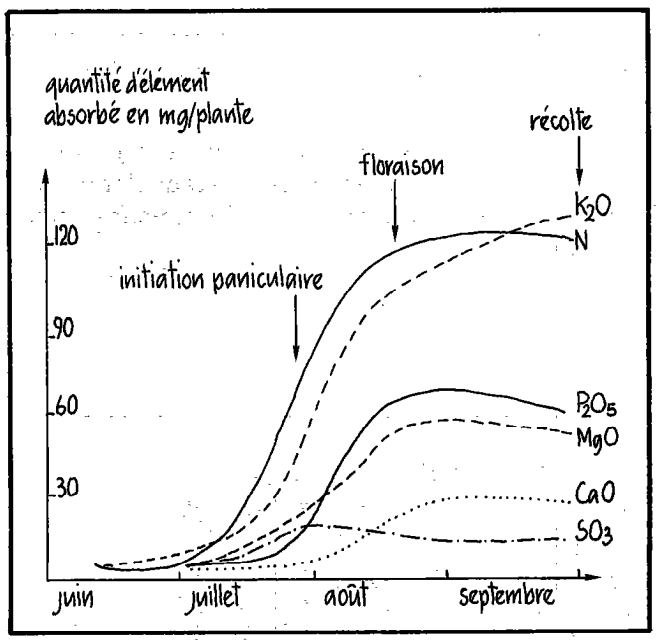
Durant la végétation, la teneur d'un élément dans la plante peut modifier son fonctionnement et avoir un effet sur le rendement. A la récolte, la teneur joue surtout sur la qualité du produit pour l'alimentation humaine ou animale et sur sa conservation.
Les oligos-éléments sont présents à très faibles doses dans les plantes mais sont indispensables à leur bon fonctionnement. Chacun a un rôle spécifique et ne peut être remplacé par un autre. Ce sont des catalyseurs des réactions biochimiques de la plante.

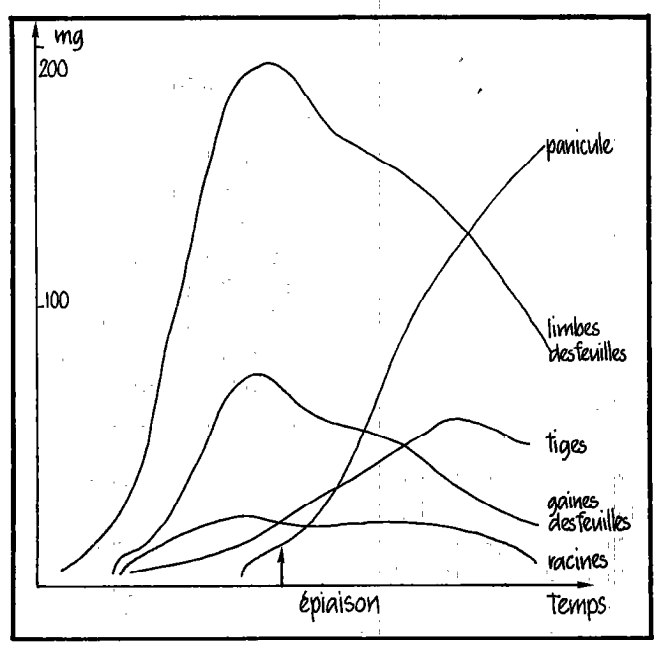
DES BESOINS QUI VARIENT DANS LE TEMPS

La plante absorbe des éléments minéraux tout au long de sa vie. Mais les rythmes d'absorption varient au cours du temps avec le stade de développement. Ainsi, à certaines périodes de son cycle, une plante aura des «besoins instantanés» plus élevés qu'à d'autres.
Les courbes suivantes montrent l'évolution des quantités totales de différents éléments absorbés par un pied de riz au cours de son cycle.

Figure 163 : courbes d'absorption des éléments nutritifs du riz au cours de son cycle, au Nord du Japon.

Figure 164 : évolution de la quantité d'azote dans chaque organe (par plante).





Ces courbes ont toujours l'allure de courbes en S. Dans la cas du riz, l'absorption minérale par la plante est maximale durant le tallage et le début montaison. Ainsi 80 % à 90 % de l'azote et du phosphore sont absorbés avant l'épiaison.
Durant la phase de remplissage de grains, il s'opère des transferts d'éléments des feuilles et des tiges vers les panicules.

On peut remarquer qu'à partir de l'épiaison du riz, la quantité d'azote dans les tiges et les feuilles diminue alors qu'elle augmente très rapidement dans la graine (transfert).

UNE FERTILISATION ADAPTÉE

Le sol doit pouvoir fournir aux plantes les éléments minéraux en fonction de leurs besoins.
Le manque d'un élément dans le sol aura un effet d'autant plus néfaste sur le rendement qu'il se situe à un moment où la plante en a besoin en grande quantité. En conséquence, les apports d'engrais solubles, et donc facilement lessivables (en particulier l'azote et la potasse), doivent être fractionnés dans le temps et avoir lieu aux phases de forts prélèvements par les plantes.

PRELEVEMENTS PAR LES CULTURES ET EXPORTATION DES RECOLTES

Les prélèvements en éléments minéraux par les cultures sont toujours supérieurs aux exportations par les récoltes. En effet, on ne récolte jamais des plantes entières. Pour les céréales par exemple, les pailles peuvent être exportées (pour la nourriture des animaux par exemple) mais il restera toujours les chaumes et les racines sur la parcelle.
Pour certaines espèces comme le manioc, la chute des feuilles tout au long du cycle permet une restitution régulière d'éléments minéraux au sol.
Les racines peuvent aussi *exsuder* une certaine quantité d'éléments. Les exportations de la plante entière ne représentent qu'une partie des éléments minéraux totaux absorbés.

Il est donc nécessaire de bien faire la différence entre **les prélèvements, qui représentent la quantité totale d'éléments minéraux absorbés par la culture durant tout son cycle, et les exportations qui correspondent aux éléments contenus dans la matière végétale récoltée.**

• **A la récolte du sorgho**, les racines contiennent 11 % de l'azote mobilisé par la plante, 33 % du phosphore et 5 % du potassium.

• **Pour le mil**, l'accumulation maximale d'éléments minéraux se situe à la floraison. Des mesures ont permis d'observer que les pertes entre le stade floraison et la récolte (par sénescence foliaire et exsudation racinaire) représentaient en pourcentage du maximum d'accumulation :
. 15,8 % de la matière sèche,
. 36,7 % de l'azote,
. 15,8 % du phosphore,
. 30,8 % du potassium.



Récolte du riz irrigué dans la plaine du Nord. Les grains et la paille sont exportés de la parcelle (photo D. Mermet).

Chez les céréales, en général, les prélèvements en potassium sont très rapides en début de végétation mais les restitutions avant récolte sont importantes. Chez les plantes à tubercules en revanche, les besoins en potassium sont élevés jusqu'à la fin du cycle (les tubercules sont riches en potassium contrairement aux grains).
Nous verrons plus loin, que pour la réalisation de bilans minéraux, on tient compte uniquement des exportations, les parties non récoltées des végétaux étant restituées au sol, sous forme organique puis minérale.

EVALUATION DES EXPORTATIONS

On trouve dans de nombreux ouvrages ou articles scientifiques des tableaux de valeurs d'exportations minérales pour différentes cultures. Ces valeurs, souvent très variables, doivent être utilisées avec prudence.
Les exportations varient avec les rendements et pour cela sont présentées généralement en *kilos d'éléments minéraux par tonne de produit récolté* (voir figure 166).

Mais cette relation (rendement/exportation) est dans la pratique rarement linéaire. On observe souvent de grandes différences de teneurs en éléments minéraux dans les parties exportées à la récolte pour une même variété. Elles sont dues aux conditions climatiques de l'année et à la richesse du milieu.
La fertilisation, par exemple, modifie les teneurs en éléments des plantes, surtout dans le cas d'une fumure potassique.

Figure 165 : effet de la fumure potassique sur le rendement et sur la teneur en K des pailles de mil (Pieri, 1982).

Fertilisation	O	NP	NPK30	NPK60	NPK90
Rendement grain (kg/ha)	1 064	2 031	2 444	2 524	2 486
Rapport grain/paille	0,33	0,44	0,37	0,34	0,31
K en % dans la paille	1,75	1,00	1,52	2,13	2,45

Figure 166 : ordres de grandeur des quantités d'éléments minéraux exportés par les cultures en kg/t de produits récoltés.

			N	P_2O_5	K_2O	MgO	CaO	S
CEREALES	**Riz** :	grain	10-15	3-6	3-4	-	-	-
		grain + paille	20-30	6-10	40-50	-	-	-
	Maïs :	grain	15-20	4-7	4-6	1-2	0,5-1	0,5-1
		grain + paille	20-30	5-10	20-30	5-8	6-11	1-2
	Sorgho :	grain	13-17	5-8	4-5	2	0,6-0,6	1,5
		grain + paille	20-35	8-14	25-45	8-15	8-12	3-4
	Mil :	grain	18-20	5-7	5-6	48-2	0,3-0,5	1-2
		grain + paille	35-50	10-15	60-90	14-17	12-14	3-10
(1) TUBERCULES	**Manioc** :	tubercules	0,7-3,5	0,8-1,2	2,5-6	0,2-0,8	0,5-0,9	-
		total	2,5-6	1,3-4	7-11	1-2,5	1,2-4,2	-
	Patate douce : tubercules		2,6	1,5	4,2	0,7	0,8	-
	Taro : tubercules		4	2	8	0,3	1	-
	Igname : tubercules		3,5	1	5,5	0,5	0,1	-
	Pomme de terre : tubercules		4,6	1,6	8	-	-	-
LEGUMINEUSES	**Arachide** :	grain	35-40	4-7	7-9	1,5-2,5	0,5-1,5	2
		total	45-65	5-10	15-40	8-15	10-20	3-5
	Soja :	grain	60-70	12-14	22-28	4-5	4-9	2,8
		total	70-80	15-16	35-40	10-20	25-35	4
	Haricots :	grain	35-40	4-6	2-4	-	-	-
Canne à sucre :								
		cannes	0,7	1	1,8	0,3	0,2	0,3
		total	2,1	2	4,1	1	1,3	0,5
Banane (fruits)			1-2	0,2-0,5	2,5-6	-	-	-
Coton :		graines	17-22	8-9	6-10	3-3,5	1-2,5	1-4
		total	25-40	12-20	30-50	5-10	10-20	3,5-6
Tomate (fruits)			3	0,8	4,5	-	-	-
Café cerises (sèches)			15	2,5	25	-	-	-

(1) Les légumineuses prélèvent en partie leur azote dans l'atmosphère.

Lorsque l'on augmente la fertilisation potassique (de 0 à 90 kg de K par ha), à partir d'un certain seuil (ici 30 kg), le rendement en grain n'augmente plus, mais le rapport grain/paille diminue et la teneur en K dans la paille augmente : on parle souvent pour cet élément de «consommation de luxe». Cela existe aussi, mais dans une moindre mesure, pour les autres éléments.

La variabilité des valeurs d'exportation est essentiellement due :
- à la variété (qui détermine en partie les facteurs suivants),
- au rendement,
- au rapport grain/paille,
- à la teneur en éléments principaux des pailles.

Pour une même variété, les teneurs en éléments minéraux des grains sont très stables. Ainsi, lorsque les pailles ne sont pas récoltées mais restent sur la parcelle, le calcul des exportations est assez précis.
Pour certaines plantes comme le cotonnier, il n'existe aucune corrélation entre le rendement en graine et les exportations minérales par la plante entière.

L'évaluation des exportations minérales par les cultures en conditions tropicales est donc très délicate. D'autant plus que l'on ne possède généralement aucune référence sur les variétés cultivées traditionnellement.
Le problème se complique encore lorsque l'on a à faire à des associations de culture, cas le plus fréquent en Haïti comme dans de nombreux autres pays.

DES BESOINS DIFFÉRENTS SELON LES ESPÈCES

Les céréales exigent de grandes quantités d'azote, mais aussi de potassium et de phosphore. Les tubercules, le bananier et les stimulants comme le café et le cacao ont particulièrement besoin de potasse.
La plante a la faculté de choisir les éléments qu'elle absorbe selon ses besoins mais la quantité de chaque ion absorbé dépend aussi de sa disponibilité dans le milieu.

Certaines plantes ont la capacité d'absorber certains éléments lorsqu'ils sont très peu disponibles dans le sol. C'est le cas du manioc qui, grâce aux mycorhizes, est capable d'absorber le phosphore dans des sols très pauvres en cet élément (mycorhizes = micro-organismes du sol, champignons vivant en symbiose avec les racines).

Lorsque les conditions le permettent, les légumineuses ont la capacité de satisfaire une plus ou moins grande part de leurs besoins en azote en fixant l'azote de l'air. En revanche, l'application d'engrais azotés en trop grande quantité aura pour effet de réduire cette fixation symbiotique.

CULTURES ASSOCIÉES : UNE ÉVALUATION DÉLICATE

Dans les associations de cultures, les différentes plantes ont des besoins nutritifs différents et la période maximale de besoin pour une espèce ne coïncide pas nécessairement avec celles des autres cultures.
Dans de nombreux cas, l'association permet ainsi une meilleure valorisation de la richesse du milieu, surtout si l'on associe des espèces à cycle court (maïs, haricot...) avec des espèces à cycle long (manioc, pois congo...).

Des chercheurs ont montré que l'étalement dans le temps des besoins de certaines plantes était différent en cultures pures ou associées. Ainsi le pois congo associé au maïs retarde sa croissance donc ses prélèvements d'éléments minéraux, mais il y a un rattrapage après la récolte du maïs et les rendements sont identiques à ceux d'une culture pure.

En conséquence, il est très délicat de raisonner la fertilisation minérale des cultures associées d'autant plus que nous ne disposons pas de références suffisantes sur ce sujet.
Des mesures régulières de rendements peuvent permettre d'évaluer globalement les exportations de chaque espèce et donc l'appauvrissement du sol. Mais l'utilisation d'engrais provoque souvent des déséquilibres favorisant plus une culture qu'une autre, diminuant ainsi l'intérêt de l'association et l'efficacité globale des engrais. A titre d'exemple, l'apport d'azote, nécessaire au maïs dans une association maïs patate douce peut nuire à la production de tubercule.



Dans les associations de cultures, les différentes composantes ont des besoins différents, à des périodes différentes (photo D. Mermet).

CARENCES ET TOXICITÉS

LES CARENCES

Lorsqu'un élément indispensable à la nutrition des plantes se trouve en quantité insuffisante dans le sol ou ne peut pas être prélevé par les racines, on observe des troubles physiologiques qui s'extériorisent par des *symptômes* :

- ralentissement de la croissance,
- déformations de certains organes,
- couleurs anormales du feuillage,
- nécroses de certains tissus (feuilles, tiges..).

Selon la nature de l'élément, les symptômes de carence diffèrent (rôles différents dans la plante). Cela permet en observant la végétation de détecter l'élément manquant. Mais si dans certains cas, les symptômes sont bien connus et faciles à observer, dans d'autres cas, il sera nécessaire de réaliser des analyses de plantes et de sol car des carences d'éléments différents provoquent parfois des symptômes très semblables.

Selon le stade de développement de la plante, les carences peuvent se manifester de manières différentes. Elles se manifestent surtout lorsque la plante a un grand besoin d'éléments nutritifs (montaison - fructification).
Le tableau ci-dessus décrit les symptômes observables pour les principales carences rencontrées en Haïti.

On distingue deux types de carence : la carence vraie (ou absolue) et la carence induite (ou conditionnée).

- *La carence vraie* est due à la présence insuffisante d'un élément dans le sol. On y remédie par l'apport à la plante de cet élément sous forme assimilable.
- *La carence induite* est plus fréquente. L'élément responsable est souvent présent en quantité suffisante dans le sol, mais ne peut pas être prélevé par la plante. Il est nécessaire dans ce cas de rechercher la cause de cette non assimilation.

Une carence induite peut être due :

- à un pH du sol défavorable au prélèvement de certains éléments par la plante,
- à un déséquilibre minéral ; la présence d'un élément en grande quantité dans le sol peut gêner l'assimilation d'un autre élément: il y a *antagonisme* entre ces deux éléments. Les principaux antagonismes entre éléments sont présentés dans la figure 171.

Eléments	Symptômes de carence	Causes déterminantes des carences	Eléments pour y remédier	Exemple de cas observés en Haïti
Mg **Magnésium**	• Décoloration des feuilles âgées. • Chlorose de la partie médiane des feuilles, suivie de nécroses interveinaires (apparition de rayures jaunes dans le sens des feuilles). • Retard de croissance. • Racines et fruits très petits.	• L'excès de calcium freine l'assimilation du Mg. • Un rapport K/Mg trop élevé peut faire apparaître des signes de carence, surtout en sol acide et humide. • En sol acide un excès de NH_4^+ limite l'assimilation de Mg. Par contre l'azote nitrique NO_3^- limite la carence.	• Apports d'amendements magnésiens ou calci-magnésiens. • Apports de fumier.	**Haricots sur le sol ferrallitique à Salagnac.** Les feuilles inférieures des plants de haricots étaient nécrosées et de couleur jaunâtre. Ces symptômes avaient été confondus avec ceux de maladies cryptogamiques.
Fe **Fer**	Chlorose : le limbe des feuilles prend une coloration vert pâle (jaune). Seules les nervures restent vertes. • Cela débute toujours par les feuilles les plus jeunes.	• Sols riches en calcaire actif. • pH élevé provoquant l'insolubilisation du fer. • Excès d'engrais phosphorés. • Excès de cuivre, de zinc ou de manganèse.	• Pulvérisation des feuilles avec du sulfate ferreux.	**Plaine des Gonaïves** • De graves chloroses ferriques ont été observées sur plusieurs espèces. Des pulvérisations des feuilles avec du sulfate ferreux à 1 % ont provoqué un spectaculaire reverdissement des feuilles.
Zn **Zinc**	• Réduction importante de la croissance. Raccourcissement des entre-nœuds, feuilles petites et déformées. • Coloration grisâtre des pailles de céréales. • Sur maïs, apparition de 2 bandes blanches sur la moitié inférieure des feuilles les plus âgées de part et d'autre de la nervure centrale.	• L'augmentation du pH diminue la mobilité du Zn. • Se rencontre surtout en sols calcaires riches en matières organiques. • Apports excessifs d'engrais phosphatés. • Sols humides ou inondés. • Mauvaise exploration par les racines.	• Apports de Zn localisés ou mélangés aux matières fertilisantes. • Pulvérisation avec des solutions de Zn sur le feuillage.	**Riz - Vallée de l'Artibonite** La carence en zinc a été diagnostiquée à la suite : • des analyses sur de nombreux échantillons de sols de rizières, • d'observations de ralentissement de la croissance des plantules de riz sur certaines parcelles. Le trempage des racines des jeunes plants au repiquage dans une suspension d'oxyde de zinc a donné de bons résultats.

Figure 168 : autres carences possibles, causes et symptômes

Eléments	Symptômes de carence	Causes déterminantes des carences
Mn **Manganèse**	Chlorose marginale et internervaires diffuses. Mauvaises maturation et conservation des fruits.	• La carence est d'autant plus forte que le sol est très aéré, pauvre en matières organiques et que le pH est élevé. • Se rencontre surtout en sol riche en calcaire actif. • Un excès de cuivre ou de zinc aggrave les risques de carence en Mn.
Cu **Cuivre**	• Céréales : décoloration à l'extrémité des plus jeunes feuilles. Sur maïs, raccourcissement des entre-nœuds, nanisme. • Sur légumineuses, développement ralenti, gousses vides.	• Sols sur roche pauvre en cuivre (Basaltes). • Sols calcaires. • Le cuivre peut être bloqué dans les matières organiques anciennes, mais un apport de matières organiques fraîches favorise sa disponibilité. • Un excès d'azote ou de potasse. • Une élévation brutale de pH.
B **Bore**	• Ralentissement de la croissance. • Légumineuses : jaunissement des feuilles terminales. • Arbres fruitiers : feuilles boursouflées.	Elément très facilement lessivable. On observe des carences : • dans les sols lessivés et pauvres en M.O., • dans les sols basiques, • lorsque le développement racinaire est faible, en période sèche. La matière organique joue un rôle important dans sa disponibilité.
Mo **Molybdène**		• Son assimilabilité augmente avec le pH. • Il est surtout associé à la matière organique. • Carence possible en sol acide.

Figure 169 : exemples de toxicité observées en Haïti

Eléments	Signes de toxicité	Causes	Eléments pour y remédier	Exemple de cas observés en Haïti
N Azote	• Retard de maturité • Etiolement • Sensibilité à la verse et aux maladies par ramollissement des tissus.	Essentiellement emplois de trop grandes quantités d'engrais azotés.	• Réduction des apports	**Riz irrigué - Plaine de Torbeck aux Cayes.** Sur certaines parcelles, il a été observé des cas de verse avec rallongement du cycle. Les agriculteurs apportaient trop d'engrais azotés. Une réduction de ces apports a permis de limiter ces problèmes, d'obtenir des rendements plus réguliers avec une meilleure rentabilité économique.
Al Aluminium	• Réduction à la croissance, aspect chlorotique des plantes • Signes de carence en P (blocage du phosphore).	• Sol très acide. Le pH très bas (>4,5) rend l'aluminium échangeable.	• Amendements calcaires et organiques.	Carences en phosphore à Cap-Rouge.
Na Sodium	• Arrêt du fonctionnement physiologique de la plante. • Arrêt de croissance et flétrissement. (apparition de cristaux à la surface du sol).	• Sur les parcelles proches de la mer. • Utilisation d'eau d'irrigation trop riche en sels. • Remontée du sel du sous-sol par capillarité. • Drainage insuffisant.	• Ne pas utiliser d'engrais riche en Na ou Cl. • Bonne maîtrise de l'eau irrigation et drainage pour accentuer le lessivage.	**Cultures irriguées, plaines des Gonaïves** • L'eau utilisée pour l'irrigation était trop riche en sels qui s'accumulaient dans le sol. • Parcelles du bord de mer dans la vallée de l'Artibonite. (Meilleure maîtrise du drainage et de l'irrigation : entretien des aménagements, solution difficile à mettre en œuvre posant des problèmes socio-économiques).

Souvent les phénomènes de toxicité d'un élément s'expriment par une carence en un autre élément (antagonisme).

UNE FERTILISATION ADAPTÉE AUX BESOINS

Les pratiques de fertilisation ont pour objectif de satisfaire les besoins des cultures à chaque moment.

Il s'agit en premier lieu de fixer un niveau de rendement à atteindre. Ce niveau dépend des autres facteurs et conditions du milieu et notamment du climat, mais aussi des objectifs économiques de l'agriculteur.

Pour raisonner la fertilisation minérale, il faut aussi connaître la capacité du sol à fournir aux cultures les éléments minéraux dont elles ont besoin, de manière à pouvoir apporter, sous une forme ou une autre et au bon moment, les éléments disponibles en quantités insuffisantes dans le sol (se reporter à la partie sur la fertilisation minérale).

Mais les relations qui existent entre l'offre du sol et la demande des cultures sont extrêmement complexes, les organismes demandeurs étant susceptibles, chacun à leur manière, de modifier les disponibilités apparentes du sol.

INFORMATIONS À RECUEILLIR AU PRÉALABLE

Quelqu'en soit l'objectif, avant la réalisation d'un profil cultural, il est nécessaire de collecter toutes les informations qui pourront aider à interpréter les observations.

Le climat

Les dates et l'importance des dernières pluies pour pouvoir interpréter l'humidité des différents horizons.

L'histoire de la parcelle

Les cultures précédentes et les techniques qui leur ont été appliquées :
- la parcelle a-t-elle été pâturée par des animaux ?
- les résidus de culture ont-ils été brûlés, enfouis ou mis en tas (à quel endroit) ?
- des buttes ou des billons ont-ils été constitués ?
- la parcelle était peut-être antérieurement divisée en plusieurs parties portant des cultures différentes ?

Les techniques culturales

Les dates et conditions de réalisation des différents travaux doivent être connues : préparation des terres, fertilisation, semis et plantations des différentes espèces, sarclages.
Les travaux réalisés manuellement s'étalent parfois sur de longues périodes et cela induit des hétérogénéités de milieu. Une différence de 15 jours pour le travail du sol entre deux endroits de la parcelle est courante. Si des pluies importantes ont eu lieu entre-temps, cela entraîne des différences de structures et d'humidité peut-être observables et pouvant avoir des répercussions sur le rendement.

Parfois les techniques utilisées varient d'un endroit à l'autre :
- l'agriculteur a manqué de temps pour terminer le travail du sol et une partie de la parcelle n'a été que superficiellement sarclée,
- plusieurs variétés ont pu être utilisées,
- de l'engrais a pu être épandu seulement sur une partie de la parcelle.

L'état de la culture

- stades des différentes espèces,
- densité et hétérogénéité du peuplement,
- état de croissance, niveaux des composantes déjà élaborées,
- symptômes de carences ou de maladies,
- présence de parasites,
- état général de la végétation par rapport aux parcelles voisines,
- développement des adventices.

CHOIX DE L'EMPLACEMENT DU PROFIL

Le choix de l'emplacement dépend essentiellement des informations que l'on veut recueillir, des questions auxquelles on désire répondre.
Si on cherche à connaître l'état moyen du sol de la parcelle pour le comparer à d'autres (comparaison de techniques culturales différentes), on choisira l'emplacement le plus représentatif de l'ensemble de la parcelle, dans la zone la plus homogène. On évitera les bordures, la proximité d'un arbre, les anciens emplacements de feux... Parfois l'hétérogénéité est telle qu'il est difficile de choisir un emplacement. Dans ce cas on réalisera deux profils (ou trois) dans des zones différentes.
Si on recherche par exemple les causes d'une mauvaise végétation en un endroit donné, il sera nécessaire de réaliser au moins deux profils : l'un dans la zone étudiée et l'autre dans une zone ou la végétation est normale. La comparaison de plusieurs profils facilite l'interprétation de chacun d'entre eux.
Dans tous les cas, des discussions avec le paysan sont indispensables lors du choix de l'emplacement d'un profil cultural. Une fois l'emplacement déterminé, une observation précise de l'état de surface et de la végétation à cet endroit est réalisée.

REALISATION DU PROFIL

L'examen d'un profil se pratique en sol bien ressuyé, sauf lorsqu'il s'agit d'examiner le comportement du sol en période humide.
Toutes les observations sont notées au fur et à mesure sur une fiche et un dessin du profil est réalisé.
La fosse est réalisée à la bêche, elle doit être assez large pour pouvoir y descendre. La face à observer est longue de 1 à 2 mètres, orientée au soleil et si possible

perpendiculaire au sens du travail du sol (s'il est fait à la charrue) ou/et aux lignes de semis (s'il y a semis en lignes). La terre est rejetée en arrière de la fosse et on évitera de tasser le sol au-dessus de la face observée. Si la parcelle porte une association de cultures, on s'arrangera pour pouvoir observer l'enracinement des différentes espèces présentes.

Lors du creusement de la fosse, un certain nombre d'observations sont faites. Elles seront notées et permettront d'être plus attentif à certains critères par la suite, par exemple : selon la profondeur, le sol est plus ou moins difficile à creuser; la pierrosité augmente en profondeur; de l'eau apparaît au fond du profil...

L'OBSERVATION DU PROFIL

Délimiter les horizons à l'aide d'un couteau

L'observation commence toujours par la mise en évidence des différents horizons. Ils se distinguent par des différences de couleur, d'humidité, de tonalité à l'auscultation. Lorsque l'on frappe le sol avec l'extrémité d'un manche de couteau, le son émis change d'une couche à l'autre : une couche sèche ou compacte émet un son clair et une couche humide ou meuble émet un son mat. On cherchera ensuite à quoi correspondent les limites des différentes couches mises ainsi en évidence. Les changements de structure peuvent correspondre aux profondeurs atteintes par les outils de travail du sol. Les traces de houe, les semelles de labour créées par le passage d'une charrue sont à identifier. Une bonne connaissance des techniques utilisées par l'agriculteur est nécessaire.

Les profondeurs délimitant les horizons ainsi différenciés sont reportées sur un dessin. Les limites entre les horizons ne sont pas systématiquement horizontales et rectilignes. D'un endroit à l'autre du profil, l'épaisseur des horizons peut varier et cela doit être noté.
Il existe aussi une plus ou moins nette variabilité horizontale que l'on cherche à mettre en évidence. Ainsi dans la couche travaillée, on délimite pour chaque horizon des zones d'états homogènes que l'on essaye d'expliquer (zone particulièrement tassée par exemple).

Par la suite toutes les observations seront réalisées une à une pour chacun des horizons ou zones particulières déterminés.
Ces délimitations seront affinées lors des observations suivantes, notamment lors de l'étude de l'état structural.

L'état structural

On observe tout d'abord l'état de surface : existence d'une croûte de battance, épaisseur ; fentes de retrait, profondeur et distances.
A l'aide d'un couteau, on effrite l'ensemble du profil en s'efforçant de provoquer la rupture des mottes selon leur fissuration naturelle. C'est en réalisant ce travail que l'on fait le plus d'observations, elles sont toutes notées au fur et à mesure sur une fiche préparée à l'avance et sur le dessin du profil.

• *Texture* : la texture de chaque horizon est évaluée selon la méthode décrite dans le chapitre 3.

• *Structure* : la structure de chaque horizon est décrite (voir chapitre 3). Elle est appréciée en rompant délicatement des mottes de tailles différentes. Les observations suivantes sont réalisées :
- aspect général de la structure (compacte/motteuse),
- proportion de terre fine/mottes,
- tailles moyenne et extrêmes des mottes,
- forme des mottes (anguleuse, arrondie..),
- consistance et résistance des mottes à la rupture, présence de fissures à l'intérieur.

L'ensemble de ces observations donne une idée de la porosité, donc de la circulation de l'eau, de l'air et des racines dans chaque niveau. Elle affine le diagnostic de la texture fait préalablement. Attention, il faut tenir compte de l'humidité qui joue sur l'aspect (cohésion/adhésivité).

Lorsque l'objectif du profil est d'étudier l'effet d'un outil sur le sol, ce travail doit être réalisé avec une très grande précision. On utilise alors des fiches spécialement préparées avec un système de notation (taille des mottes...) permettant plus

Lorsque l'on désire comparer l'enracinement entre plusieurs parcelles, un comptage des racines doit être réalisé à l'aide d'un quadrillage du profil et d'un système de notation adapté, (par exemple une note de 1 à 5 est affectée à chaque carré de 10 cm x 10 cm, en fonction du nombre de racines apparentes).

La faune du sol

La faune du sol est variée : petits mammifères, insectes et larves d'insectes, vers de terre, champignons et micro-organismes.
Elle a des actions favorables sur le sol :
• augmentation de la porosité (galerie...) et donc de la circulation de l'air et de l'eau, de la pénétration des racines et de l'évolution de la matière organique,
• mélange de matière organique à la terre et création d'une micro-structure (augmentation de la porosité),
• augmentation de la stabilité structurale.

Elle peut aussi être parfois néfaste : attaques de racines par des rongeurs, larves et parasites.
Il est important de noter l'abondance de cette faune par son observation directe ou celle des traces de sa présence. Une faune abondante et équilibrée est globalement favorable à la fertilité du sol.

INTERPRETATION DU PROFIL

Nous avons déjà insisté sur l'importance de toutes les informations concernant la parcelle et la manière dont elle est cultivée. L'interprétation d'un profil est une synthèse des observations faites et de toutes ces informations. C'est un travail délicat qui demande une grande expérience et une bonne connaissance de la zone (acquisition de références).

Le seul moyen d'apprendre à observer des profils culturaux et surtout à les interpréter est d'en réaliser le plus souvent possible. Les occasions ne manquent pas lors de parcours de terrain ou de visites de parcelles paysannes. C'est un outil à privilégier et à utiliser beaucoup plus souvent qu'il ne l'est actuellement.

L'ANALYSE DE TERRE

A QUOI SERT L'ANALYSE DE TERRE ?

L'analyse de terre est un outil complémentaire aux observations de terrain et aux expérimentations agronomiques. Mais seule, elle est difficilement utilisable.
Elle est souvent utilisée pour rechercher les causes d'un rendement anormal, non expliqué par les conditions climatiques ni par les propriétés physiques du sol. Il peut s'agir soit d'un rendement très faible, soit d'une chute de rendement brutale, soit d'une non efficacité des fertilisants utilisés.

On pratique des analyses de terre à grande échelle, par exemple au niveau d'une région pour dresser une carte des potentialités agronomiques des terrains, établir un référentiel.
Dans certaines régions d'Haïti, lors de la réalisation d'études pédologiques, de nombreuses analyses de terres ont été pratiquées (plaine des Gonaïves, plaine du Nord, plaine de Larbre...).
Ces études ont été effectuées principalement en plaine car leur objectif était surtout d'apprécier les possibilités d'irrigation de ces sols. Ces analyses sont précieuses car elles constituent les seules références dont on dispose pour l'interprétation de nouvelles analyses. En revanche, pratiquement aucune étude n'a été réalisée sur les sols des mornes (sauf sur un transect de la péninsule sud).

Le but des analyses de terre peut être aussi de définir les techniques de fertilisation à utiliser mais elles ne suffisent pas. Il est nécessaire de les compléter par des expérimentations et des calculs de bilans humiques et minéraux (voir plus loin).
Elle peuvent servir à la recherche pour évaluer l'effet d'un système de culture sur les propriétés chimiques et physiques du sol. En France, des essais de fertilisation de longue durée (20 ans) accompagnés d'analyses régulières de terre ont permis entre autres choses de mettre en évidence les effets néfastes de certains engrais minéraux sur la fertilité des sols à long terme.

QU'APPORTE L'ANALYSE DE TERRE ?

Sur les propriétés physiques et biologiques

Les propriétés et le comportement physiques d'un sol sont essentiellement appréciés par les observations sur le terrain. Cependant l'analyse apporte certains éléments complémentaires qui peuvent expliquer les comportements observés (battance, comportement hydrique...). Les critères fournis par l'analyse permettant d'apprécier les propriétés physiques d'un sol sont : la granulométrie, la teneur en matière organique, le pH et la teneur en calcaire.

L'évaluation de la capacité de rétention du sol en eau nécessite la connaissance de certaines valeurs fournies par l'analyse : degrés d'humidité aux pF 4,2 et pF 3. Elles sont indispensables au calcul de la réserve utile et doivent être mesurées pour chaque couche du sol (voir chapitre 9).

La nature des matières organiques (C/N) et le pH donnent quelques indications sur les propriétés biologiques. Lors d'études préalables à la mise en place de systèmes d'irrigation, des mesures complémentaires sont faites, telles que le coefficient de perméabilité.

Sur les propriétés chimiques

L'analyse tente d'apprécier la capacité d'un sol à fournir aux plantes les éléments minéraux dont elles ont besoin. Pour chaque élément, différentes méthodes sont utilisées en laboratoire pour tenter d'extraire du sol la fraction réellement disponible pour les végétaux. Aucune de ces méthodes n'y parvient vraiment et chacune d'entre elles convient plus ou moins bien selon le type de sol analysé. Cela rend particulièrement difficile l'interprétation des résultats, cependant l'analyse permet assez facilement de détecter les cas d'extrême pauvreté en un élément.

L'interprétation des teneurs en éléments minéraux fournis par l'analyse nécessite des «grilles d'interprétation» ou «abaques». Ces abaques sont conçues pour une région donnée et pour un type de sol à partir de la synthèse des résultats d'un grand nombre d'analyses, des observations sur les conditions de production et des résultats d'expérimentations.
La disponibilité d'un élément ne dépend pas uniquement de sa quantité dans le sol mais aussi de l'enracinement de la culture et du degré d'humidité qui conditionne sa mobilité.

Interpréter une analyse chimique d'un sol en Haïti est une opération délicate étant donné le peu de références. D'autant plus que les analyses existantes ont été réalisées dans plusieurs laboratoires utilisant des méthodes d'extraction différentes, ce qui rend parfois impossible les comparaisons de résultats.

L'analyse comparative de divers échantillons prélevés dans une même parcelle ou sur des parcelles proches (même sol) est riche d'enseignements. Lorsque des prélèvements sont réalisés dans des zones où la végétation est différente, les analyses pourront parfois révéler le ou les facteurs limitant la production dans certaines de ces zones, les autres conditions de production étant identiques, notamment le climat et l'enracinement.

Notons que la disponibilité en azote n'est pas appréciée par l'analyse. Cet élément est stocké dans les matières organiques et sera plus ou moins disponible selon la quantité minéralisée à chaque saison de culture. Le rapport C/N donne une indication sur la capacité de la matière organique à minéraliser.

L'analyse des oligo-éléments sert essentiellement à mettre en évidence certains risques de carence par manque d'un élément ou par excès entraînant des antagonismes. Il est souvent nécessaire de compléter le diagnostic d'une carence probable par des analyses foliaires.

LE PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS

L'analyse de terre ne pourra fournir des renseignements valables que si l'échantillon est correctement réalisé et accompagné des renseignements nécessaires à son interprétation.

Quand prélever ?

On peut effectuer des prélèvements toute l'année. Mais il faut attendre deux mois après l'épandage d'engrais minéraux et quatre mois après un apport important de matières organiques (compost, fumier). En général, la meilleure période de

Les matières organiques

La teneur en matières organiques est obtenue par le dosage du carbone (C). On y applique la formule suivante :

$$M.O.\% = C\% \times 1,72$$

Il faut tenir compte de leur quantité, mais aussi de leur qualité qui est fonction des conditions dans lesquelles elles ont évolué (pH, aération, humidité).
Les teneurs rencontrées dans les sols haïtiens varient de 2% à plus de 10%. Etant donné les multiples rôles que les matières organiques jouent dans le sol, on cherchera toujours à maintenir un stock élevé dans le sol, d'autant plus qu'en Haïti les conditions sont souvent favorables à une minéralisation rapide et que les engrais minéraux sont peu utilisés.

Leur qualité est appréciée par le rapport C/N qui indique leur degré d'évolution. Un rapport C/N inférieur ou égal à 10 indique une bonne évolution des matières organiques. Un rapport C/N supérieur à 10 exprime une accumulation dans le sol de matières organiques peu évoluées. Le stock organique fournit alors peu d'éléments minéraux, en particulier de l'azote. Il faut y remédier en recherchant les causes de cette mauvaise évolution et en privilégiant les apports de matières organiques riches en azote (fumier).

Les conclusions sont à moduler en fonction des derniers apports de matières organiques et de leur nature.

Le pH eau et le pH Kcl

Le pH eau exprime l'acidité ou l'alcalinité du sol. Il a une incidence sur l'activité biologique, l'assimilabilité des éléments et la qualité des matières organiques. Il peut varier d'une saison à l'autre, mais peu.
Le pH KCl est obtenu à partir d'une suspension de sol dans une solution de chlorure de potassium. Il est toujours inférieur au pH eau et plus stable. La différence entre ces deux valeurs de pH indique le pouvoir tampon du sol. Plus cette différence est élevée, plus l'acidité du sol sera difficile à corriger.

La CEC

La capacité d'échange cationique (voir chapitre 3) n'est pas mesurée systématiquement par tous les laboratoires, il faut en faire la demande.

Sa détermination est nécessaire pour les sols haïtiens dont la nature des argiles n'est pas systématiquement connue.
Des valeurs pour les principaux types de sol haïtiens sont indiquées dans le chapitre 3. Elle augmente avec le taux de matières-organiques.
La CEC varie avec le pH, elle devrait donc être mesurée au pH du sol. Mais en général, elle est mesurée à pH 7 et donc sur-évaluée pour les sols acides. Elle s'exprime en milliéquivalents pour 100g de sol (meq/100g).

Les bases échangeables

Ce sont les cations soumis à des phénomènes d'échanges entre le complexe adsorbant et la solution du sol, (Ca - Mg - K - Na).
Selon les analyses, elles sont exprimées soit sous forme pure (ion) soit sous forme d'oxyde, utilisée sur les étiquettes d'engrais (K_2O : oxyde de potassium).

Leur teneur est exprimée en différentes unités de mesure :
- en **meq/100g** de sol (milliéquivalents pour 100g de sol); cette unité est celle de la CEC et permet la correspondance entre éléments.
- en ‰ (pour mille),
- en **ppm** (partie par million).

(1‰ = 1000 ppm = 1g/kg). La figure 190 p. 354 donne les coefficients de conversion de l'élément en ‰ ou meq/100g à l'oxyde en ‰.

Rappelons que les cations bivalents sont plus facilement retenus sur le complexe adsorbant que les monovalents ($Ca^{++} > Mg^{++} > K^{+} > Na^{+}$).

Le calcium

La teneur en calcium joue directement sur le pH du sol et son comportement structural en permettant la formation du complexe argilo-humique.
L'apport de calcium (chaulage) a pour but de relever le pH des sols acides en remplaçant les ions H^{+} du complexe adsorbant par des ions Ca^{++}. Cela demande des apports importants posant, en Haïti, des problèmes de coût et de transport.

Dans les sols calcaires, la CEC est saturée en ions Ca^{++} (pH > 7, voir calcaire actif). L'exigence en cet élément varie selon le type de plante. Par exemple, le pH optimum pour le riz se situe entre 5 et 6,5 alors que pour les légumes il varie entre 5,5 et 7,5.

Le magnésium et l'équilibre Ca/Mg

Dans les sols calcaires, la présence en grande quantité d'ions calcium peut gêner l'assimilation du magnésium. L'optimum du rapport Ca/Mg est compris entre 2 et 8. Dans les sols alluviaux du périmètre irrigué de St-Raphaël (plaine du Nord) des carences magnésiennes sont à craindre, les analyses indiquent des rapports Ca/Mg entre 10 et 15.

Le potassium et l'équilibre Mg/K

La richesse minimale d'un sol en potassium est fonction de sa CEC. Plus cette dernière est importante, plus la teneur en potassium échangeable doit être élevée. Une faible teneur peut-être corrigée facilement par des apports minéraux en sols calcaires à fortes CEC et en conditions sèches.
Dans le cas des sols plus ou moins acides et où le drainage est important (conditions humides), les apports organiques sont à privilégier. Les apports complémentaires sous forme minérale devront être fractionnés en petites doses.

L'optimum du rapport Mg/K se situe entre 3 et 20 pour que ces deux éléments soient assimilables (ou MgO/K_2O compris entre 1 et 3). Dans certains sols de la Plaine de Larbre, des rapports Mg/K de 1,5 ont été observés pouvant induire des carences magnésiennes.

Le rapport (Ca + Mg)/K permet d'apprécier la disponibilité du potassium pour les plantes. Les analyses des sols calcaires de St Raphaël indiquent des valeurs nettement supérieures à 50 et donc des risques de déficience en K.

Le sodium

Des teneurs élevées en sodium sont des caractéristiques des sols salins ou alcalins. Ces sols sont défavorables aux cultures, parfois même impropres à toute végétation, à cause de leur mauvaise structure (dispersion des argiles par le sodium), de leur pH trop élevé et de la forte pression osmotique due à la présence de sels solubles qui nuit à l'alimentation en eau des plantes. C'est le cas de terrains situés en bord de mer comme dans certaines zones des Plaines de Larbre, des Gonaïves et de l'Artibonite.

Le taux de saturation

Le taux de saturation est le rapport entre les sommes des bases échangeables (Ca - Mg - K - Na) et la CEC, il s'exprime en pourcentage :

$$V\ \% = S/T \times 100.$$

Il est égal à 100% dans les sols calcaires où le complexe absorbant est saturé en calcium. Il est faible dans les sols acides où les cations sont facilement drainés en profondeur.

Le phosphore

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'extraction et le dosage du phosphore. Elles sont différentes pour les sols calcaires ou acides car le phosphore n'y est pas sous la même forme. Il faut en tenir compte lors de l'interprétation.
L'analyse mesure la teneur en P assimilable, mais cette valeur ne représente jamais la quantité réellement disponible pour les plantes. Pour chaque type de sol, il faut, par région, mener des expérimentations pour pouvoir interpréter correctement ces valeurs et constituer des «abaques» (grilles de normes d'interprétation).
Rappelons qu'une partie, parfois importante, du phosphore est liée à la matière organique.

Le soufre (S)

Le cycle du soufre est lié comme celui de l'azote au cycle de la matière organique. Son diagnostic n'est pas possible par l'analyse de sol courante. Une déficience est mise plus facilement en évidence par l'analyse de plante.

Les oligo-éléments

Souvent le diagnostic nécessite des analyses de plantes.

Conditions d'apparition	Antagonisme	Oligo-éléments
En sols acides (pH inférieur à 6), le fer se trouve sous forme réduite et soluble, pouvant former avec les phosphates des composés ferro-phosphatés insolubles. Son excès risque de bloquer les phosphates sous cette forme inutilisable par la plante.	Fe → P_2O_5	Fe
La carence en manganèse est favorisée par un excès de fer.	Fe → Mn	
L'excès de fer (surtout en sol acide) freine l'assimilation du molybdène	Fe → Mo	
En sol acide et mal aéré, l'excès de manganèse est défavorable à l'assimilation du magnésium.	Mn → MgO	Mn
Chlorose ferrique induite par un excès de manganèse	Mn → Fe	
La carence en zinc est souvent associée à un excès de manganèse.	Mn → Zn	
L'assimilation du molybdène est freinée par un excès de manganèse (sol acide surtout).	Mn → Mo	
Le cuivre catalyse l'oxydation du fer, le bloquant sous forme non assimilable. La chlorose ferrique peut être induite par excès de cuivre.	Cu → Fe	Cu
Le cuivre favorise l'oxydation du manganèse échangeable (ou réduit). En sol pauvre en manganèse assimilable, cette transformation peut provoquer une carence en manganèse.	Cu → Mn	
L'excès de cuivre diminue l'assimilation du molybdène.	Cu → Mo	
Une richesse excessive du sol en zinc, freine l'assimilation du fer (rare).	Zn → Fe	Zn
En sol acide, de fortes teneurs en bore diminuent l'assimilation du molybdène.	B → Mo	B
Des apports excessifs d'engrais boratés en sol calcaire, pauvres en fer soluble, vont diminuer la solubilité du fer et risquent de provoquer une carence ferrique.	B → Fe	
Le molybdène en excès entraine un blocage du cuivre (surtout en sol calcaire).	Mo → Cu	Mo

INTERPRETER DES ANALYSES DE TERRE : LES SOLS COLLUVIAUX DU PERIMETRE IRRIGUE DE ST RAPHAEL

Cet exemple est tiré de l'étude pédologique réalisée par Agrotechnique en 1982 pour l'Organisme de Développement du Nord (ODN) dans le cadre de la réhabilitation du périmétre irrigué de St-Raphaël (plateau central).

Le périmètre couvre une surface de l'ordre de 1000 ha sur la rive droite de la plaine alluviale de la Bouyaha.
On y rencontre six groupes de sols différents :
- les sols peu évolués d'érosion,
- les sols peu évolués d'apport alluvial,
- les sols peu évolués d'apport colluvial,
- les rendzines,
- les sols bruns calcaires,
- les vertisols hydromorphes.

Les caractéristiques présentées se rapportent à l'ensemble des analyses de terres prélevées sur différentes parcelles ayant le même type de sol : sols peu évolués d'apport colluvial. Les analyses de terre d'une des parcelles sont jointes comme illustration ainsi que la description du profil pédologique correspondant.

Les sols appartenant à ce groupe sont formés dans les zones sujettes au colluvionnement par suite d'un modelé irrégulier avec des pentes marquées (ils sont donc répartis irrégulièrement soit sur le talus de raccordement aux terrasses alluviales inférieures, soit au niveau des ravines, soit sur le pourtour du piémont du morne).

Ce groupe de sol a été subdivisé en trois unités, en fonction de la profondeur du profil jusqu'à la roche-mère (calcaire marneux en général) :

Unité 1 : *Sol peu évolué d'apport colluvial peu épais.* La roche-mère est située à 30-35 cm au-dessous d'un horizon organique brun, légèrement caillouteux.

Unité 2 : *Sol peu évolué d'apport colluvial moyennement épais.* La roche-mère est située à 60-80 cm au-dessous des horizons organiques. le profil SR 18 ci-dessous appartient à cette unité.

Unité 3 : *Sol peu évolué d'apport colluvial épais.* La roche-mère est située à 80-100 cm.

Figure 172 : tableau des superficies occupées par les différentes unités de sols colluviaux.

Unités	Hectares	% du périmètre
1	71,76	7,57
2	105,08	11,09
3	28,64	3,02

Description d'un profil pédologique type

0 - 20 cm : argile limoneuse noire, structure polyédrique fine, consistance moyenne, porosité moyenne fissurale, enracinement dense. Transition diffuse avec l'horizon sous-jacent.

20 - 50 cm : argile limoneuse brun foncé avec petits cailloux calcaires, structure polyédrique, moyennement compacté, enracinement moyennement abondant, sec. Transition assez nette.

50 - 80 cm : argile limoneuse, jaune beige, riche en cailloux et calcaire pulvérulent, structure polyédrique peu nette, moyennement consistant, poreux, racines rares, légèrement humide. Transition graduelle.

80 cm et plus : limon argileux, jaune blanchâtre, marno-calcaire, structure polyédrique mal développée, plus consistant, moins poreux, sans racine, humide. Cet horizon correspond à la roche-mère.

L'horizon humifère noir peu épais qui caractérise ce profil peut disparaître. On a alors un horizon organique brun à brun foncé. Le colluvionnement est lié à la

• La *conductivité hydraulique* (K) mesure la perméabilité d'un sol saturé (lorsque toute la porosité est remplie d'eau). Le coefficient K exprime la vitesse d'écoulement de l'eau en cm/h.
Les valeurs médianes suivantes ont été obtenues pour les différents horizons :
- (0 à 40cm) : 0,62 cm/h
- (40 à 90cm) : 0,83 cm/h
- (70 à 120cm) : 1,30 cm/h
- (120 à 170cm) : 0,35 cm/h

La perméabilité au travers du profil est plutôt faible vers la surface puis augmente dans les horizons intermédiaires avant de diminuer sensiblement dans les couches profondes. L'ensemble de la drainabilité de ces sols apparaît assez limitée.

Utilisation de ces sols

Les différentes caractéristiques de ces sols en font de bonnes terres pour les légumes. Il y aura lieu toutefois de prendre des précautions dans les zones où les horizons calcaires apparaissent superficiellement (en particulier pour les sols de l'unité 1). Dans ce cas, outre un redressement potassique, il sera également souhaitable de doser largement les apports phosphoriques et d'**apporter également des fumures organiques pour compenser l'alcalinité du sol et améliorer l'assimilation des éléments.**

LES BILANS HUMIQUES ET MINERAUX

Les bilans humiques et minéraux permettent d'évaluer l'évolution de la fertilité des sols, mais leur réalisation est très difficile en conditions tropicales.

LES BILANS HUMIQUES

Les rôles des matières organiques dans le sol sont multiples :
• création d'une bonne structure, donc augmentation de la porosité,
• augmentation de la Capacité d'Echange Cationique,
• augmentation de la capacité de rétention en eau,
• fourniture d'éléments minéraux assimilables par les plantes, rôle essentiel en Haïti où les engrais minéraux sont peu utilisés.

Un stock convenable et régulièrement renouvelé de matière organique est indispensable au maintien de la fertilité d'un sol.
Selon les systèmes de cultures pratiquées, la richesse d'un sol en matières organiques peut augmenter ou diminuer, et, pour porter un jugement sur sa fertilité, il est nécessaire d'avoir une idée chiffrée de cette évolution.

La réalisation de bilans humiques est un moyen de savoir si un système de culture enrichit ou appauvrit le sol en matières organiques.

Les matières organiques et leur évolution
(voir chapitre 3)

Lorsque l'on enfouit dans le sol des matières végétales, celles-ci vont fermenter sous l'action des micro-organismes. Il se passe alors un ensemble de processus complexes qui aboutissent à la libération d'éléments minéraux (minéralisation directe) et la formation d'un *humus stable*. Cet humus se minéralise ensuite lentement (minéralisation indirecte).

L'humus étant la forme la plus stable des matières organiques, c'est par rapport à lui que se fait le bilan humique, en comparant les **gains** et les **pertes**.

Il est nécessaire de délimiter le système que l'on étudie. Un bilan peut être réalisé à l'échelle d'une parcelle, d'une exploitation, d'un terroir et sur une période plus ou moins longue.
Nous nous situerons dans le cas le plus général en agronomie, c'est-à-dire au niveau de la parcelle et sur la période d'une **succession de cultures**.

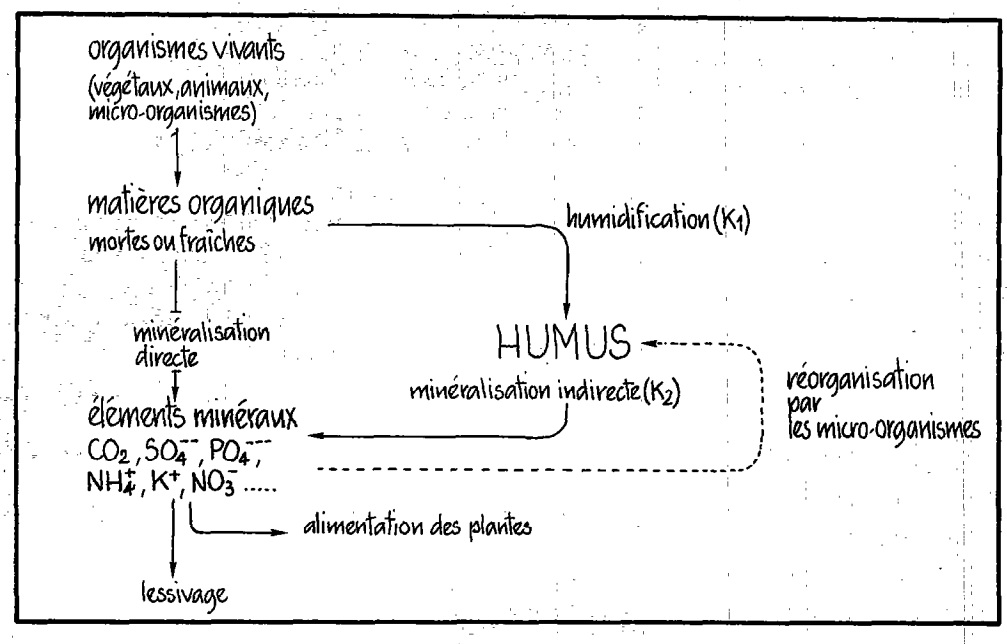


Figure 174 : schéma simplifié de l'évolution de la matière organique dans le sol.

Détermination de la quantité d'humus

La teneur en matière organique varie d'un horizon à l'autre. Dans la grande majorité des sols, elle diminue en profondeur. L'évaluation du stock organique doit donc être réalisé indépendamment pour chaque horizon.
Les bilans humiques sont réalisés sur l'horizon superficiel du sol, le plus riche en humus. Il correspond à la couche de terre travaillée, la mieux exploitée par les racines et où sont enfouies les matières organiques fraîches. La couche travaillée varie de 5 à 20 cm, mais l'horizon humifère peut atteindre dans certains cas 40 cm et plus (vertisols).
C'est l'observation du profil cultural qui permet de délimiter l'épaisseur de l'horizon à prendre en compte.

Pour calculer le stock d'humus en tonnes par hectare d'une couche de sol, on applique la formule suivante :

10.000 x h x Da x MO% = quantité d'humus en t/ha

- h est l'épaisseur de l'horizon considéré en mètre,
- Da est la densité apparente de la terre,
- MO% est la teneur en humus en pourcentage.

Exemple : Si on considère l'horizon humifère d'un sol régulièrement travaillé de 15 cm avec une densité apparente de 1,2 et une teneur en humus de 4%, on a :

10.000 x 0,15 x 1,2 x 4/100 = 72 t/ha d'humus

Il s'agit ensuite d'évaluer les pertes et les gains qui vont jouer sur ce stock.

Les pertes d'humus

• La minéralisation

Chaque année, une fraction de l'humus est minéralisée. Cette fraction est déterminée par le coefficient de minéralisation annuelle K2 tel que :

Stock d'humus/ha x K2 = quantité d'humus minéralisé/ha/an.

La quantité d'humus minéralisée est donc proportionnelle au stock initial.
Si le coefficient K2 du sol de l'exemple précédent était de 5%, nous aurions la 1ère année :

72 x 5/100 = 3,6 t/ha d'humus minéralisé

Le stock restant serait de 72 - 3,6 = 68,4 t/ha

Le problème est l'appréciation du coefficient K2. Il est fonction du type de sol, des conditions climatiques et du système de culture pratiqué. Ainsi le travail du sol accélère la minéralisation de l'humus.
Très peu d'études ont été réalisées pour connaître les valeurs des K2 en conditions

Les références africaines que nous possédons concernent des sols ferralitiques, ferrugineux ou bruns subarides. La dynamique de la matière organique dans les sols calcaires haïtiens est très différente.
D'après ces références, les systèmes de culture qui améliorent ou conservent la teneur en humus sont certaines plantations arbustives ou pérennes et les rizières.

• **Dans les plantations arbustives**, les restitutions organiques sont très importantes et la minéralisation de l'humus est freinée par l'ombrage et le non travail du sol. C'est parfois le cas de certaines cultures comme la canne à sucre et le bananier.

• **Dans les rizières**, la minéralisation de l'humus est très ralentie par la présence d'une nappe d'eau qui limite la présence d'oxygène et la température. Lorsque les pailles ne sont pas exportées, les bilans humiques sont généralement positifs. Les sols de rizières sont, de par leur situation topographique (zone d'accumulation des éléments fins), les sols souvent les plus riches en éléments minéraux et humus.

• **Dans les autres systèmes de cultures annuelles**, celles qui restituent le plus d'humus sont les céréales lorsque les pailles sont laissées sur la parcelle. Mais bien souvent elles sont soit exportées (habitation, alimentation animale), soit brûlées (difficulté d'évolution en climat sec). Viennent ensuite les jachères et prairies à base de graminées, leur production d'humus dépend des espèces dominantes et surtout de leur durée. Les restitutions d'humus par les résidus de petites légumineuses à graines, patate douce et pomme de terre sont considérées comme négligeables.

Figure 176 : valeurs de K1 pour des résidus de cultures fourragères, estimés lors d'une étude en Côte d'Ivoire.

Espèces	Valeurs de K1 des résidus de cultures
Graminées :	
Panicum Sétaria Pénisetum	0,55 à 0,70
Tripsacum Brachiaria Cynodon	0,35 à 0,45
Légumineuses :	
Stylosanthes	0,35 à 0,9
Centrosema	0,5 à 0,75

Figure 177 : ordres de grandeurs des valeurs K1 de quelques matières organiques.

Nature du produit	K1
Fumier décomposé	30 - 50 %
Fumier de parc	15 - 30 %
Végétaux ligneux	15 - 25 %
Pailles	8 - 20 %
Engrais vert jeune	0 %
Résidus de prairie ou jachère	15 - 45 %

Le tableau 175 donne des valeurs indicatives des restitutions humiques pour quelques cultures. Leur comparaison avec d'autres sources montre qu'elles sont sous-estimées. Plus les rendements sont importants, plus les restitutions organiques sont élevées.

LES BILANS MINERAUX P, K, Ca, Mg

La démarche est identique à celle des bilans humiques. Les bilans minéraux se réalisent en général à l'échelle de la parcelle et sur la période d'une succession de cultures. Leur objectif est d'évaluer l'effet à moyen ou long terme d'un système de culture sur la fertilité minérale d'un sol. Ils aident donc à la détermination de l'ensemble des techniques de fertilisation à mettre en oeuvre pour maintenir un sol à un certain niveau de fertilité.

Ils prennent en compte l'ensemble des éléments sauf l'azote (N) et le soufre (S) qui sont très dépendants du cycle de la matière organique et de la vie microbienne. Ils sont souvent positifs pour certains éléments et négatifs pour d'autres.

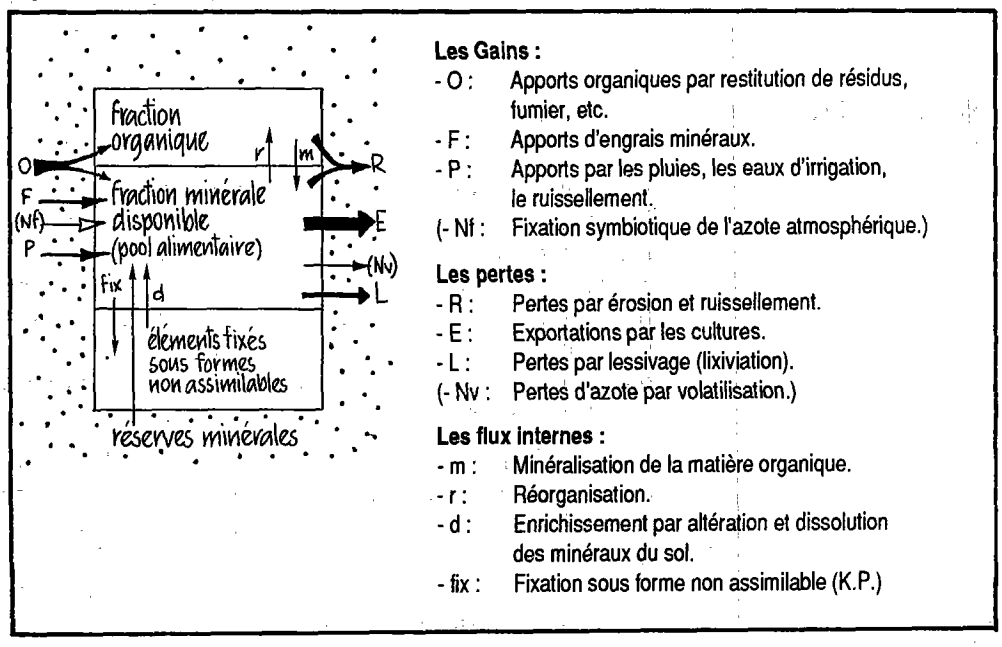
La connaissance de la dynamique des éléments minéraux dans les sols tropicaux est très insuffisante pour pouvoir réaliser de manière précise de tels bilans. En effet, certains phénomènes, considérés comme mineurs sous climat tempéré, ont une importance considérable. C'est le cas en particulier des pertes par lessivage et ruissellement, très difficiles à mesurer.

Il s'agit donc d'évaluer les gains et les pertes pour chaque élément dans le sol. On doit alors considérer les différentes formes sous lesquelles ils peuvent être présents :

- éléments nutritifs disponibles pour les cultures,
- éléments constitutifs de la matière organique,
- réserves minérales du sol.

Figure 178 : représentation schématique des flux minéraux dans un sol.

Evaluer le devenir de ces trois ensembles nécessite de prendre en compte les flux externes au sol, mais aussi les flux internes qui assurent une redistribution entre ces différents ensembles.



Les apports minéraux

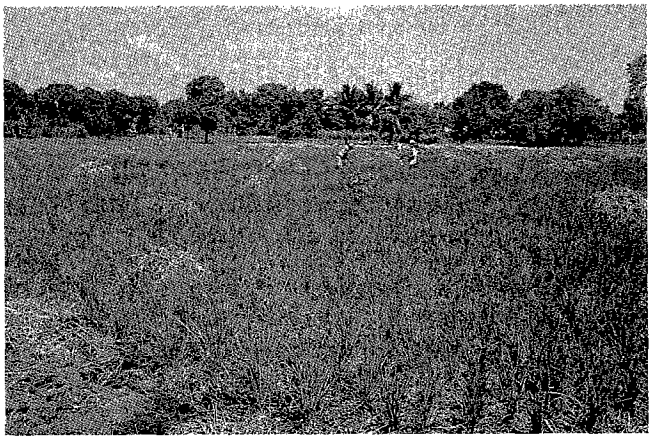
• Les engrais

Ils sont encore très peu utilisés en Haïti. Il est assez facile d'évaluer les apports réalisés en P et K, faut-il encore connaître la surface sur laquelle une quantité donnée est épandue. Mais souvent les éléments mineurs (Cl et S par exemple) qui y sont associés sont mal connus, surtout pour les engrais complets, les plus utilisés. En Haïti, les types d'engrais disponibles sont peu nombreux, ce qui limite les choix concernant la forme des éléments majeurs et la nature des éléments secondaires.

• Les restitutions et apports organiques

Elles sont en nature et quantité très variables et constituent bien souvent l'essentiel des supports minéraux dans les systèmes de culture haïtien. Les tableaux 186 et 187 p. 354 donnent à titre indicatif les valeurs des restitutions minérales de quelques produits. Ce ne sont que des ordres de grandeur étant donné la variabilité de la composition de ces produits.

Le problème essentiel de l'emploi des matières organiques réside dans leur disponibilité et dans leur difficulté d'utilisation (transport, enfouissement).
Les apports minéraux atmosphériques sont difficiles à évaluer et souvent très faibles. Il est cependant intéressant de constater qu'en Afrique de l'Ouest, les apports de calcium correspondent environ à ce qui est exporté par les céréales de culture sèche de cette zone.



Dans les rizières, les matières organiques fraîches se décomposent mal à cause de l'hydromorphie (manque d'oxygène). Les paysans mettent les résidus de la culture précédente en tas (Plaine du Nord, Bois de Lance) (photo M. Bonnefoy).

Evaluation des pertes

• Les exportations par les cultures

(voir p. 292 : les besoins des cultures en éléments minéraux)

• Les pertes par ruissellement et érosion

Les pertes par érosion sont minérales mais surtout organiques. L'eau de ruissellement entraîne des particules de terre en suspension (érosion solide) et des éléments minéraux dissous (érosion liquide). Les pertes peuvent être importantes, même en zone sèche, à cause du caractère agressif des pluies. Dans la plaine d'Aquin, par exemple, malgré le climat sec et les faibles pentes, l'érosion provoque parfois de graves dégâts. Sur pente basaltique, ces pertes peuvent être extrêmement rapides et importantes jusqu'à rendre certaines parcelles impropres à la culture.

Le ruissellement n'implique pas forcément l'érosion qui dépend essentiellement du couvert végétal. Ainsi, une prairie de graminées à peu d'influence sur le ruissellement mais limite beaucoup les pertes en terre en jouant le rôle de filtre. L'importance des pertes par érosion est très lié au système de culture pratiqué. L'apport de matière organique (fumier en particulier) limite l'érosion tandis que le brûlis l'accentue en diminuant la stabilité structurale. L'emploi d'engrais minéraux peut aussi avoir un effet positif en favorisant le développement rapide d'un couvert végétal dense et l'enracinement. La lutte contre l'érosion est indispensable au maintien d'une bonne fertilité des sols.

• Les pertes par lixiviation («lessivage»)

Elles ont été étudiées en Afrique de l'Ouest sur sols ferrallitiques et sols ferrugineux où elles sont très importantes. Elles sont fonction de la pluviométrie et du drainage lié à la pente et la nature du sol (voir chapitre 3).

En Haïti, dans les sols ferrallitiques de plateaux, pauvres en argile et soumis à une forte pluviométrie, ce phénomène est très important, surtout pour l'azote et les cations (particulièrement K^+). A Madagascar, dans des sols ferrallitiques sous culture fertilisée, les pertes par lixiviation ont été évaluées à une cinquantaine de kg d'azote et une centaine de kg de bases (K_2O - CaO - MgO) par hectare et par an.



Le ruissellement et l'érosion entraînent des pertes importantes en humus et éléments minéraux (photo M. Bonnefoy).

La fertilisation minérale et surtout azotée favorise la lixiviation des cations en libérant dans le sol des anions tels que des chlorures, des sulfates et des nitrates. Ces pertes sont très importantes en sol sec, mais dès qu'un couvert végétal est installé (surtout des graminées) les pertes sont fortement réduites. Les apports de matières organiques limitent ce phénomène, surtout dans les sols à faible CEC.

Sur les sols de pente et certains sols de plaine riches en éléments fins, une grande partie de l'eau ruisselle, ce qui limite le drainage mais accentue les pertes par érosion.
Dans les sols riches en argiles et à forte CEC, ce phénomène concerne l'azote et le potassium, moins bien retenus par le complexe adsorbant que les autres cations (Ca, Mg). Ainsi, des déficiences en potassium sont courantes en sol calcaire.

Les flux internes

Le rôle joué par la dissolution des minéraux constitutifs du sol est très mal connu. Sur les sols de pente peu épais, en particulier sur basalte, on sait que ces apports peuvent jouer un rôle non négligeable sur l'alimentation minérale des plantes.

• Concernant la fixation d'éléments sous forme inassimilable, le cas du phosphore a déjà été signalé. Cet élément peut être bloqué aussi bien en sol ferrallitique (par l'aluminium) qu'en sol riche en calcaire actif. Ce phénomène doit être pris en considération dans le choix des techniques de fertilisation.

• La minéralisation de l'humus a été abordée lors de l'étude du bilan humique. Elle joue un rôle essentiel sur la disponibilité des éléments minéraux, en particulier l'azote, le soufre et le phosphore. Elle est très intense au début de la saison des pluies, d'autant plus que la saison sèche est marquée.

Utilisation des bilans minéraux

Faute de pouvoir en évaluer précisément tous les termes, les bilans minéraux se limitent dans la pratique à l'évaluation des pertes et des apports facilement mesurables :
• les exportations par les cultures,
• les fumures minérales,
• les apports organiques.

Ces bilans «simplifiés» ont pour objectif de comparer les effets de différents systèmes de culture sur la fertilité des sols pour proposer éventuellement des améliorations. Ils permettent de mettre en évidence les déséquilibres minéraux les plus apparents et d'en rechercher les causes.

Cependant, plusieurs études réalisées en Afrique ont montré que de tels bilans ne permettaient pas de prévoir de façon significative l'évolution des stocks minéraux et organiques. Les pertes par lixiviation, les pertes par érosion et les flux internes de redistribution minérale y jouent des rôles déterminants.

En Haïti, les pertes par lixiviation dominent dans les sols ferrallitiques. Les apports par altération des minéraux primaires dans les sols peu épais sur basalte et les pertes par érosion sont importantes . Dans les sols fersiallitiques, les sols

bruns calciques, les vertisols et les sols alluviaux non soumis à des phénomènes d'érosion, ces mécanismes jouent peu. Par contre, dans les zones d'accumulation, les apports d'éléments fins par ruissellement peuvent enrichir régulièrement les sols. Dans les sols riches en calcaire fin se pose le problème de rétrogradation du phosphore sous forme inassimilable et de carence en certains oligo-éléments.

L'évolution des variations des stocks organiques et minéraux par des analyses de sols réalisées en début et en fin de rotation permet de mesurer la signification de tels bilans selon les situations.

LES BILANS AZOTÉS

L'évaluation du bilan azoté des sols est plus complexe du fait de la dynamique de cet élément.
Dans l'ensemble des sols, la disponibilité en azote (et en soufre) est essentiellement due à la minéralisation de l'humus et des résidus organiques et son évaluation nécessite donc la réalisation de bilans humiques.

On ne réalise généralement pas de bilans azotés sur une succession de cultures, mais plutôt avant chaque culture pour prévoir la fumure azotée nécessaire (voir en fin de chapitre la fertilisation minérale).

Dans l'établissement d'un bilan azoté, il convient de prendre en compte d'une part les apports dûs à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par les légumineuses, et d'autre part les pertes gazeuses de cet élément.

• La quantité d'azote fixée par une culture de légumineuse varie très largement en fonction des conditions de milieu. Cette fixation peut être limitée en sol ferralitique par une carence en phosphore ou une forte acidité. Elle dépend aussi des conditions climatiques (périodes de sécheresse), de la richesse du sol en azote minéral et de l'efficience des souches de *Rhizobium*.
Il a été montré en Afrique de l'Ouest que, sous certaines conditions climatiques, une culture d'arachide appauvrissait le sol en azote. Il ne faut donc pas surestimer les apports d'azote par les légumineuses.

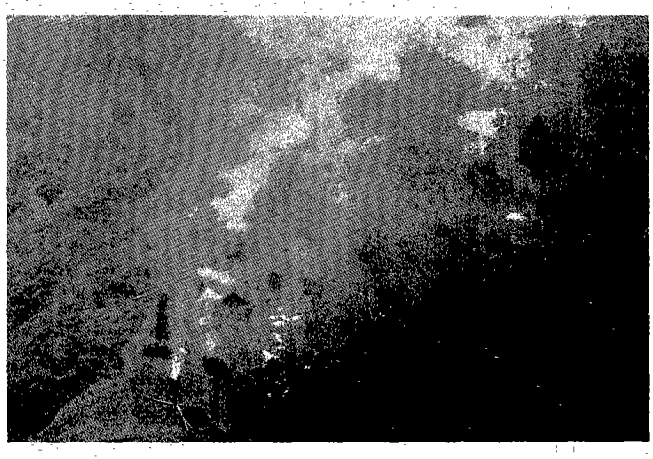
• Les pertes d'azote sous forme gazeuse sont généralement faibles sauf dans certains cas particuliers :
- elles peuvent être élevées dans les sols hydromorphes (pertes par dénitrification).
- lors d'une fertilisation sans enfouissement; 30% à 50% de l'azote-engrais épandue à la surface d'un sol peuvent être perdus par volatilisation. En revanche, dès que l'engrais est enfoui à quelques centimètres, ces pertes sont négligeables,
- lors des brûlis des résidus végétaux, les pertes en azote (et en soufre) peuvent aussi être importantes.

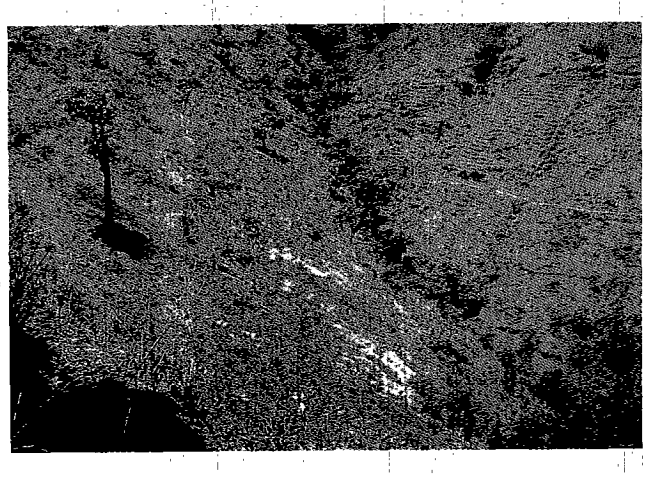
L'immobilisation de l'azote lors de la décomposition des matières organiques fraîches (au moment de l'enfouissement des pailles par exemple) peut être importante et rendre momentanément indisponible l'azote minéral du sol. Enfin, cet élément est très facilement entraîné par les eaux de drainage (le soufre également).

La lutte contre l'érosion en Haïti

Autrefois en Haïti, les systèmes de culture des mornes se caractérisaient par l'alternance de courtes périodes de culture (2 à 3 ans) et de longues périodes de jachère (une dizaine d'année ou plus) avec brûlis. Ce mode de gestion de la fertilité, relativement économique en travail, était possible tant que la densité de population restait assez faible. On l'observe encore actuellement dans les mornes du Sud-Ouest d'Haïti.

Avec la forte croissance de la population rurale, les surfaces cultivées ont beaucoup augmenté. Ainsi, les jachères sont devenues de plus en plus courtes, jusqu'à disparaître dans certaines zones. Elles ne peuvent plus assurer comme autrefois les fonctions de préservation de la fertilité des sols. Par ailleurs, de nouvelles zones, particulièrement fragiles, ont été déboisées et mises en culture (fonds de ravines, fortes pentes).





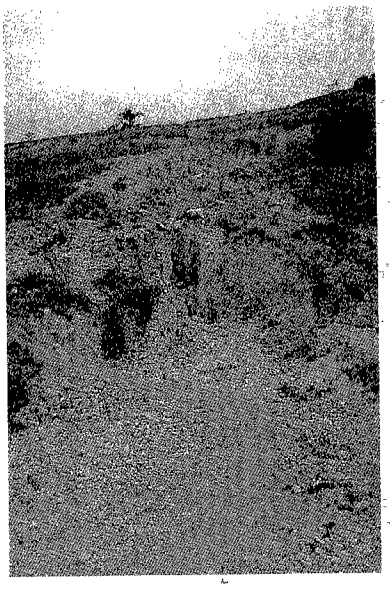
A gauche : défriche par le feu d'une longue jachère dans le Nord-Est (Vallières, 1988) (photo D. Mermet).
A droite : «terres finies» dans la région de Jacmel, 1988. (photo M. Bonnefoy).

Cette évolution a abouti dans de nombreuses régions à une sur-exploitation du milieu, à une baisse globale de la fertilité des sols, et à une quasi-disparition des surfaces boisées. Or, le contexte naturel haïtien est favorable à l'érosion : pentes souvent très fortes et climat tropical agressif. Les signes d'une érosion intense sont visibles partout dans le paysage des mornes : traces d'érosion superficielle, nombreuses terres complètement dégradées («terres finies») et réseaux de ravines en plein développement.

Face à cette évolution du milieu, les paysans haïtiens ont modifié leurs systèmes de culture en y intégrant des techniques coûteuses en travail mais permettant le maintien d'une assez bonne fertilité dans les parcelles situées à proximité des habitations. Mais ces pratiques concernent des surfaces réduites. Dans l'exemple du plateau des Rochelois, exposé en début de chapitre, nous avons vu que le maintien d'une fertilité relativement élevée dans les parcelles entourant la maison impliquait un transfert de fertilité à partir des parcelles les plus éloignées.

Souvent en Haïti, l'amélioration de la fertilité doit commencer par la lutte contre l'érosion. Parallèlement à la mise en place d'aménagements anti-érosifs, il est

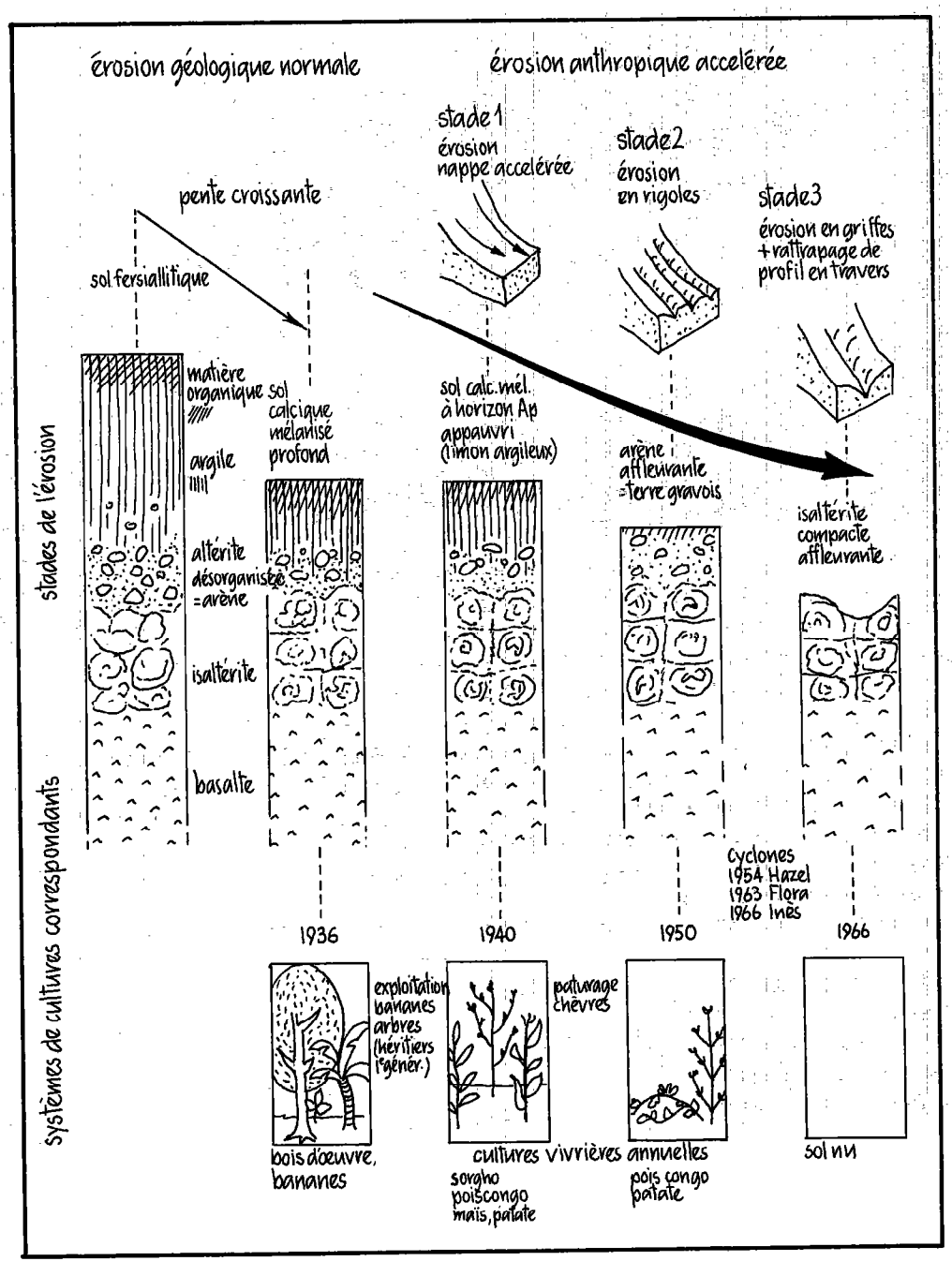
A gauche : le décapage par l'érosion d'un sol rouge sur ce substrat calcaire constitue une dégradation irréversible du milieu.
A droite : versants basaltiques sur fortes pentes érodées (Lavial) (photo M. Bonnefoy).





LES STADES DE L'ÉROSION

Figure 179 : stades et conséquences de l'érosion sur les systèmes de culture.



Lorsqu'une parcelle est arrivée au stade 3 de l'érosion, on atteint l'isaltérite appelée localement «grison». A ce stade, il ne s'agit pas seulement de stabiliser mais de reformer un sol. Ces «terre finies» ont de très faibles réserves en eau et surtout les racines ne peuvent mécaniquement pénétrer dans le sol. Ce sont les principaux facteurs limitants car les potentialités chimiques de l'isaltérite restent élevées en ce qui concerne les bases et le phosphore (seul le stock d'azote est très faible, car le sol a été décapé de ses horizons humifères).

LUTTE CONTRE L'EROSION DIFFUSE : EFFICACITE ET CONTRAINTES

Traditionnellement, les agriculteurs utilisent certaines techniques pour réduire l'érosion. Elles sont assez peu efficaces mais ont l'avantage d'être intégrées aux systèmes de culture et pourront donc être améliorées.

Les rampes de paille sont largement utilisées mais réduisent peu l'érosion. Ce sont de petites barrières (clayonnages) implantées dans les parcelles. Ces ouvrages ne sont pas pérennes, il n'y a donc pas d'effet cumulatif d'une année sur l'autre. Leur horizontalité est souvent approximative et leur perméabilité est trop élevée.

Les billons horizontaux n'ont qu'un impact limité sur le ruissellement. Ils suivent rarement tout à fait les courbes de niveau et concentrent ainsi le ruissellement dans les points bas. Par ailleurs, les billons cèdent souvent lors de grosses averses.

Les haies vives constituées de diverses espèces sont assez efficaces mais ne concernent que les parcelles proches des habitations et de faible pente. Leur principal rôle est la protection des cultures contre les vols et contre la divagation des animaux.



Sur de très fortes pentes, les techniques anti-érosives mises en œuvre par les paysans sont insuffisantes (Jacmel) pour supprimer l'érosion (photo M. Bonnefoy).

LE CANAL DE CONTOUR : COÛTEUX ET FRAGILE

Dans les projets, cette technique a été utilisée couramment dans plusieurs régions d'Haïti. Elle consiste à creuser des canaux en courbes de niveau, et à planter sur les buttes en aval des espèces fourragères (herbe de Guinée - herbe du Guatemala).

Les eaux de ruissellement se concentrent dans ces canaux qui, ayant une légère pente (1%), les évacuent jusqu'à un exutoire. L'exutoire est le plus souvent une ravine naturelle qu'il est nécessaire d'aménager.
Cette technique présente plusieurs inconvénients :
• le canal de contour nécessite non seulement beaucoup de travail pour sa réalisation, mais aussi un entretien régulier : curage du canal, réparation du talus,
• la nécessité de déboucher sur un exutoire rend impossible la réalisation de tels ouvrages de manière dispersée,
• ces ouvrages sont particulièrement fragiles et ont tendance à transformer l'érosion diffuse en érosion linéaire lorsqu'ils sont mal conçus ou mal entretenus.





A gauche : creusement d'un canal de contour (photo D. Mermet).
A droite : aménagement de versants avec des canaux de contour, Jacmel (photo G. de Laubier).

On observe, en Haïti, de nombreuses situations où les canaux de contour ont provoqué des dégâts plus graves que ceux dus à l'érosion diffuse. C'est le cas des canaux réalisés sans exutoire : - l'eau s'y accumule jusqu'à débordement puis rupture du talus. Il se crée alors des ravines qui entaillent le sol. Ce même problème se pose aussi lorsque l'entretien (curage) n'est pas régulier.

D'autre part, cette technique employée seule, si elle limite les pertes par érosion, n'améliore pas la fertilité du sol. Le paysan n'est donc pas motivé pour entretenir ces ouvrages surtout s'ils sont réalisés sur des terrains non cultivés (terres finies). Seuls les salaires versés par un projet de développement incitent les paysans à construire ces aménagements.

LA TERRASSE PROGRESSIVE : UN OUTIL ADAPTÉ *

* Pour plus de détails, voir le document de la FAO : «Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti» par Charles Lilin et A.P. Koohafkan, juin 1987.

Il s'agit d'implanter une végétation pérenne sur des bandes horizontales de faible largeur. Ces bandes de végétation freinent le ruissellement et provoquent le dépôt de la terre transportée : elles jouent le rôle de filtre ou de piège à sédiments. Ce dépôt s'effectue au niveau de la bande végétalisée et surtout un peu en amont de celle-ci, dans une zone où l'eau stagne momentanément lors de pluies importantes.

Cet aménagement conduit, à moyen terme, à remplacer la pente plus ou moins régulière d'un versant ou d'une parcelle par une succession de *terrasses*, c'est-à-dire de replats à pente faible ou nulle et de talus à pente forte (ou parfois de murette). Le versant est ainsi remodelé en marches d'escalier.

Cette technique permet à la fois d'améliorer la fertilité des parcelles traitées et de réduire l'érosion par l'eau, ceci avec des coûts de construction et d'entretien réduits. Elle pose beaucoup moins de problèmes que le canal de contour si l'entretien est momentanément négligé. Elle supporte mieux une certaine dispersion des aménagements.

Les bandes de végétation

Elles peuvent être constituées de simples bandes de terrain que l'on cesse de cultiver et où repousse la végétation spontanée, ce qui suffit pour freiner les écoulements.
Cette végétation spontanée peut être enrichie ou remplacée par des cultures fourragères pérennes, graminées ou légumineuses, qui fourniront une production. Les espèces herbacées doivent être choisies en fonction de leur capacité à former des touffes et de leur intérêt économique pour le paysan. Les graminées fourragères comme l'herbe de Guinée, l'herbe de Guatemala et l'herbe éléphant sont déjà largement utilisées en Haïti et faciles à reproduire. La canne à sucre peut être plantée sur des terrains ayant un bon potentiel agronomique. D'autres cultures pérennes comme le sisal peuvent jouer le même rôle.

Une rangée d'arbres peut venir compléter cette bande enherbée pour produire du bois, des fruits et pour améliorer la fertilité du sol.
Les espèces ligneuses à croissance rapide procurent au paysan un revenu à court terme. Mais certains paysans sont aussi intéressés à planter des espèces à bois dur et croissance plus lente pour la fourniture de bois d'oeuvre. Les arbres fruitiers, enfin, sont généralement très demandés (variétés améliorées). On évitera cependant

de provoquer une surproduction localisée en diversifiant les espèces et les variétés. La bande de végétation peut être uniquement constituée d'espèces ligneuses arbustives et arborées comme les haies vives qui clôturent les parcelles pour les protéger du bétail divagant.

Enfin, elle peut être remplacée par une murette en pierres sèches dans les parcelles très pierreuses. Mais cette technique est moins intéressante car elle est plus coûteuse et nécessite un rehaussement régulier des murettes si l'on désire obtenir un réel remodelage.

Murets en pierres sèches (photo G. de Laubier).



Constitution d'un filtre de résidus végétaux

Les bandes de végétation sont rarement suffisantes pour disperser et freiner efficacement le ruissellement. L'eau contourne les touffes et les tiges, et les écoulements restent assez concentrés.
Elles doivent être complétées par des résidus végétaux (branchage, résidus de récoltes, stipes de bananier, etc.) qui s'appuient contre elles. Ce filtre «mort» doit être légèrement enterré pour éviter que l'eau ne passe par dessous.
Un tel filtre est également nécessaire à l'amont des murettes en pierres sèches, pour éviter que l'eau ne trouve des cheminements privilégiés entre les pierres ou sous la murette.

L'entretien des terrasses

L'entretien de la bande de végétation doit être régulier pour permettre **l'élévation progressive de la terrasse** ainsi que pour traiter à temps les éventuelles **brèches**. Il se fait en renforçant la végétation vivante par de nouvelles plantations dans les zones fragiles et en mettant en place de nouveaux filtres en résidus végétaux lorsque les anciens sont détruits ou recouverts de terre.

Bandes enherbées de vétiver non entretenues (Jacmel) (photo M. Bonnefoy).

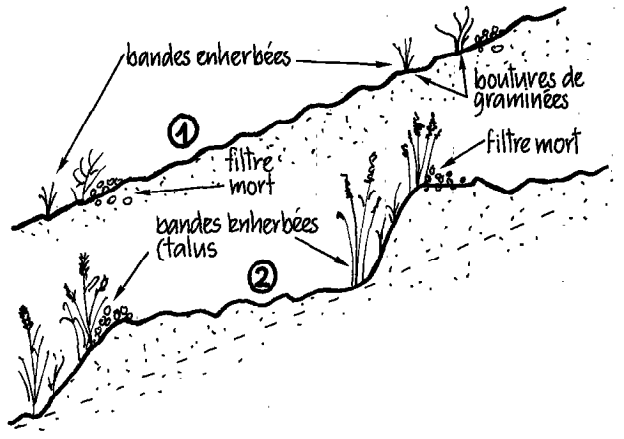


Des défauts d'horizontalité de la bande de végétation peuvent provoquer l'écoulement le long de son bord amont d'une partie de l'eau provenant de la parcelle et brutalement freinée. Cet écoulement doit être traité (création d'obstacles pour l'obliger à traverser la bande de végétation et renforcement de celle-ci au niveau de ces traversées) pour éviter l'apparition de ravinements importants.

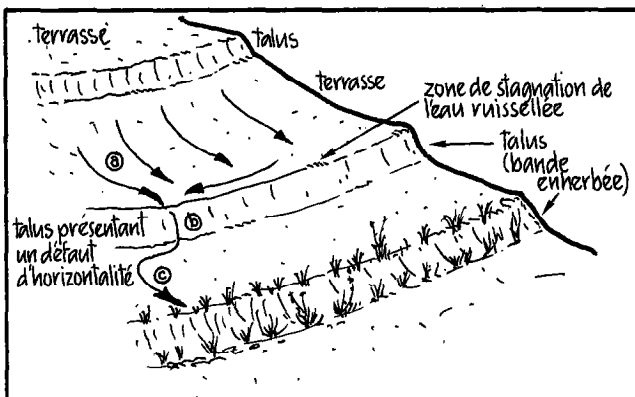
La base de la terrasse peut être affouillée par les eaux de ruissellement qui ne s'infiltrent pas dans le talus, d'autant plus que ces eaux ont déposé leur charge solide et sont plus érosives. Par ailleurs, lorsque le talus est d'une horizontalité approximative, des écoulements peuvent aussi apparaître le long de son bord inférieur et raviner. Les zones affouillées ou ravinées doivent être végétalisées, l'important étant d'intervenir de façon précoce, lorsque l'affouillement ou le ravinement sont encore faciles à maîtriser.

Figure 180 : construction d'une terrasse progressive.

Figure 181 : problèmes posés par une mauvaise horizontalité de la bande enherbée.



1. Mise en place des bandes enherbées
2. Remodelage du versant obtenu par piégeage des éléments entraînés par l'érosion (stade final)



a. Ecoulement et ravinement le long du bord supérieur de la terrasse.
b. Ravinement dans la traversée de la terrasse, risque d'érosion régressive.
c. Ecoulement et ravinement le long du bord inférieur du talus.

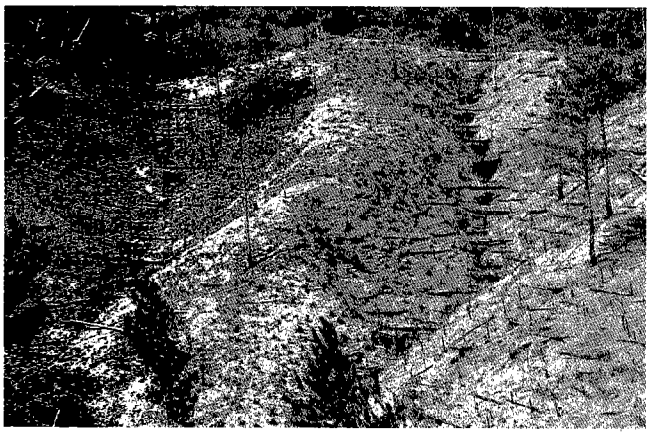
Les effets de la terrasse

L'aménagement en terrasses freine le ruissellement, ce qui augmente l'infiltration de l'eau et réduit l'érosion diffuse. De plus, la présence de bandes de végétation en courbes de niveau permet aux paysans de réaliser des billons avec une meilleure horizontalité. Ainsi, l'apparition d'écoulements concentrés est retardée et ceux qui apparaissent sont dispersés au niveau des talus. L'érosion par rigoles ou ravines ne peut donc pas se développer.

D'un point de vue agronomique, la terrasse augmente la fertilité des terrains en provoquant l'accumulation de terre fine et de matières organiques. L'épaisseur du sol s'accroît juste en amont de la bande de végétation. Pour valoriser au mieux cet accroissement de fertilité, il est nécessaire d'adapter le choix des cultures, en particulier par la plantation d'espèces exigeantes en eau à l'amont immédiat des talus.

Fascines en bois : techniques de conservation des sols mises en œuvre par les paysans à Vallières (Nord). (photos D. Mermet).

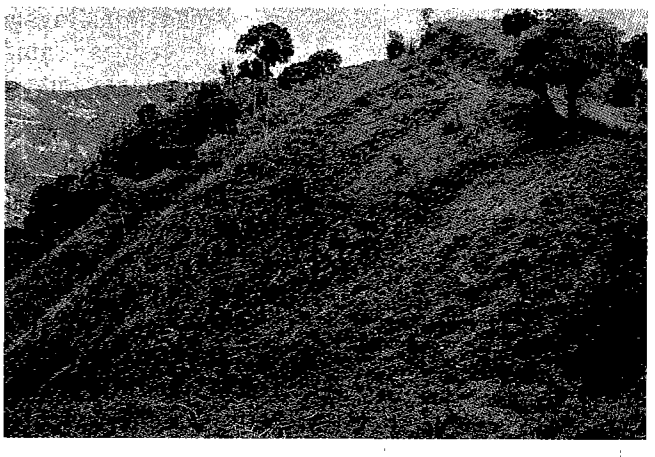




Culture de manioc sur billons, technique issue d'une action menée par un projet de développement à Grison-Garde (photo D. Mermet).

Mise en culture d'une forte pente à Jacmel (photo M. Bonnefoy).





Exemples d'espèces utilisables pour l'implantation de bandes de végétation

• Espèces herbacées :
. Herbe Eléphant,
. Herbe de Guinée,
. Herbe du Guatemala,
. Citronnelle,
. Canne à sucre,
. Sisal...

• Espèces arborées pour la production de bois :
A croissance rapide :
. Casse (*Cassia siamea*),
. Neem (*Azadirachta indica*),
. Graine de lin (*Leucaena leucocephala*),
. Frêne (*Simaruba glauca*),
. Bois pelé (*Colubrina ferruginosa*),
. Filao (*Casuarina equisetifolia*),
. Bois blanc (*Siramuba officinalis*),
. Bois kapab (*Schaefferia frutescens*),

A croissance lente :
. Chêne (*Macrocatalpa longissima*),
. Acajou (*Swietenia mahogani*).

• Espèces fruitières :
. Manguier,
. Avocatier,
. Citrus greffés...

Enfin, la réduction du ruissellement permet une meilleure valorisation des engrais minéraux car elle limite les pertes par entraînement de fertilisants. C'est principalement pour cette raison que les paysans maraîchers de Kenscoff ont réalisé des terrasses.Dans ce cas, l'aménagement est valorisé par la culture d'espèces à fortes marges brutes dont la commerciali- sation est aisée (proximité de Port au Prince). De plus, le niveau économique de ces paysans leur permet de réaliser de tels investissements et de les valoriser (utilisation de nombreux intrants : engrais, semences améliorées, outils di versifiés).

Limites et conditions d'utilisation de la terrasse progressive

• Impact sur les cultures vivrières
L'implantation de bandes de végétation pérenne réduit la surface en cultures vivrières de la parcelle. Il y a donc, dans un premier temps, baisse du niveau de production. Cette réduction de surface est d'autant plus importante que la parcelle est pentue, car les bandes de végétation doivent alors être plus rapprochées.
Les effets d'amélioration de la fertilité n'apparaissent que plus tard et ne sont conséquents que s'il y a fertilisation organique et adaptation du choix des cultures.
Pour le paysan, l'augmentation du niveau de production de sa parcelle est le but principal. Il est donc préférable de commencer par aménager des terrains peu dégradés et peu pentus où l'augmentation est plus rapide.

• Contraintes foncières
La création de terrasses constitue un investissement important en temps de travail. Pour le paysan, l'intérêt de cet investissement, dont la rentabilité n'est pas immédiate, est d'autant plus important que la sécurité foncière est bonne. L'aménagement d'une parcelle en fermage ou en métayage peut même pousser le propriétaire à récupérer sa terre.
Dans le cas du métayage ou de l'indivision, l'exploitant devra partager la plus-value apportée par l'amélioration de la fertilité avec d'autres personnes.
De tels aménagements doivent donc être réalisés en priorité sur les parcelles en faire valoir direct.

• Cas des très fortes pentes
La terrasse a pour effet d'augmenter l'infiltration des eaux de pluie. Lorsque le versant est raide, l'accumulation d'eau dans le sol peut provoquer des glissements de terrain superficiels. La plantation d'arbres à racines pivotantes dans les haies limite ce risque mais peut être insuffisante sur pentes très fortes.
Ce problème s'ajoute à celui posé par la nécessité d'un écartement faible entre les talus sur pentes fortes.
La technique de la terrasse progressive est donc à réserver en priorité aux versants à pentes faibles ou moyennes.

L'amélioration de la productivité agricole obtenue sur ces terrains devrait permettre par la suite de consacrer les zones les plus raides à des cultures pérennes protégeant mieux le sol. Mais cette proposition ne peut pas être faite aux paysans qui exploitent uniquement des terres sur pentes très fortes. Dans ce cas, d'autres réponses doivent être recherchées.

• L'élevage sur la terrasse

L'aménagement en terrasse d'une zone n'est pas compatible avec le libre parcours du bétail. Les animaux en liberté détruisent les bandes de végétation et favorisent la création de ravines dans les passages créés pour traverser les talus.
Cependant, la construction de terrasses et le développement de l'élevage sont complémentaires. L'élevage au piquet ou à l'étable permet de valoriser les cultures fourragères. Il rentabilise ainsi les bandes de végétation, mais nécessite la présence d'un point d'eau proche, ce qui est rarement le cas en Haïti.

L'ARBRE ET LA TERRASSE : DES RÔLES COMPLÉMENTAIRES

L'arbre peut jouer un rôle dans l'amélioration de la productivité agricole par sa production (bois, fourrages, fruits) et par ses effets sur l'érosion et la fertilité du sol.

• Sur l'érosion

. L'arbre joue un rôle direct relativement modeste dans la réduction de l'érosion :
- il protège le sol contre l'impact des gouttes de pluies et, de ce fait, retarde la formation de croûtes de battance. Mais cet effet ne concerne qu'une surface réduite,
- les feuilles tombées et les branches taillées régulièrement, lorsqu'elles sont répandues sur la parcelle jouent un rôle protecteur comparable à celui des résidus de culture.

. Par leur production de bois et de fourrages, les arbres ont un effet indirect sur l'érosion : ils réduisent le déboisement des zones les plus fragiles (versants raides, talwegs et fonds de ravines).

• Sur la fertilité

L'arbre peut jouer un rôle important dans l'amélioration de la fertilité, mais il peut aussi avoir des effets négatifs sur les cultures.

. Effets positifs de l'arbre sur la fertilité :
- par la chute de ses feuilles, il restitue en surface des éléments minéraux prélevés en profondeur et enrichit le sol en matière organique (et en azote pour certaines espèces),
- il crée un micro-climat favorable aux cultures, en particulier en les protégeant du vent.

. L'arbre peut avoir des effets dépressifs sur les cultures, dans certaines conditions :
- lorsque les arbres sont plantés trop rapprochés et que la plantation n'a pas été éclaircie, il concurrence les cultures pour la lumière. Le problème est identique lorsque les arbres ne sont pas taillés régulièrement,
- lorsque les espèces plantées ont un enracinement superficiel et concurrencent ainsi les cultures pour les éléments fertilisants,
- lorsque la parcelle est cultivée avec des plantes très exigeantes en lumière.

• Sur la terrasse elle-même

Il y a tout intérêt à associer ces deux outils de manière à profiter des effets de synergie. Cette association n'est pas, pour autant, obligatoire. D'autres formules peuvent être retenues : par exemple la création de bandes enherbées avec des graminées et la plantation d'arbres uniquement autour de la parcelle, en clôture.

Sur les versants à très forte pente et non cultivés, le reboisement éventuel ne nécessite pas la construction de terrasses, ni d'ailleurs de canaux de contour. Ces aménagements sont trop coûteux. La réalisation de micro-terrasses individuelles est aussi efficace.

L'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ AGRICOLE

La terrasse progressive et l'agroforesterie sont des éléments de réponse aux graves problèmes de fertilité dans les mornes. Mais l'intérêt du paysan pour ces techniques est souvent fonction d'actions complémentaires visant à développer l'agriculture et l'élevage.
Dans ce cadre, l'amélioration de la gestion de la matière organique joue un rôle important.

L'insuffisance des restitutions organiques a des conséquences non seulement sur la fertilité, mais aussi directement sur l'érosion :
• l'enlèvement des résidus de récoltes prive le sol d'un mulch protecteur,
• la baisse de la teneur en matière organique du sol peut diminuer sa stabilité structurale et ainsi augmenter le splash et favorisant l'apparition de croûtes de battance.

Inversement, des mesures visant à améliorer la fertilité des sols ont aussi un impact direct important sur l'érosion, en particulier :
• le maintien en surface de résidus de cultures,
• les apports de composts aux parcelles situées à proximité de la *kaye*,
• la valorisation agronomique des déjections animales.

L'ensemble des techniques permettant une augmentation de la production (fertilisation organique et minérale, utilisation d'espèces plus productives, etc.) se traduit par une végétation couvrant mieux le sol et une masse plus importante de résidus de récoltes. Ces résidus contribuent à la protection du sol et à l'amélioration de la fertilité. Les associations de cultures permettent souvent une meilleure couverture du sol, sur un temps plus long (cultures en relais). Elles contribuent ainsi à protéger le sol contre l'agressivité des pluies.

L'aménagement en terrasses de certaines zones et les mesures agronomiques qui l'accompagnent doivent se traduire par une amélioration de la productivité agricole et un accroissement des revenus des paysans.

AMENAGEMENT DES PETITES ET MOYENNES RAVINES

LES DIFFÉRENTS TYPES DE RAVINES

Les ravines sont des entailles importantes, d'une profondeur d'au moins plusieurs dizaines de centimètres. Elles ne peuvent pas être effacées par les façons culturales et se situent en règle générale dans des *creux topographiques* (vallon, talweg...).

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux petites et moyennes ravines, c'est-à-dire à celles dont le ravinement peut être contrôlé par la plantation de végétaux. Il convient de savoir les distinguer sur le terrain des grosses ravines qui nécessitent des ouvrages en dur (gabion, maçonnerie). Les principaux critères de distinction sont la longueur et l'aspect du lit et des berges.

Les petites et moyennes ravines sont en général longues de quelques centaines de mètres, exceptionnellement plusieurs kilomètres. Les alluvions qui encombrent leurs lits sont fines et la végétation ligneuse colonise encore certains tronçons.

Les grosses ravines sont longues de quelques kilomètres, généralement encombrées d'alluvions grossières et peu colonisées par la végétation.

COMMENT SE CRÉE UNE RAVINE ?

Le développement de l'érosion en ravine sur un versant se fait habituellement en deux phases.

• **Dans une première phase**, la mise en culture des versants épargne les dépressions (talwegs, bas-fonds) où la végétation ligneuse subsiste. Il s'agit soit d'une végétation naturelle préservée, soit d'arbres plantés pour profiter de l'humidité de ces endroits. Cette végétation pérenne joue un rôle important dans les talwegs où se concentre l'eau de ruissellement des versants cultivés. Elle réduit la brutalité des crues, retient une partie de la terre provenant de l'érosion des versants et empêche le creusement des ravines.

• **Dans une seconde phase**, devant la rareté des terres cultivables, les paysans mettent en culture les talwegs. La végétation arborée est donc supprimée, ce qui fragilise ces bas-fonds et favorise le ravinement. Ce ruissellement est accentué par la poursuite de la mise en culture des versants. L'équilibre antérieur est rompu.

Le ravinement se développe alors rapidement, surtout lorsque le substrat est meuble (plusieurs mètres en quelques années).
L'érosion régressive intervient ensuite en grignotant régulièrement sur les versants (élargissement de la ravine).
Dès que la ravine a commencé à se creuser, il faut restaurer l'équilibre par la mise en place d'aménagements.

LES TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES RAVINES

L'outil de base de ces aménagements est le *seuil* placé en travers de la ravine et constitué de matériel végétal vivant. Cette technique s'inspire des haies vives utilisées par les paysans pour clôturer les parcelles cultivées et les protéger contre le bétail. Il convient de l'adapter aux problèmes spécifiques du traitement des ravines.

Les aménagements ont deux objectifs principaux :
• améliorer la productivité agricole par la mise en valeur des *atterrissements* derrière chaque seuil. Au fur et à mesure que la terre s'accumule en amont du seuil, on peut y planter des arbres fruitiers (arbre à pain, manguier, cocotier, bananier, etc.) et des espèces vivrières exigeantes en eau (*«mazombelles»*, *«malangas»*),
• protéger les secteurs situés en aval de la zone aménagée en régularisant l'écoulement de l'eau et en réduisant la quantité de sédiments transportés.

Quel matériel végétal utiliser ?

La construction d'un seuil fait appel à divers types de matériel végétal :
• boutures d'espèces ligneuses,
• graminées et sisal pour mieux freiner l'eau et protéger l'aval de l'ouvrage contre l'affouillement.

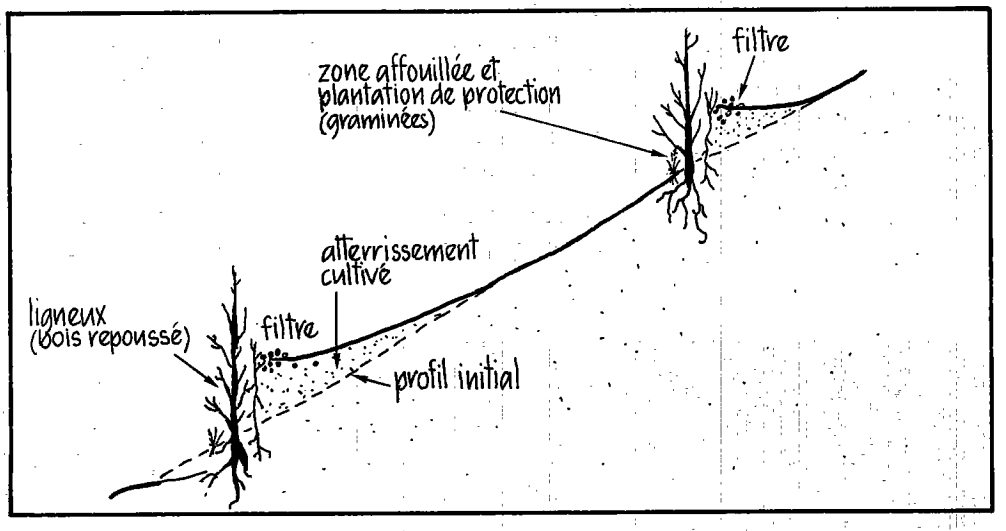


Figure 182 : profil en long de petite ravine : correction par seuils biologiques.

Parmi les *bois repousse* utilisés pour la construction des clôtures, il convient de sélectionner les espèces les mieux adaptées au traitement des ravines : vitesse de croissance élevée et résistance aux chocs, à l'écorçage, à l'affouillement et à la submersion.

Voici une liste d'espèces végétales intéressantes, mais il convient de l'élargir et de l'adapter à chaque région :
• Candélabre (*Euphorbia lactea*), Pite ou sisal (*Agave rigida*),
• Pingouin (*Bromelia pingouin*), Gommier (*Bursera simaruba*),
• Benzoliv (*Moringa oleifera*), Lilas étranger (*Gliricidia sepium*),
• Joyeuse (*Yucca aloifolia*), Bambou (*Bambusa vulgaris*),

• Goyavier (*Psidium guajava*), Paresseux (*Polyscias pinnata*),
• Médicinier (*Jatropha curcas*), Casse (*Cassia emarginata*),
• Graine de lin (*Leucaena leucocephala*).

Les boutures de *«bois repousse»* utilisées par les paysans pour les clôtures sont en général de grande longueur (de l'ordre de 1,50 à 2,00 m), ce qui assure une protection immédiate de la parcelle contre le bétail.

Des boutures plus petites conviennent mieux au traitement des ravines : 1,20 à 1,50 m dont 0,50 m seront enterrés. La récolte des boutures se trouve ainsi facilitée et les conditions de reprise sont probablement meilleures.

Après l'installation de la haie vive en travers du lit, il est nécessaire de réaliser un filtre au moyen de branchages s'appuyant sur les plants installés. Le rôle de ce filtre est de favoriser le dépôt des sédiments transportés par l'eau. Il doit être régulièrement rehaussé au fur et à mesure de l'atterrissement et de la croissance des végétaux.

Installation des seuils biologiques

Lorsque les conditions sont favorables, les boutures peuvent être plantées directement en travers du lit, en une ou deux rangées à faible écartement (environ 0,30 m entre les boutures).

Mais, dans certains cas, le lit actif de la ravine est une zone où la végétation est difficile à installer :
• soit parce que la terre fine est souvent emportée par les crues et que la roche apparaît,
• soit parce que la hauteur d'eau, plus forte à cet endroit lors des crues, arrache les plants installés.

Lorsque ces conditions défavorables jouent, on utilise différentes techniques pour installer la végétation :
• construction de clayonnages en appui sur la végétation préalablement installée sur les deux berges,
• construction d'un petit seuil en pierres sèches qui, par son atterrissement, crée un milieu favorable à l'installation des plants. Il a aussi pour effet d'étaler la nappe d'eau lors des crues et permet à la végétation de résister à l'arrachage,
• lorsque les pierres sont rares, elles peuvent être remplacées par des sacs remplis de terre et recouverts d'une petite couche de terre (méthode utilisée à Aquin).

Ces seuils en pierres ou en sacs de terre ont un rôle provisoire, la végétation du seuil biologique prend ensuite le relais pour maîtriser le ravinement.





Aménagement de petites et moyennes ravines à l'aide de fascines en bois. Grison-Garde (à gauche), Dondon (à droite) (photos D. Mermet).

L'entretien des seuils est indispensable

Une fois construits, les seuils biologiques nécessitent un entretien régulier :
• plantation de nouvelles boutures aux points faibles et réfection du filtre en résidus végétaux,
• installation d'une végétation le long des berges pour éviter le contournement du seuil par l'eau (complétée éventuellement par un filtre),
• protection du seuil contre l'affouillement. Cela consiste à limiter sa hauteur et à installer à son pied (en aval) certaines espèces : agaves, espèces fourragères à fort développement.

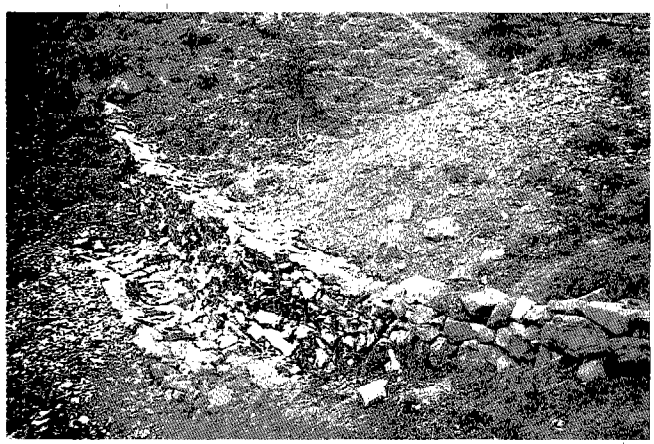
Cet entretien ne pourra être assuré par les paysans que dans les situations où l'impact des seuils sur la productivité agricole est suffisant, c'est-à-dire lorsque les zones d'accumulation ainsi créées sont mises en valeur et productives.

Localisation des seuils

L'espacement entre les seuils de correction d'une petite ravine n'a pas besoin d'être calculé comme dans le cas d'une grosse ravine à fonctionnement torrentiel. Lorsqu'un seuil est détruit, l'érosion régressive progresse moins vite vers l'amont dans ces petites ravines car l'épaisseur des alluvions est faible et la végétation joue un rôle protecteur efficace. Il n'existe donc pas de règle technique stricte déterminant la localisation des premiers seuils à réaliser.

En général, il est préférable de démarrer le traitement d'une ravine par les secteurs où les paysans y sont le plus intéressés et où les chances de réussite sont importantes. Ainsi, on pourra privilégier :
• les terrains où la sécurité de la tenure foncière est bonne et où les propriétaires riverains sont disposés à collaborer entre-eux,
• les tronçons de ravine où la mise en valeur agricole sera plus aisée : zones permettant un atterrissement important, proximité des villages, accessibilité facilitant la surveillance et l'écoulement des récoltes,
• les tronçons amont, où les chances de réussite sont supérieures car l'écoulement y est moins agressif. Une fois ces secteurs aménagés, le traitement de l'aval sera plus facile.



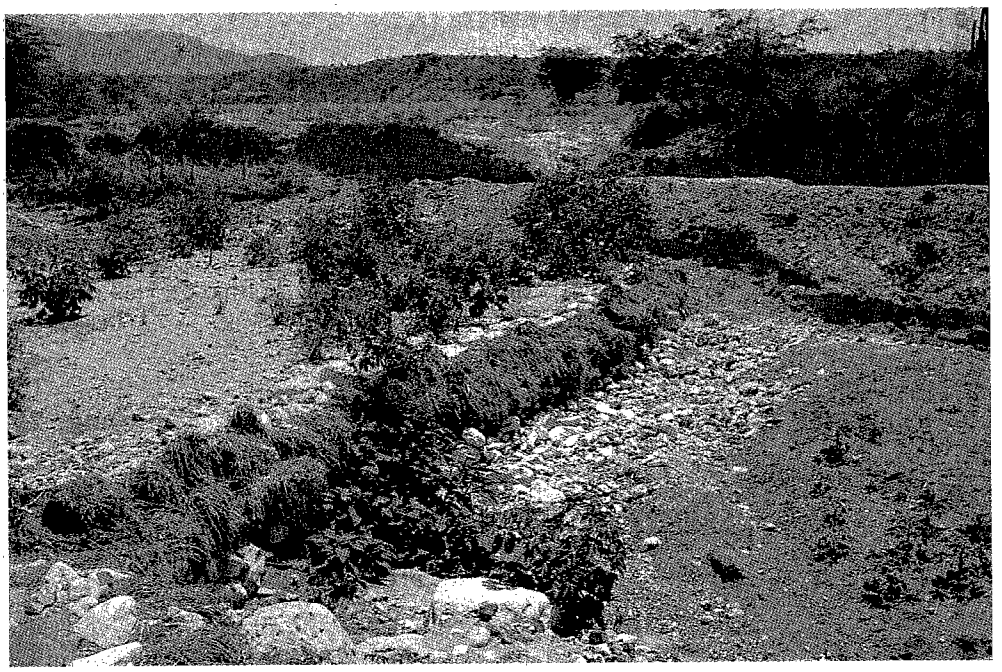


Aménagement de ravines à l'aide de murets en pierres sèches. Cap Rouge (à gauche), Calmettes (à droite) (photos D. Mermet).



Seuil en sacs remplis et recouverts de terre avant plantation du matériel végétal (aménagement de ravines à la Plaine d'Aquin, 1987) (photo M. Bonnefoy).

En haut : aménagements réalisés par les paysans dans une grande ravine de la plaine de Larbre (1988).
En bas : aménagement d'une grosse ravine par des seuils en gabion, plaine de Larbre (1988) (photos M. Bonnefoy).





La fertilisation organique

Nous avons vu dans l'exemple du plateau des Rochelois en début de chapitre que les techniques mises en oeuvre par les paysans pour gérer la fertilité organique de leurs parcelles sont très diverses.

Les systèmes de culture ont tous pour effet d'accroître, d'abaisser ou bien de maintenir les taux de matière organique des sols. L'utilisation d'outils tels que les bilans humiques et les analyses de sol, malgré leur imprécision, permet d'apprécier la reproduction de la fertilité d'une parcelle soumise à un système de culture donné. Un tel diagnostic est nécessaire pour pouvoir ensuite proposer des techniques de fertilisation adaptées aux situations.

Dans quelles situations les bilans humiques sont-ils négatifs, ou les teneurs en humus insuffisantes ?
Globalement, nous pouvons distinguer trois grands types de situations : les hauts plateaux calcaires, les versants des mornes, les plaines alluviales et les bas-fonds.

• **Sur les hauts plateaux calcaires,** les bilans humiques des parcelles éloignées des habitations sont très souvent négatifs car celles-ci ne reçoivent aucun apport et les jachères y sont de plus en plus courtes. Les sols ferralitiques de ces zones sont particulièrement pauvres et fragiles car ils sont soumis à un lessivage des éléments fertilisants et une minéralisation rapide de la matière organique. Le maintien d'un taux élevé d'humus dans ces sols nécessite des apports réguliers et importants de matières organiques. Il apparaît que les quantités disponibles actuellement (en rapport avec la biomasse produite) sont insuffisantes pour maintenir des teneurs en humus correctes dans l'ensemble des parcelles de ces zones.

• **Dans les sols des versants des mornes,** l'érosion participe à la baisse des teneurs en matière organique des sols. A l'origine, les sols formés sur basalte ou calcaire marneux sont riches en argile et en matière organique («terre noire»). C'est encore le cas de certaines parcelles non soumises à l'érosion car protégées par une végétation arborée (*«lakou - fonds frais»*) et située dans les endroits les moins pentus. Mais dans de très nombreuses situations, l'horizon organique a disparu, emporté par les eaux de ruissellement. La fertilisation organique nécessaire pour améliorer la fertilité de ces sols ne peut être efficace que si des aménagements anti-érosifs sont préalablement construits.

• **Les sols des plaines alluviales et des bas-fonds** sont en général bien pourvus en matière organique mais leur évolution est mal connue. Ils sont par endroits soumis à des phénomènes d'érosion ou de colluvionnement qui modifient très rapidement leur statut organique. Généralement riches en argile, il est nécessaire de maintenir dans ces sols une teneur élevée en matière organique pour avoir une bonne structure. Dans les sols alluviaux du périmètre irrigué de Grison-Garde (plaine du Nord) les teneurs en matière organique sont souvent supérieures à 3%. Ces teneurs ne sont pas excessives étant donné la richesse en argile (25 à 30%) et doivent être au minimum maintenues. Des apports fréquents de résidus riches en lignine (C/N élevé) sont fortement conseillés mais leur date d'apport est à raisonner en fonction des besoins en azote des cultures.

Dans les sols acides, les apports de calcium et de magnésium (amendements calci-magnésiens) ont des effets sur la fertilité physique équivalents à ceux produits par la matière organique : ils améliorent la stabilité structurale des sols riches en éléments fins.

Dans les sols calcaires, l'humus se minéralise plus lentement, ce qui favorise le maintien de teneurs assez élevées : 2,5 à 4% dans l'horizon supérieur des sols de la plaine des Gonaïves et de la plaine de Larbre. Mais des apports importants et réguliers de matières organiques fraîches sont nécessaires pour rendre disponibles aux plantes les éléments minéraux présents sous formes inassimilables dans ces sols.

Le problème souvent rencontré par les paysans **dans les plaines sèches** est la trop lente décomposition des résidus de récoltes riches en lignine (tiges de maïs et de sorgho). Au moment de la mise en culture, le moyen le plus rapide et le plus facile de s'en débarrasser est le brûlis. L'impact de cette pratique sur l'évolution du stock d'humus du sol n'est pas vraiment connu. Le brûlis de ces pailles apporte des éléments minéraux rapidement disponibles pour les plantes, en particulier du potassium dont ces sols sont souvent déficients. Notons que dans ces zones, la préparation des terres consiste en général en un *grattage* du sol sur 3 à 5 cm. Cette intervention limite la minéralisation de l'humus qui serait plus importante s'il y avait un réel travail du sol. Lors de l'introduction de la culture attelée, son impact sur la teneur en matière organique des sols à moyen terme doit être étudié. Cette technique a, par contre, l'avantage de permettre l'enfouissement des résidus de récoltes. Le facteur limitant le plus les rendements dans ces zones est la faible pluviométrie, mais la richesse en matière organique joue aussi sur la capacité de rétention en eau du sol.

• **Dans les plaines humides**, soumises plus ou moins régulièrement aux inondations, le problème est aussi la difficile évolution des matières organiques. Dans ce cas, c'est l'oxygène qui manque à cause de l'excès d'eau. Ce phénomène joue autant sur les matières organiques fraîches que sur l'humus. La décomposition des résidus végétaux dans de telles conditions entraîne la production de substances toxiques pour les plantes dans le sol. En général, lors de la préparation des terres, les paysans mettent les résidus de cultures et les adventices en gros tas de manière à favoriser la décomposition. Le travail profond du sol à la houe et la constitution de buttes ou billons permet l'aération d'un certain volume de terre pendant les périodes d'inondations.

DEUX EXEMPLES DE GESTION DE LA FERTILITE ORGANIQUE

JACMEL : FUMIER ET JACHÈRES

Dans la région de Jacmel (Sud d'Haïti), les paysans pratiquent un grand nombre d'associations de cultures différentes. Les espèces qui prédominent dans toutes les zones sont le **maïs** et le **haricot**. Elles sont associées à un grand nombre d'autres espèces : ignames, patates douces, manioc, bananier, sorgho, *pois congo*.
Les trois grandes périodes de mise en culture correspondent à celles des plantations de haricot : mars, juillet et octobre. La saison de mars (ou saison de printemps) est la plus importante car elle correspond à l'arrivée des premières pluies.

Choix des espèces cultivées

Le choix des espèces cultivées dans les associations s'explique par plusieurs facteurs dont certains sont relatifs à la fertilité des sols.

• **Le type de jardin**, sa distance par rapport à la «*kaye*» :
. sur les jardins proches des maisons («*lakous*») sont cultivées les espèces les plus exigeantes en éléments fertilisants et en eau : maïs, haricots, ignames, bananiers. Ces parcelles sont les plus fertiles, elles reçoivent en priorité les apports organiques,

. sur les autres jardins, plus érodés et moins fertilisés, on rencontre surtout le manioc, le sorgho, la patate douce et le *pois congo* qui sont moins exigeants.

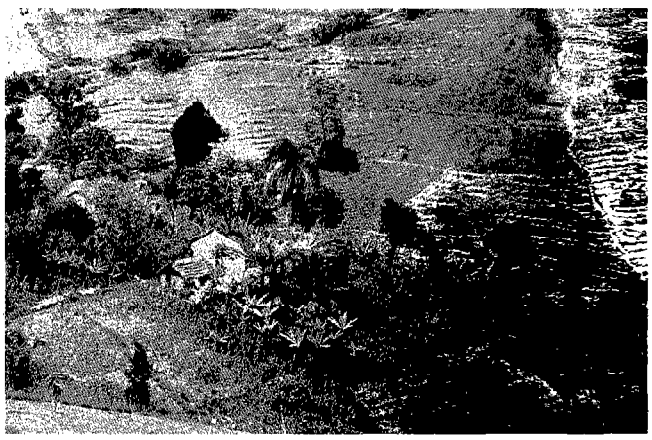
Jardin d'igname à Jacmel (photo M. Bonnefoy).



• **Le type de sol :**
. les sols relativement épais et bien pourvus en matière organique peuvent recevoir n'importe quelle culture. Les types d'association sont alors déterminés par des critères économiques (Zones de Bouchereau, Tuff, Delille),
. sur les sols de pente érodés comme à Lavial, on cultive surtout le manioc, la patate douce et le pois congo,
. la culture de l'igname se rencontre surtout dans les zones à *terres noires*, terme caractérisant les vertisols et les sols bruns, riches en humus et profonds.

• **Les autres facteurs déterminants** sont d'ordre socio-économique : besoins de la famille, coûts des semences, nombre de jardins, mode de faire-valoir, prix du marché...

A gauche : exploitations agricoles dans les mornes à Jacmel (1988) (photo D. Mermet).
A droite : préparation de buttes avec enfouissement de matière organique à Jacmel (photo M. Bonnefoy).





Fertilisation et constitution du «fumier»

La grande majorité des paysans n'utilise pas d'engrais minéraux mais par contre tous se servent de «fumier»*. Le fumier est constitué de tous les résidus des récoltes : tiges de vetiver, mauvaises herbes arrachées des jardins... associés à des déjections animales.

Il peut être directement constitué sur place : l'agriculteur met en culture une partie de sa parcelle et laisse l'autre pour la pâture des animaux. Le sol s'enrichit grâce aux déjections animales et aux résidus végétaux. L'éleveur apporte aux animaux des fourrages qu'il cultive, souvent sur les bandes de végétation anti-érosives (herbe de Guinée).

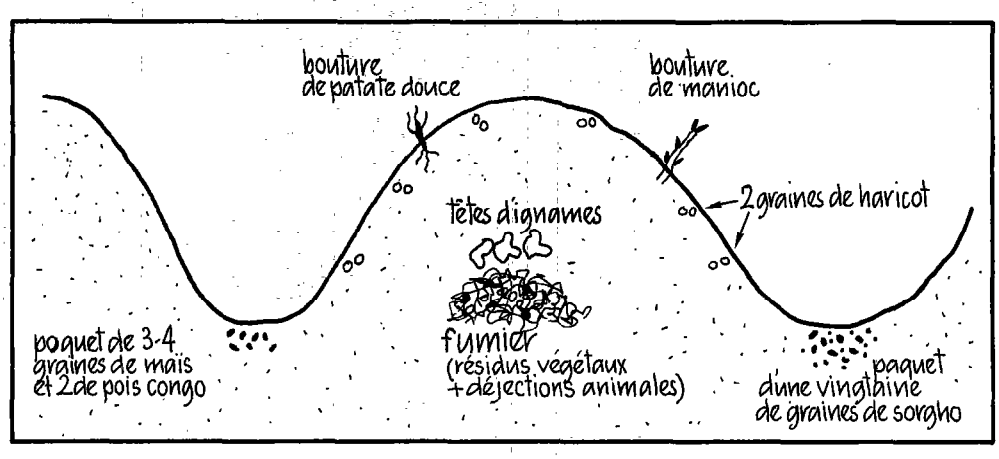
L'agriculteur peut aussi transporter du fumier sur ses autres jardins, deux mois

* L'appellation «fumier» est donnée par les paysans de cette région à toute matière végétale ou animale plus ou moins décomposée.

avant les semis. Certains paysans en mettent une poignée sur chaque poquet de maïs après le semis.
Suite à l'application du fumier, la parcelle est débarrassée des adventices par un sarclage réalisé à la houe environ un mois avant le semis.

Après une jachère, le sol est compacté par le piétinement des animaux, il est donc nécessaire de le «piquer». Le piquage consiste en un travail du sol avec une pioche à une profondeur de 15 à 25 cm. Cette opération permet un certain enfouissement du «fumier».
Lorsque l'association comprend des tubercules, le paysan confectionne des buttes où il concentre la matière organique.

Figure 183 : concentration de la matière organique dans les buttes d'ignames, région de Jacmel.



Les différents types de «jachères»

En général, les parcelles sont pâturées par les animaux durant la saison sèche, c'est-à-dire de novembre à février, le reste du temps elles sont en culture. Lorsqu'une parcelle est laissée sans culture à une autre période de l'année, on considère qu'elle est en jachère.

La durée d'une jachère varie de trois mois à deux ans selon le type de jardin et la disponibilité en terres du paysan :
• les moins bonnes terres et les plus éloignées des habitations sont laissées en jachère un an ou deux après une à deux années de culture,
• pour les autres terres, la jachère ne dure en général que deux à trois mois, le temps de fertiliser la parcelle en y laissant les animaux auxquels on apporte du fourrage.

Dans le premier cas, la jachère correspond à une simple mise en repos de la terre. Dans le deuxième cas, la jachère est une réelle technique de fertilisation avec apports de quantités plus ou moins importantes de matières organiques et d'éléments fertilisants.

Les durées et fréquences des jachères varient d'une zone à l'autre. A Ternier, où la pression foncière est forte, les paysans pratiquent des jachères très courtes pour fertiliser les parcelles avec les animaux. A Lavial ou Bellande, les surfaces par exploitation sont plus élevées mais les terres beaucoup plus dégradées. C'est dans ces zones que l'on pratique les plus longues jachères. Dans certains cas, les terres ne sont pas mises en culture car elles ne produisent plus rien, la jachère est alors obligatoire. La simple mise en repos d'une terre épuisée durant deux ou trois années ne permet pas la reconstitution de sa fertilité initiale (voir p. 356).

D'après les résultats d'une enquête, un paysan sur deux a pratiqué la jachère dans la région de Jacmel en 1982. Cette enquête révélait aussi que l'ensemble des agriculteurs considéraient la faible fertilité des sols et l'érosion comme leurs principaux problèmes.

MORNES DE BASSE ALTITUDE : PAS DE JACHÈRE MAIS DES BRÛLIS*

*Petite Rivière de Nippes Sud Haïti.

Ces systèmes de culture ont déjà été décrits dans le chapitre 8.

Dans cette région, la faiblesse et l'irrégularité des pluies sont les principales contraintes. La moyenne des précipitations annuelles est de 1250 mm alors que l'évapotranspiration est de 1650 mm par an.

Les principaux sols rencontrées sont des rendzines, des vertisols et des sols fersiallitiques. Ils sont pour la plupart bien pourvus en matière organique et sont tous saturés en bases échangeables. Leurs teneurs en argile élevées leur confèrent de fortes capacités d'échange cationique. Ils sont en revanche assez pauvres en potassium et en phosphore assimilable (voir chapitre 3).

Les caractéristiques de ces terrains qui influencent le plus les systèmes de culture et les rendements sont la profondeur du sol qui détermine sa *réserve utile* et sa situation topographique qui détermine l'importance de l'infiltration.

L'absence de jachère dans les rotations

L'association de cultures largement dominante est constituée de maïs, de sorgho et de *pois congo*. A ces espèces principales peuvent être associées des espèces secondaires (densités plus faibles) telles que l'arachide, le manioc, le vigna (*pois connu*). Cette association occupe la parcelle presque toute l'année, c'est-à-dire d'avril à février.

Les parcelles sont, en général, cultivées tous les ans. Les jachères sont rares, elles n'interviennent dans les successions de cultures qu'à un rythme très espacé et irrégulier.
Lorsqu'une parcelle n'est pas mise en culture, l'exploitant évoque des raisons économiques : manque de semences, héritage de nouvelles terres, disponibilité en travail insuffisante. Jamais ne sont invoquées des raisons liées au maintien de la fertilité du sol.

La jachère est très peu pratiquée et aucun engrais minéral n'est utilisé. L'évolution de la fertilité du sol ne dépend donc que du fonctionnement des associations mises en place et de l'évolution pédologique.

De faibles restitutions organiques

Durant une année de culture, sont exportés des jardins :

• les produits récoltés :
- épis de maïs et de sorgho,
- gousses de légumineuses,
- tubercules de manioc et patate douce,

• suivant les besoins des animaux :
- une partie des adventives lors du sarclage,
- les pieds de maïs et de sorgho jugés non productifs à la floraison peuvent servir de fourrage.

• les tiges de *pois congo* pour la cuisine.

En février, les récoltes terminées, les agriculteurs font pâturer leurs parcelles par le bétail qui valorise ainsi les résidus de culture (essentiellement les pailles de sorgho). Cette période est très courte car dès les premières pluies, en mars-avril, commencent les préparations des terres.

Rôle de la préparation du sol

La préparation du sol a pour objectif de débarasser la parcelle des adventices et résidus de cultures, de préparer un lit de semences et de **restituer** au sol les éléments minéraux immobilisés dans la matière végétale résiduelle.

L'agriculteur procède simultanément à un *«déchoukaj»* du sorgho et à un sarclage à la houe et au *«couteau digo»*.
La matière végétale résiduelle est très ligneuse : tiges de *pois congo*, tiges de manioc, chaumes de sorgho, adventices refusées par le bétail. Lorsqu'elle est présente en quantité importante (plus de 0,5 t/ha), elle est brûlée après mise en tas et sèchage. Si sa répartition est continue, le feu est répandu sur toute la parcelle.

La quantité de matière sèche brûlée dépend essentiellement du développement végétatif des cultures précédentes. Elle varie de 0,5 à 3 t/ha de matière sèche pour le maïs-sorgho et jusqu'à 7 t/ha pour le manioc.

Les restitutions minérales sont relativement importantes puisqu'une grande partie de la masse végétale produite est brûlée. En effet, étant donnés les variétés utilisées et l'alimentation hydrique souvent déficiente, les efficiences sont faibles (rapports grain/paille faibles). En particulier pour le sorgho et le *pois congo* dont les périodes de formation des graines coïncident avec une période sèche. Pour le sorgho, 90 % du potassium prélevé est contenu dans l'appareil végétatif, donc restitué en grande partie lors du brûlis.

Les restitutions organiques sont très faibles, mais d'après les analyses, les teneurs en matière organique de ces sols sont élevées. La pratique du brûlis dans ces conditions (climat sec, sols argileux) serait donc justifiée. Il serait malgré tout nécessaire de connaître l'évolution à moyen terme de ces teneurs pour porter un jugement sur l'effet de ces systèmes de cultures sur la fertilité organique des sols.

Le *pois congo* joue un rôle important dans l'association pour la reproduction de la fertilité. Cette légumineuse de type arbustif possède une racine pivotante qui perce les horizons massifs profonds et améliore ainsi l'état physique du sol. Son système racinaire profond permet une remontée des éléments minéraux des couches du sol non exploitées par les autres espèces. D'autre part, grâce à ses nodosités, le *pois congo* laisse aux graminées la plus grande partie de l'azote minéral disponible. Le rôle joué par cette espèce est bien perçu par le paysan qui en ajuste les densités selon le degré de fertilité de sa parcelle. Il peut être absent dans les sols les plus fertiles et atteindre des densités très élevées dans les sols les moins pourvus.

Les rendements obtenus sont souvent très faibles et parfois nuls, en particulier sur les sols de pente peu profonds où les réserves en eau sont réduites. Ils sont aussi faibles dans les cuvettes où l'eau stagne et crée des situations d'anoxie (manque d'oxygène). Dans tous les cas, ils sont extrêmement liés à la pluviométrie, donc très variables d'une année à l'autre.

DEUX SITUATIONS CONTRASTÉES

Les deux situations qui viennent d'être décrites sont très différentes.

• **Dans les mornes de la région de Jacmel**, les contraintes principales sont la faible fertilité des sols et l'érosion. Les agriculteurs ont donc mis en place des systèmes de culture basées sur la gestion des résidus organiques et les jachères. L'animal a un rôle déterminant dans le maintien de la fertilité.

• **Dans les mornes de basse altitude à Petite Rivière de Nippes**, les sols sont plus fertiles mais l'eau manque. Les sols sont très argileux et difficiles à travailler. Les agriculteurs ont mis en place des systèmes de culture visant à utiliser au mieux les pluies. Le brûlis permet une rapide préparation des terres et la libération d'une grande quantité d'éléments minéraux disponibles en début de culture. De plus, la présence des résidus de récolte sur le sol jusqu'au semis gêne la repousse des adventices. Ces résidus importants et très ligneux se décomposeraient très lentement et gêneraient la mise en culture s'ils n'étaient pas brûlés. La richesse de ces sols en matière organique et bases échangeables, les importantes restitutions minérales permettent une culture quasi-permanente. La jachère est donc accidentelle.

LES EFFETS DES TECHNIQUES DE FERTILISATION ORGANIQUE ET LEURS DIFFICULTES D'UTILISATION

La fertilisation organique a pour objectifs le maintien d'un stock de matière organique suffisant dans le sol (pour ses propriétés physiques, chimiques et biologiques) et la fourniture d'éléments minéraux aux cultures : éléments majeurs, mais aussi oligo-éléments et en particulier ceux qui ne sont pas apportés par les engrais minéraux.

Dans la plupart des situations en Haïti, les pertes de matière organique sont importantes, en particulier sous culture annuelle et sur pente. Il est possible de limiter ces pertes grâce à une bonne gestion du couvert végétal et l'utilisation de techniques anti-érosives.

L'épandage d'engrais minéraux peut assurer en partie l'alimentation minérale des plantes, mais il ne permet pas d'améliorer les propriétés des sols liées à la matière organique, sauf dans le cas d'amendements calciques (chaulage) qui améliorent la structure et élève le pH des sols acides.

Certaines techniques favorisent la minéralisation de la matière organique du sol et contribuent ainsi à la diminution de son taux d'humus. L'augmentation de la profondeur de travail du sol provoque une dilution de la matière organique dans un plus grand volume de terre et, dans certains cas, active la minéralisation. L'irrigation, le drainage, la fertilisation azotée ont aussi pour effet de créer des conditions plus favorables à la minéralisation. Ces techniques permettent une augmentation de production qui se traduit souvent par une augmentation des restitutions (si les résidus de récolte ne sont pas exportés). Dans tous les cas, l'emploi de nouvelles techniques modifient les termes des bilans humiques et il convient de s'assurer que les apports organiques sont suffisants pour maintenir un équilibre.

A gauche : parcelle de manioc paillée.
A droite : enfouissement de résidus de cultures à Jacmel (photos M. Bonnefoy).





Nous distinguerons trois types d'apports de matières organiques :

- apports de matières organiques peu évoluées : pailles et autres résidus de culture,
- apports de matières organiques plus ou moins évoluées : fumiers et composts,
- enfouissement d'une jeune jachère, d'engrais vert ou autre couvert végétal.

LA MATIÈRE ORGANIQUE PEU ÉVOLUÉE : PAILLES ET RÉSIDUS DE RÉCOLTES

Le paillage et l'effet «mulch»

Si la paille reste à la surface du sol elle joue le rôle d'un paillage, si elle est enfouie, elle apporte de la matière organique fraîche au sol.

Le paillage protège le sol de l'impact des gouttes de pluies. Il permet ainsi de limiter les pertes de terre et de matière organique par érosion. Il réduit les pertes en eau dues à l'évaporation au niveau du sol. Il limite également l'augmentation de température du sol, ce qui freine la minéralisation de l'humus.
Enfin le paillage gêne la repousse des adventices. Il est d'autant plus efficace qu'il recouvre bien le sol, c'est le cas des pailles de graminées lorsqu'elles sont bien réparties.

Globalement, cette technique a un effet positif sur les rendements des cultures. Par contre, certaines études ont montré qu'elle n'avait pas d'effet sur les propriétés chimiques du sol (teneurs éléments minéraux).
Des essais ont été menés en République Centrafricaine sur l'effet du paillage des caféières où il permet, sur quinze ans, l'obtention des meilleurs rendements.

Le problème principal du paillage est sa «non-rentabilité». Il nécessite de nombreuses journées de travail en récolte, transport et épandage des matériaux. En général, le coût par rapport aux autres activités possibles est supérieur à l'augmentation de rendement obtenu. En revanche, il peut être rentable pour des cultures à marge brute élevée, cultivées sur des surfaces réduites telles certaines cultures maraîchères (tomate par exemple).
Le paillage peut aussi être réalisé avec des branches des arbres clôturant les parcelles, ce qui résoud les problèmes de transport.

L'enfouissement de la paille

La paille de céréales (riz, maïs, sorgho) a un rapport C/N élevé (180 à 150). Lorsqu'elle est enfouie dans le sol, les micro-organismes utilisent pour la décomposer l'azote minéral du sol. Il n'est plus disponible pour les plantes.

Ce phénomène n'a un effet négatif sur les cultures que si les quantités de paille enfouies sont importantes (> 10 t/ha). Dans la réalité, les pailles à la récolte ne représente que 2 à 5 t/ha et des effets dépressifs sur les rendements ont rarement été observés.
Pour éviter cette «faim d'azote», il suffit d'apporter de l'engrais azoté au moment de l'enfouissement. Les micro-organismes n'utiliseront alors pas tout l'azote du sol.

D'après des essais longue durée réalisés en sols ferrallitiques (Madagascar et Côte d'Ivoire), les enfouissements réguliers de pailles et résidus de récoltes ont des effets positifs sur les rendements des cultures et les propriétés du sol :
- augmentation de la teneur en matière organique du sol,
- amélioration de la stabilité structurale et de la perméabilité,
- effets modestes mais positifs sur l'alimentation azotée des cultures,
- effets notables sur la richesse du sol en potassium,
- remontée du pH des sols acides.

Figure 184 : influence des enfouissements de paille (10t/ha/an) et des fumures azotées sur les rendements du maïs en sol ferrallitique désaturé; Ampangabe, Madagascar.

Traitements		Rendements (t/ha de grain)				
Fumure azotée	Enfouissement	1970	1971	1972	1973	1974
0 N	Sans	0,73	1,35	1,28	2,46	1,01
	Avec	0,74	1,78	1,34	3,39	1,96
150 N	Sans	4,71	5,04	3,29	8,73	4,94
	Avec	5,47	5,37	*3,60	9,91	5,37
240 N	Sans	5,39	4,98	3,71	9,91	5,18
	Avec	5,22	5,13	4,67	10,71	6,10

Figure 185 : influence des enfouissements répétés de paille (5t/ha/an) et d'une fumure azotée (N1 : 60 N sur riz et 100 N sur maïs) sur les rendements du riz pluvial et du maïs en zone centrale de Côte d'Ivoire sur sol ferrallitique gravillonnaire.

Traitements		Rendements de grains ou de tubercules (t/ha)											
Azote	Paille	1969 Riz	1970 Maïs	1971 Riz	1972 Maïs	1973 Riz	1974 Maïs	1975 Riz	1976 Maïs	1977 Riz	1978 Maïs	1979 Igname	1980 Maïs
N 0	Sans	1,06	3,1	1,85	3,6	1,06	3,20	1,70	4,68	1,89	4,27	12,1	1,75
	Avec	1,04	2,9	1,86	3,5	1,43	4,00	2,00	5,25	2,24	4,47	16,6	2,65
N 1	Sans	1,07	3,2	2,48	5,8	1,16	4,80	2,00	5,32	2,04	4,63	14,6	3,78
	Avec	0,91	3,5	2,56	5,9	1,42	5,20	2,50	6,22	2,27	4,76	16,5	4,13

Utilisation des résidus de récoltes

A Grison-Garde dans la plaine du Nord, la succession de culture la plus courante est la suivante : manioc-maïs-vigna / jachère pâturée de 6-7 mois / riz pluvial. Après la récolte du riz, épi par épi, les pailles sont pâturées par les animaux.

• La préparation du sol pour la mise en place de l'association manioc-maïs-vigna consiste en la fabrication de buttes de 60 cm de haut. Ce travail, réalisé à la houe, permet l'enfouissement des résidus de la culture du riz et la création de conditions favorables à la croissance des tubercules de manioc.

• Lors de la préparation des terres pour le riz pluvial, les paysans font rarement un houage profond (10-15 cm) mais plutôt un sarclage superficiel (3-5 cm). Les résidus ligneux (tiges de manioc) les bouses et les herbes sèches sont alors mis en tas et brûlés. Leur présence gênerait la levée du riz.

• Dans les zones plus humides, le brûlis est impossible et les résidus de culture ou de jachère sont souvent mis en tas à composter. Dans les rizières irriguées, les résidus sont mis sur les diguettes.





A gauche : dans les rizières inondées, les résidus de cultures sont souvent mis en tas (ou sur les diguettes). A droite : effet sur le riz de l'emplacement d'un ancien tas de compost (Plaine du Nord) (photos M. Bonnefoy).

MATIÈRE ORGANIQUE PLUS OU MOINS ÉVOLUÉE : FUMIERS ET COMPOSTS

Ces deux types d'apports organiques fournissent au sol de l'humus et des éléments minéraux en quantité parfois importante.

Le fumier : des effets multiples

Le fumier est un mélange de déjections animales et de résidus végétaux (litière). Sa production nécessite que les animaux soient affouragés toujours au même endroit et sous abri pour éviter le lessivage des éléments fertilisants. Le transport des fourrages et des résidus végétaux pour la litière, l'abreuvement des animaux, la fabrication du fumier (compostage éventuel), son transport sur les parcelles et et son enfouissement posent de nombreux problèmes. Tous ces travaux nécessitent des outils et beaucoup de travail. De plus, pour que les effets sur les rendements des cultures soient importants, les doses doivent être élevées (20 à 30 t/ha). Or, le nombre des animaux par exploitation en Haïti est très faible (1 ou 2 bovins et quelques caprins). Les fourrages sont constitués essentiellement des résidus de cultures et des jachères, le pâturage est donc plus intéressant pour les agriculteurs.

Les déjections animales lors du pâturage ont un effet positif reconnu sur la fertilité du sol.

A Jacmel, la fabrication du fumier est liée à l'utilisation croissante de fourrages cultivés et récoltés. Au contraire, dans les régions où l'alimentation du bétail est assurée par le parcours de zones non cultivées (*racks*), les possibilités de fabrication de fumier sont extrêmement limitées.

Les effets d'un apport de fumier sur le sol sont multiples :
- augmentation du taux de matière organique et des teneurs en azote et en bases échangeables,
- amélioration durable de la macroporosité et de la stabilité structurale,
- élévation du pH et de la CEC dans les sols acides (ferrallitiques),
- diminution des teneurs en aluminium échangeable dans les sols ferrallitiques.

L'action sur la richesse en éléments minéraux est surtout importante pour le potassium, le magnésium et le calcium. Seule la teneur en phosphore n'est pas améliorée, mais une part plus importante de cet élément se trouve sous forme organique mieux utilisée par les cultures. Ceci est vrai autant pour les sols ferrallitiques que les sols calcaires. Enfin, le fumier améliore l'ensemble des propriétés du sol liées à la matière organique.

Figure 186 : composition de différents fumiers.

Colonnes :
1. Fumiers fermiers de France.
2. Poudrette de parc, région de Manjakandriana, Madagascar.
3. Idem, région d'Ambatolampy, Madagascar.
4. Poudrette de parc et fumier, région de Mahitsy, Madagascar.
5. Fumier fermier, Madagascar.

Teneurs en %	1	2	3	4	5
N	5	4,2	5,3	6,8	6,6
P	3	2,4	2	3	3,8
K	6	3,5	1,9	8,4	7,6
Ca	5	0,6	-	0,8	1,2
Mg	2	8,4	-	7,2	6,4
N/P	1,7	1,7	2,7	2,3	1,7
P/K	0,5	0,6	1	0,3	0,5

Figure 187 : Richesse minérale moyenne de fumiers prélevés dans les régions de Tananarive, Mahitsy, Ambohimandratrino et Bevalala (Madagascar, 1958, 1962, 1965).

*CV : coefficient de variation.

Elément	Teneur en matière sèche (%) moyenne	CV*	Valeurs extrêmes
N	0,68	32,6	0,43 - 0,96
P_2O_5	0,26	37,1	0,16 - 0,38
K_2O	0,59	42,8	0,36 - 0,84
CaO	0,12	61,9	0,06 - 0,23
MgO	1,48	100,9	0,64 - 3,71

En l'absence d'animaux : les composts

Les composts proviennent de la décomposition de divers produits végétaux, et leurs teneurs en éléments minéraux sont extrêmement variables.
Les effets immédiats du compost sur les cultures sont moins spectaculaires que ceux du fumier. De plus, il n'est intéressant qu'à des doses élevées (20 à 30 t/ha), ce qui rend son utilisation difficile.

Dans les exploitations où il y a des animaux, la fabrication de fumier est toujours plus intéressante. Dans les autres, le compost est un bon moyen de transformer de la matière organique fraîche en matière organique humifiée plus facile à enfouir. Il est rentable pour la fertilisation des cultures maraîchères, très rémunératrices

et cultivées sur des surfaces réduites. Une des contraintes principale à sa fabrication dans de nombreuses régions est la nécessité de l'arroser en période sèche (problème de disponibilité en eau).

Dans plusieurs régions d'Haïti, des paysans fabriquent du compost (semi-aérobie) en mettant en tas (ou dans les canaux de contour) les résidus de cultures ou de jachères. La concentration des matières organiques (sous les buttes par exemple) plutôt que leur répartition sur l'ensemble de la parcelle accroissent leur effet.

Figure 188 : influence du compost (10 t de M.S./ha/an) et des doses d'azote sur les rendements du maïs cultivé en premier cycle (mars à juin) à Gagnoa, Côte d'Ivoire.
Fumure annuelle uniforme : 100 P_2O_5, 150 K_2O + 200 kg/ha de dolomie (amendement calci-magnésien). Apport de compost : 170 kg N/ha/an.

Traitements		Rendements du maïs (t/ha de grains)										
Azote	Compost	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0 N	Sans	4,75	6,42	5,60	4,05	3,20	1,52	1,00	2,64	2,11	1,69	2,09
	Avec	4,96	6,30	5,70	5,41	4,04	3,20	4,20	5,59	3,43	4,71	5,28
40 N	Sans	4,70	6,46	5,20	5,10	3,79	3,07	2,50	3,84	3,78	3,82	4,37
	Avec	5,37	7,37	6,10	5,14	4,93	4,91	5,70	5,38	4,54	6,18	6,33
160 N	Sans	5,03	7,38	5,60	4,22	4,43	4,83	5,20	5,21	5,34	5,88	6,10
	Avec	4,17	6,92	5,70	5,99	4,77	6,17	6,30	5,46	5,71	5,90	6,69

DIFFICULTÉS D'UTILISATION

• Un transport pénible

La majorité des agriculteurs ne dispose d'aucun moyen de transport ni de manutention des matériaux (charettes, brouettes, fourches, pelles...). Les parcelles sont souvent très éloignées des habitations et d'accès difficile. Les chemins, lorsqu'ils existent sont étroits et mal entretenus. Les produits récoltés sur les parcelles sont transportés par les membres de la famille sur la tête, ce qui est pénible et demande beaucoup de temps. Seulement quelques exploitants, les plus aisés, possèdent un âne ou un cheval.
Dans ces conditions l'intérêt du transport des matières organiques (fumiers, composts, résidus végétaux...) d'une parcelle à l'autre est extrêmement limité, d'autant plus que la disponibilité en travail est faible.

• Un enfouissement difficile

En général, les résidus de récolte sont utilisés comme fourrage pour les animaux, ce qui réduit considérablement la masse végétale à enfouir, mais les refus sont les parties les plus ligneuses qui se décomposent plus lentement. En revanche les déjections animales se décomposent rapidement.

L'enfouissement est l'une des principales contraintes concernant la fertilisation organique. Que ce soit pour des pailles, des résidus de jachères, du fumier ou du compost, il faut disposer d'une force de traction importante pour enfouir de grandes quantités de matières organiques dans le sol. La culture attelée n'est pratiquée que dans quelques régions et avec des animaux dont la force est limitée (de petite taille et souvent mal soignés).
Lorsqu'un réel travail du sol est réalisé (15 à 20 cm), à la houe ou à la charrue et que les résidus végétaux sont peu importants et peu ligneux, leur enfouissement est possible. Les recrues herbacées des jachères courtes sont généralement enfouies, notament lorsque l'agriculteur confectionne des buttes.

Lorsqu'ils sont ligneux et importants (manioc, sorgho, pois congo), il est impossible pour le paysan de les enfouir, ils sont donc brûlés. Dans les régions à faible pluviométrie, la décomposition des résidus de culture est très lente jusqu'à l'arrivée des pluies. Pour semer le plus tôt possible dès les premières pluies, l'agriculteur doit brûler les résidus de cultures qui recouvrent ses parcelles. Le travail du sol souvent très superficiel (quelques cm) ne permet aucun enfouissement.

LES JACHÈRES ET LES ENGRAIS VERTS

Les jachères

La jachère est l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. Elle se caractérise par sa durée, les techniques culturales qui sont appliquées à la terre et les rôles qu'elle remplit. Les jachères sont des pratiques culturales indissociables de leur contexte : milieu naturel, autres techniques, environnement socio-économique.

• La durée des jachères

En Haïti, les jachères sont le plus souvent «naturelles», c'est à dire que la végétation qui s'y développe est spontanée.
Autrefois, les jachères étaient de longue durée (10 ans minimum) et séparaient deux périodes de cultures n'excédant pas 3 ans.

La défriche était réalisée à la machette, sans travail du sol car la végétation était essentiellement ligneuse et l'horizon de surface présentait une bonne structure grâce à la richesse en matière organique. Actuellement en Haïti, les jachères forestières ont pratiquement disparu sauf dans certaines petites régions reculées dans les mornes.

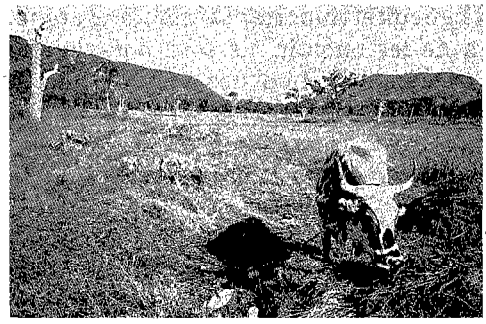
La majorité des jachères pratiquées (lorsqu'elles existent) sont courtes, leur durée varie de quelques mois à deux ou trois ans maximum. Les quantités de matière organique stockée et d'éléments minéraux libérés lors du brûlis dépendent de la masse végétale produite. Celle-ci est d'autant plus réduite que la jachère est courte et le sol peu fertile.

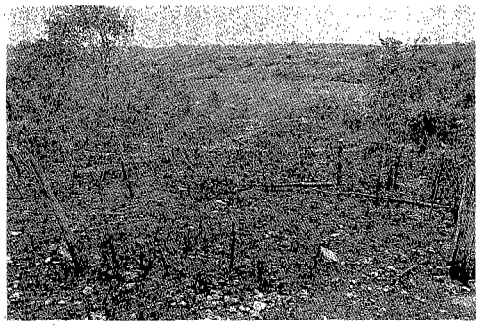
On distingue plusieurs stades successifs dans l'installation de la végétation spontanée d'une jachère :
• au premier stade, se développent des graminées à port rampant,
• au second stade, ce sont des graminées à port érigé, moyennement élevées et à enracinement superficiel,
• le troisième stade correspond au développement de graminées élevées à enracinement profond (herbe de Guinée, herbe à éléphant),
• par la suite s'installe une végétation arbustive.

Ce n'est qu'à partir du troisième stade que la jachère a un rôle efficace d'amélioration de la structure du sol et produit une grande quantité de fourrage. Ce stade est atteint d'autant plus rapidement que le sol est fertile.

Lorsque les jachères raccourcissent, la baisse de fertilité qui en résulte provoque une modification de leur composition floristique. C'est ainsi que sur le plateau des Rochelois (à Moneyron) la jachère est successivement passée, en moins de 50 ans, d'une végétation où dominait l'herbe de Guinée (*Panicum maximum*) à une végation à base de verveine (*Stachytarpheta jamaïcensis*) avant d'aboutir à des gazons rampants de «*Zeb sî*» (*Axonopus compressus*). Une telle évolution a d'importantes conséquences sur le système d'élevage : la production fourragère des jachères décroit et l'herbe de Guinée doit être plantée pour nourrir le bétail. Le surpâturage qui résulte de la réduction des surfaces en jachère accentue encore cette évolution floristique.

Dans certaines situations, le niveau de fertilité de la parcelle est si bas que durant la première année de jachère aucune végétation ne s'installe. Le sol n'est donc plus du tout protégé des phénomènes d'érosion et se dégrade très rapidement.
Lorsque les jachères sont très courtes (quelques mois), aucune végétation suffisante n'a le temps de s'installer. Le pâturage d'animaux, auxquels on apporte régulièrement du fourrage, fournit un apport rapide de matière organique et d'éléments minéraux. Il y a alors transfert d'éléments fertilisants des parcelles où sont prélevés les fourrages vers les jachères pâturées.





A gauche : bovin au piquet dans une jachère en cours de retournement (photo D. Mermet).
A droite : défriche d'une jachère par le feu (photo G. de Laubier).

• Il a été montré au Sénégal qu'il fallait au minimum sept années de jachère pour que des champs épuisés par des cultures successives de mil et d'arachide puissent retrouver leur niveau de fertilité initiale.

• Les systèmes de culture traditionnels itinérants (pratiqués dans différents pays : voir figure 189) étaient basés sur l'alternance de périodes de culture ne dépassant pas deux à trois ans et de jachères dont les durées permettaient la reconstitution d'une forêt secondaire soit de huit à quinze ans ou plus. Ces jachères avaient (ont) pour fonctions essentielles la reconstitution d'un stock important de matière organique, la remontée d'éléments fertilisants des couches profondes et l'accumulation d'éléments minéraux dans les parties aériennes de la végétation, libérés lors du brûlis qui précède la mise en place des cultures. Tant que les jachères restent assez longues la fertilité du milieu est préservée. Cependant, du fait de la croissance démographique dans les pays tropicaux, les jachères tendent à se raccoucir et ne peuvent donc plus remplir les mêmes fonctions.

Figure 189 : Comparaison de quelques systèmes culturaux traditionnels dans la zone forestière intertropicale.

Système cultural Plantes(s) principale(s)	Durée d'occupation du terrain	Durée jachère forestière	Plantes secondaires associées
1. Igname Vanuatu (Mélanésie) P = 1000 à 2000 mm	1 an	10 à 15 ans	Plantain, taro, maïs Canne à sucre, arbres à pain, légumes divers...
2. Taro (pluvial) Vanuatu (Mélanésie) P > 2000 mm	1 an	10 à 15 ans	Plantain, igname, macabo, légumes divers...
3. Manioc (Ethnie Witoto) Est-Colombie (Amazonie) P > 3000 mm	2 ans	4 à 8 ans	Plantain, macabo, igname, taro patate douce, ananas, canne à sucre, haricot, légumes divers...
4. Riz (pluvial) (Ethnie Oubi) Sud-Ouest ivoirien P = 2000 mm	1 an	15-20 ans (minimum 7-8 ans)	Plantain, arachide, igname, canne à sucre, papayer, palmier à huile, haricot, légumes divers...
5. Manioc-Plantain avec arachide, macabo Sud Cameroun P = 1700 à 2500 mm P = pluviométrie	2 ans	6 à 12 ans	Maïs, riz, patate douce, haricot, légumes divers...

• Etudier les jachères

Les jachères ont été très peu étudiées en Haïti, pourtant leur étude est intéressante à plusieurs titres, ne serait-ce que pour savoir comment les remplacer. Les questions qu'il faut se poser :

• quels rôles joue la jachère dans le système de culture ?
• quel est l'intérêt pour le paysan de pratiquer la jachère ?
• par quelles techniques peut-il la remplacer ?

Au niveau agronomique, il s'agit d'abord de vérifier si, dans un milieu et un système de culture donné, les rendements obtenus après une jachère sont supérieurs. Ensuite quelles sont les raisons de cette augmentation de rendement. Elles peuvent être multiples car la jachère modifie toujours plusieurs facteurs : teneurs en azote, en matière organique, état structural, infestation des adventices... De plus, il existe des interactions entre ces facteurs.

Les étapes à suivre pour l'étude d'une jachère peuvent être les suivantes :

1. Caractériser l'évolution de l'état de la parcelle entre la récolte de la dernière culture et la fin de la jachère. Il faut donc analyser les effets de la jachère sur

chaque caractéristique du milieu, sans privilégier ceux dont on pense qu'ils affecteront le plus la culture suivante.

2. Caractériser l'évolution des états de la parcelle à long terme, c'est-à-dire après plusieurs rotations dans lesquelles intervient la jachère. Certains effets de la jachère ne sont pas décelables au bout d'un cycle, ils sont cumulatifs.

3. Porter un jugement sur les rôles réellement joués par ce type de jachère en le comparant avec d'autres systèmes de culture. Analyser les conséquences de cette pratique sur l'élaboration du rendement des cultures suivantes en tenant compte du climat.

4. Enfin, mesurer le degré de reproductibilité du système de culture au sein de l'exploitation face à un environnement socio-économique (la jachère joue souvent un rôle important dans le système d'élevage).

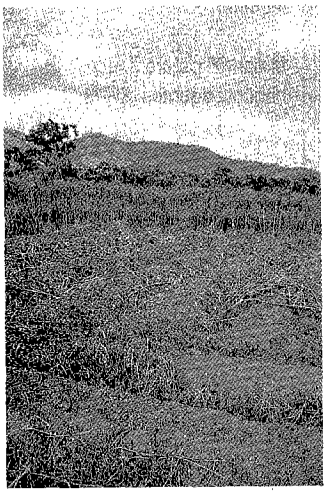
En règle générale, on cherche à comparer des successions avec jachère et des successions sans jachère, leurs effets sur la vie de l'exploitation, le coût des productions et leurs impacts sur le milieu.

• Améliorer les jachères

L'implantation de certaines espèces dans les jachères permet d'accélérer la régénération de la fertilité. De nombreuses expérimentations ont été réalisées en Afrique sur l'utilisation d'espèces «amélioratrices» de jachères sur sols ferrallitiques. Il a été notamment montré que les graminées de type herbe de Guinée ou herbe à éléphant, amélioraient rapidement la structure du sol. Des légumineuses peuvent y être associées pour que les résidus de jachères soient plus riches en azote.

De telles jachères, pour être efficaces, doivent durer au minimum deux à quatre ans selon la fertilité initiale du sol. La dernière année, les résidus de jachère peuvent être brûlés pour fournir des éléments minéraux à la culture suivante. Mais le brûlis ne doit en aucun cas avoir lieu tous les ans.

Résidus d'une culture de manioc après récolte (photo M. Bonnefoy).



Du point de vue des restitutions organiques et minérales, la jachère herbacée n'est jamais équivalente à une jachère forestière. Cependant, elle permet une nette reconstitution de la fertilité des sols dégradés par des cultures continues.

La jachère peut aussi être rentabilisée comme pâture. On y associe alors des graminées améliorant la structure du sol et des plantes à haute valeur fourragère.

La vitesse d'installation de la végétation améliorée d'une jachère dépend de la fertilité du milieu. Si le sol est épuisé, le développement de cette végétation est très lent et l'effet régénérateur de fertilité est retardé. Des fumures organiques ou minérales appliquées sur les cultures précédentes profitent aussi aux espèces végétales de la jachère et accélère le processus de régénération.

Il est possible, pour gagner du temps, de mettre en place les plantes de la jachère avant la récolte de la dernière espèce de l'association. Les plantes arbustives comme le manioc et le *pois congo*, en fin de cycle, laissent passer suffisamment de lumière pour qu'une végétation d'adventices s'installe. Il s'agit de la remplacer par des espèces amélioratrices et fourragères.

Pour intéresser les paysans, la jachère doit réunir plusieurs conditions. Il faut que les espèces soient réellement utilisables par les animaux, qu'elles soient facilement mises en place (disponibilité des semences et boutures) et faciles à remplaçer par les cultures vivrières. La jachère améliorée demande un investissement en travail important pour un surplus de production (animale ou végétale) qui arrive souvent beaucoup plus tard et qui est difficile à évaluer.

Pour qu'il y est un réel intérêt économique à plus ou moins court terme, des améliorations concernant l'élevage sont souvent nécessaires. Dans certaines zones de la région de Jacmel, des paysans cultivent des fourrages (herbe de Guinée) et parfois en vendent une partie. La vente du fourrage permet de rentabiliser immédiatement une jachère améliorée.

Figure 190 : évolution comparée d'une jachère forestière et d'une jachère herbacée en Cuvette Centrale Congolaise .

Type de la jachère	Age (années)	Matière (tonne/ha)	Immobilisation minérale		
			N	P	K
Forestière	2	20	190	22	160
	5	112	570	32	420
	8	153	580	35	670
	18	173	700	108	820
Herbacée	1	29	275	22	305
Pennisetum	2	40	327	22	446
Purpureum	3	31	258	32	215

Les engrais verts

Un engrais vert est une culture enfouie en vert avant maturité, quelques mois après sa mise en place.
Le premier rôle d'un engrais vert est de couvrir rapidement le sol de manière à le protéger contre la battance des pluies et l'érosion due au ruissellement. Les conditions climatiques et de fertilité du sol nécessaires à la croissance de l'espèce choisie doivent être réunies.
L'engrais vert mobilise des éléments minéraux qui sont ainsi protégés du lessivage. Certaines espèces peuvent aussi avoir un effet positif sur la structure du sol.

Après enfouissement, les engrais verts se décomposent rapidement et libèrent dans le sol des éléments minéraux qui sont facilement assimilables par les plantes comme le phosphore. En revanche, ils ne produisent pratiquement pas d'humus. Dans le cas des légumineuses, l'apport d'azote préalablement fixé peut être important. L'apport de matière organique fraîche à rapport C/N faible favorise la minéralisation des résidus végétaux ligneux (pailles).

Pour que l'engrais vert soit efficace, il faut choisir des espèces à système racinaire fasciculé profond et à croissance rapide ou des légumineuses fixatrices d'azote et pratiquer des techniques culturales adaptées (fertilisation par exemple).
L'engrais vert ne procure aucun revenu, ni monétaire, ni en produits pour l'autoconsommation. Mais il représente un coût important en argent, mais surtout en travail. Dans les conditions économiques actuelles, cette technique n'est donc pas rentable pour la majorité des paysans haïtiens.

Figure 191 : quantités d'éléments minéraux contenus dans quelques engrais verts pratiqués à Madagascar (MF : matière fraîche; MS : matière sèche).

Culture	Production engrais vert		Quantité totale d'éléments minéraux restitués (kg/ha)				
	MF (t/ha)	MS (%)	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
Stylosanthes gracilis	30	33	202	29	74	164	103
Chloris guyana	60	25	162	38	396	95	77
Brachiaria ruziziensis	40	22	142	40	268	44	88
Soja fourrager	50	32	400	70	285	225	115
Melinis minutiflora	70	20	210	105	287	49	140
Pois fourrager	70	20	225	42	174	57	42

La plantation d'arbres

Nous ne reviendrons pas ici sur le rôle des arbres dans la gestion de la fertilité organique et minérale. Les paysans les connaissent parfaitement. L'association de cultures vivrières et d'arbres placés est une pratique traditionnelle à améliorer et à développer. On peut favoriser la plantation d'arbres en diffusant des espèces productives (fruits, fourrages). Dans certaines régions la demande est très forte et les besoins sont urgents.

La fertilisation minérale

Rares sont les paysans qui utilisent des engrais minéraux en Haïti. L'alimentation minérale des plantes dépend donc uniquement de l'offre naturelle du sol, des apports de matière organique et pour l'azote, de la présence de légumineuses dans les associations.

La fertilisation minérale doit être considérée comme une technique complémentaire aux techniques de gestion de la fertilité décrites dans les pages précédentes. Le recours aux engrais minéraux peuvent permettre d'obtenir des accroissements de rendement importants mais leur efficacité est très variable et leur coût est élevé. Il convient donc de les utiliser avec prudence.

Les principaux objectifs de la fertilisation minérale sont :
- corriger les carences minérales qui limitent la fertilité potentielle des sols,
- compléter «l'offre» minérale des sols pour satisfaire à la «demande» des cultures, tout en maintenant un milieu équilibré,
- limiter les risques économiques encourus par les paysans qui emploient les engrais minéraux. Pour cela, il est souvent nécessaire de proposer d'autres améliorations techniques.

LES PRINCIPAUX TYPES D'ENGRAIS MINERAUX

Les engrais minéraux sont des substances qui apportent aux plantes, par l'intermédiaire du sol, un ou plusieurs éléments minéraux, jugés en teneurs insuffisantes dans le sol pour nourrir les cultures.

On caractérise un engrais par la nature du ou des éléments qu'il apporte et par sa teneur en cet ou ces éléments. Il s'agit:
- pour l'azote, de la teneur en l'élément pur N,
- pour le phosphore, de la teneur en anhydride phosphorique P_2O_5,
- pour le potassium, de la teneur en oxyde anhydre de potassium K_2O (potasse),
- pour les autres éléments, de la teneur en CaO pour le calcium, en MgO pour le magnésium, en S pour le soufre.

On parle souvent d'**unités fertilisantes** : un apport de 30 unités de phosphore à l'hectare correspond en fait à un apport de 30 kg de P_2O_5 à l'hectare.
Sur les sacs d'engrais, les teneurs sont indiquées en pourcentage: par exemple, 100 kg d'engrais contenant 21% d' N apporte 21 kg ou 21 unités d'azote.

On classe généralement les engrais d'après le nombre d'éléments fertilisants qu'ils apportent :

- les engrais simples n'apportent qu'un seul des éléments majeurs N-P-K,
- les engrais composés en apportent 2 ou 3.

En plus des éléments N-P-K, les engrais simples ou composés apportent souvent d'autres éléments : Ca, Mg, S, Na... et des oligo-éléments.

On classe aussi les engrais selon leur solubilité:

• **Les engrais minéraux solubles** se dissolvent dès leur leur épandage dans la solution du sol. Ils s'y dissocient en ions dont une partie se fixe sur le complexe adsorbant. Ce sont:
. les engrais azotés nitriques, ammoniacaux et uréiques,
. les engrais phosphatés solubles (superphosphates, phosphates d'ammoniaque...),
. les engrais potassiques, surtout sous forme de chlorure et de nitrate,
. les engrais composés contenant les formes précédentes.

• **Les engrais insolubles ou peu solubles** qui ne se dissolvent que peu ou pas dans l'eau. Ils sont attaqués progressivement par l'acidité du sol et surtout l'activité enzymatique des micro-organismes et des racines. Les ions ainsi libérés sont soit assimilés directement par les plantes, soit recombinés sous des formes temporaires, le plus souvent organiques, facilement utilisables au fur et à mesure des besoins des végétaux. Ce sont:
. les phosphates naturels, les scories de déphosphoration, le phosphal,
. les poudres de roches éruptives broyées, particulièrement riches en potasse,
. dans une certaine mesure les engrais potassiques sous forme de sulfate, un peu moins soluble que les chlorures (sulfate de potasse, patentkali).

Lors du choix d'un engrais, on tient compte de sa richesse, de sa solubilité, des ions accompagnateurs et de son prix (ramené au prix de l'unité fertilisante). En Haïti, peu d'engrais sont disponibles et les choix souvent très limités.

LES ENGRAIS SIMPLES

Ces engrais sont classés selon les éléments fertilisants majeurs qu'ils apportent.

Les engrais azotés : tous solubles dans l'eau

• **Les engrais azotés nitriques** ont une action très rapide mais sont rapidement lessivables. Ils libèrent dans la solution du sol des ions NO_3^- non retenus par le complexe adsorbant mais directement assimilables par les plantes. Ils sont appliqués en cours de culture, au moment ou les plantes ont des besoins importants. Les principaux engrais nitriques sont:
. le **nitrate de soude**, qui contient 16 % d'azote, 25 % de sodium et des oligo-éléments (notamment du bore),
. le **nitrate de chaux**, qui contient 15 à 15,5 % d'azote et 25 % de chaux (CaO). Très hygroscopique, il se conserve mal, mais convient en apports tardifs, sur sols secs et en période sèche,
. le **nitrate de chaux et de magnésie**, qui contient 13 à 15 % d'azote et 8 % de magnésium. Il convient aux sols carencés en magnésium.

• **Les engrais azotés ammoniacaux** libèrent dans le sol des ions NH_4^+, retenus par le complexe adsorbant. Les ions NH_4^+ sont peu assimilables par les plantes mais sont rapidement transformés en NO_3^- lorsque les conditions sont favorables à l'activité microbienne. Les principaux engrais ammoniacaux sont:
. le **sulfate d'ammoniaque**, qui contient 20 à 21 % d'azote et 23 % de soufre. Il laisse un résidu acide et convient donc aux sols à pH élevé. Sa richesse en soufre le fait apprécier sur les cultures de crucifères, de légumineuses et de pommes de terre,
. l'**urée** contient 46 % d'azote. Elle est très concentrée, ce qui réduit les frais de transport. Très soluble, elle convient aux fertilisations foliaires et aux irrigations fertilisantes.

• **Les engrais ammoniaco-nitriques** présentent à la fois la rapidité d'action des nitrates et la durée d'action de l'ammoniac:
. les **ammonitrates** sont constitués de nitrate d'ammoniaque fixé sur un support de CaO. L'azote est pour moitié sous forme nitrique et pour moitié sous forme ammoniacale,
. le **nitrate d'ammoniaque** contient 35 % d'azote mi-nitrique, mi-ammoniacal. Il n'est pas utilisé pur mais sert à la fabrication des engrais composés.

Les engrais phosphatés : classés selon leur solubilité

Ces engrais sont obtenus à partir de phosphates naturels que l'on traite par broyage, par voie thermique, ou par voie chimique. Ces traitements thermiques et chimiques ont pour but d'accroître la solubilité du phosphore.

• **Les engrais phosphatés solubles** contiennent du phosphate monocalcique soluble dans l'eau et fournissent directement les ions monovalents $H_2PO_4^-$ assimilable par les plantes. Ils peuvent être utilisés en cours de culture de façon localisée. On distingue:
. le superphosphate normal, qui contient 16 à 22 % de P_2O_5, 12 % de soufre et 28 % de CaO,
. le superphosphate enrichi, qui contient 25 à 36 % de P_2O_5, 6 à 8 % de soufre et peu de CaO,
. le superphosphate triple, qui apporte 44 à 48 % de P_2O_5.

• **Les engrais hyposolubles** sont insolubles dans l'eau, mais solubles dans l'acide citrique ou le citrate d'ammonium. Ce sont:
. le phosphate bicalcique, qui contient 38 à 42 % d'acide phosphorique,
. les scories de déphosphoration, qui contiennent 16 à 20 % de P_2O_5, 45 à 55 % de CaO et 2 à 5 % de MgO,
. le phosphal, qui contient 34 % d'acide phosphorique.

• **Les engrais phosphatés insolubles** sont des phosphates naturels. Ils sont insolubles dans l'eau et le citrate d'ammonium, et sont constitués de phosphates tricalciques, lentement solubilisés par les acides faibles du sol. Pour être efficaces, ils doivent être finement broyés et utilisés en sols acides. Leur action est lente et de longue durée. Ils sont plus efficaces en sols et climats humides, et lorsque l'activité biologique (racines et microbes) est intense. On obtient de bons résultats en les incorporant à des matières organiques en fermentation (fumier, compost, enfouissement avec des engrais verts ou des résidus de culture).

On notera en particulier que les phosphates naturels (peu solubles) sont à proscrire en sols calcaires.

Les engrais potassiques

Ces engrais sont tous solubles dans l'eau. Ils fournissent des cations K^+ retenus par le complexe adsorbant, ce qui ne les empêche pas d'être lessivés lorsque les apports sont importants et le complexe insuffisant.
Ils sont directement assimilables par les plantes qui ont tendance à en faire une consommation de «luxe» lorsqu'elles les trouvent en grande quantité.
Ils proviennent tous du sel brut de potasse, la sylvinite, mélange de chlorure de potassium et de chlorure de sodium.

Ils ne diffèrent entre eux que par l'anion associé au cation K+ et par la présence ou l'absence d'autre sels. On distingue donc :

• les engrais potassiques contenant du **sodium**, comme la **sylvinite**, qui sont à éviter sur les sols battants riches en limons fins et argile,

• les engrais potassiques contenant du **chlore**, comme le **chlorure de potassium**, qui convient à la majorité des sols et des cultures sauf au tabac et aux haricots,

• les engrais potassiques contenant du **soufre**, comme le **sulfate de potasse** et le **patentkali**. Ils sont utilisés sur les cultures qui craignent le chlore ou qui ont des exigences particulières en soufre (crucifères, légumineuses), ou lorsque l'on recherche la qualité des produits.

La **sylvinite** contient 40 % de K_2O et 30 % de NaCl qui disperse l'argile.
Le **chlorure de potassium** contient 60 % de K_2O et 3 % de NaCl.
Le **sulfate de potassium** contient 50 % de K_2O et 18 % de soufre.
Le **patentkali** est un mélange de sulfate de potasse et de sulfate de magnésie, il contient 28 % de K_2O, 18 % de soufre et 8 % de MgO.

LES ENGRAIS COMPOSÉS

Ces engrais apportent deux ou trois éléments fertilisants principaux N,P,K, groupés :
• soit dans un même sel comme le nitrate de potasse ou le phosphate d'ammoniaque par exemple,
• soit dans plusieurs sels, tantôt simplement mélangés, tantôt combinés chimiquement.

Un engrais est appelé binaire lorsqu'il contient deux éléments et ternaire lorsqu'il en contient trois.

On désigne les engrais composés par une formule de trois nombres, représentant dans l'ordre N-P-K, la quantité de chacun de ces éléments contenus dans 100 kg d'engrais.
Par exemple : l'engrais composé 20-10-20 contient :
• 20 % d'azote (N) soit 20 kg ou unités d'N pour 100 kg d'engrais,
• 10 % d'acide phosphorique (P_2O_5) soit 10 kg ou unités de P_2O_5 pour 100 kg d'engrais,
• 20 % de potasse (K_2O) soit 20 kg ou unités de K_2O pour 100 kg d'engrais.

Il existe une grande variété d'engrais composés. Les principaux engrais binaires sont:
• les phosphates d'ammoniaque (N-P),
• le nitrate de potasse (N-K), qui apporte 13 % d'azote et 44 % de potasse. Cet engrais est entièrement soluble dans l'eau et ne laisse aucun résidu acide (Cl^-, SO_4). Il peut être apporté en couverture de manière fractionnée.
• les engrais phosphopotassiques (P-K), utilisés comme fumure de fond.

Les engrais composés ternaires sont souvent appelés engrais «complets». Mais ce terme est équivoque car pour être réellement complet un engrais devrait apporter aussi du Ca, Mg, S et des oligo-éléments. Or, plus un engrais composé est concentré en N-P-K, moins il apporte d'autres éléments.

Certaines formules cherchent à apporter les trois éléments N-P-K dans la proportion convenant le mieux aux exportations d'une culture donnée.

En Haïti, les engrais composés sont les plus utilisés. Cependant, le choix est souvent limité à un très petit nombre d'engrais différents qui conviennent seulement à quelques cultures. Si, en général, on connait la formule de ces engrais en N-P-K, par contre, on connait très rarement leur composition précise, en particulier les ions accompagnateurs.

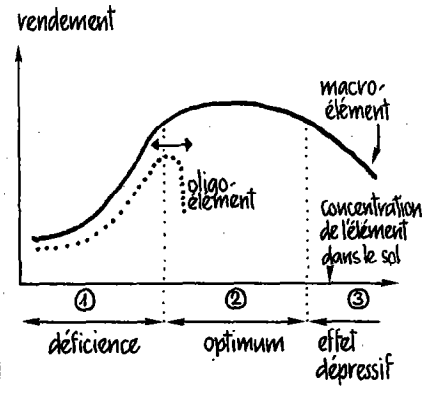
Etant donné la diversité des sols haïtiens et des systèmes de culture pratiqués, une fertilisation minérale rigoureuse nécessite l'utilisation d'une grande variété d'engrais minéraux. Les engrais complets sont pratiques à l'utilisation mais sont souvent inadaptés aux cultures en place, en particulier aux associations de cultures.

LES GRANDS PRINCIPES DE LA FERTILISATION MINÉRALE

LA NOTION DE FACTEUR LIMITANT

Lorsque l'on fait varier la concentration d'un élément minéral dans le sol, les autres facteurs ne variant pas, et que l'on mesure le rendement de la culture, on obtient une courbe de même allure que la courbe suivante.

Figure 192 : évolution du rendement en fonction de la concentration du sol en un élément minéral.



1) Dans la première partie de la courbe, une augmentation de la concentration entraîne une augmentation de rendement. L'élément est considéré comme le facteur limitant le rendement.
2) La courbe tend ensuite vers l'horizontale. L'augmentation de la concentration ne permet plus d'accroître le rendement. L'élément n'est plus le facteur limitant. Un autre facteur de croissance est limitant, ce peut être un autre élément fertilisant mais aussi l'eau ou la lumière.
3) Si on augmente encore la concentration en cet élément, le rendement décroît. Cet efffet dépressif peut être dû soit à une toxicité, soit à un effet secondaire telle que la verse, ou un antagonisme avec un autre élément.
La courbe représentée ici a l'allure de celle que l'on obtiendrait en augmentant la concentration en **azote**. Pour le **potassium** ou le **phosphore**, l'optimum correspond à une plage de concentrations beaucoup plus étendue. Par contre, les oligos-éléments deviennent toxiques très brutalement.

Un facteur de croissance est dit «limitant» lorsque l'augmentation de sa quantité disponible pour les plantes permet une augmentation de croissance ou de rendement. Cette définition concerne tous les facteurs de croissance.
Un facteur est limitant soit parce qu'il se trouve en quantité insuffisante dans le milieu, soit parce qu'une condition défavorable gêne son utilisation : la température, l'état structural du sol, les conditions hydriques, le parasitisme... Ces conditions sont parfois qualifiées elles aussi de «facteurs limitants». Dans la réalité, de faibles rendements sont toujours dûs à plusieurs facteurs limitants.

LES INTERACTIONS ENTRE ÉLÉMENTS OU FACTEURS

Il y a interaction entre deux éléments fertilisants lorsque l'application simultanée de doses de ces deux éléments a pour effet une augmentation de rendement différente de la somme des augmentations de rendement obtenues par des applications séparées des mêmes doses de chacun des deux éléments. Une interaction peut être positive ou négative.

Les résultats d'essais de fertilisation d'une culture de maïs sont les suivants :

- témoin sans engrais : ..... 14 quintaux
- parcelle avec 100 unités de N : ..... 24 quintaux
  (soit 10 qx de plus que le témoin)
- parcelle avec 100 unités de K_2O : ..... 19 quintaux
  (soit 5 qx de plus que le témoin)
- parcelle avec 100 N et 100 K : ..... 32 quintaux
  (soit 18 qx de plus que le témoin)

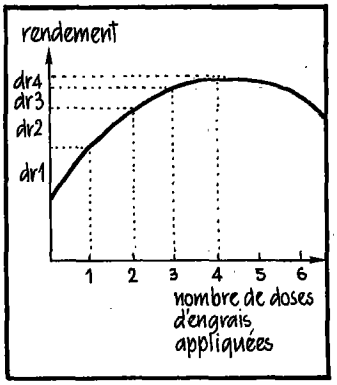


Figure 193 : évolution du rendement en fonction des doses d'engrais appliquées.

L'apport d'azote permet une augmentation de rendement de 10 qx. L'apport de potasse permet une augmentation de rendement de 5 qx. L'effet cumulé des deux apports devrait être de 15 qx (10 + 5) alors qu'il est de 18 qx. L'interaction entre les deux éléments est positive, elle est responsable d'un accroissement de rendement de 3 qx.

Tous les facteurs et conditions de croissance sont plus ou moins interdépendants. Par exemple, le choix d'une fumure azotée pour du riz pluvial doit s'accompagner du choix d'une variété résistante à la verse (variété à pailles courtes).

EFFICACITÉ ET RENTABILITÉ DE L'ENGRAIS

«Lorsqu'on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, tous les autres facteurs restant égaux, les augmentations de rendement obtenues sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités apportées s'élèvent». L'engrais devient donc de moins en moins efficace. C'est la loi des accroissements de rendement moins que proportionnels.
La courbe ci-contre exprime cette loi.

Au fur et à mesure que l'on augmente les doses d'engrais, on observe un accroissement de rendement «dr» qui diminue :

$$dr1 > dr2 > dr3 > dr4$$

Au-delà de la quatrième dose, le rendement plafonne, mais les prélèvements de l'élément par la culture peuvent augmenter. On dit alors qu'il y a consommation de luxe.
Si on augmente encore les doses, le rendement va décroître plus ou moins rapidement selon l'élément considéré, la culture et les conditions générales de végétation.

Optimum économique

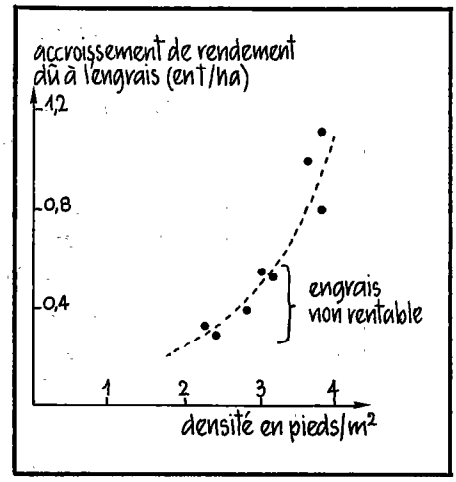
La dose dr4 est la dose maximale au-delà de laquelle l'engrais n'est plus efficace. Mais c'est surtout la rentabilité de l'engrais qui importe pour l'agriculteur.
La dose d'engrais qui correspond à l'optimum économique est celle au-delà de laquelle le gain dû au supplément de récolte est inférieur au coût dû à l'engrais appliqué en plus.
Cette dose optimale est toujours inférieure à la dose maximale d'efficacité. Elle dépend de l'efficacité de l'engrais et du rapport : prix de l'unité d'engrais / prix de l'unité du produit récolté.

LES LIMITES DE CES PRINCIPES

• Dans la pratique, il y a toujours plusieurs facteurs qui changent et les problèmes sont plus compliqués.
L'efficacité des engrais minéraux varie pour une même culture selon les conditions climatiques, le type de sol et les techniques culturales mises en oeuvre.

Figure 194 : effet d'une fumure minérale (80N-40P-40K) sur le rendement du maïs en fonction de la densité.
(Observations réalisées en parcelles paysannes par l'Office de Développement du Nord à Grison-Garde en Juin 1987).

Le rendement est dans certaines parcelles plus limité par la faible densité que par la disponibilité minérale. Lorsque la densité est inférieure à 3 pieds au m2, l'engrais n'est pas rentable et le paysan perd de l'argent dans ce type de milieu.



• En Haïti, la grande majorité des parcelles sont cultivées en association. Les effets d'un apport d'éléments minéraux étant différents selon les espèces, l'effet global sur l'association est difficile à prévoir. Le facteur limitant peut être un élément pour une des espèces de l'association et un autre pour une autre espèce. Ainsi, par exemple, un apport d'azote dont l'objectif est d'accroître le rendement du maïs peut avoir un effet dépressif sur la patate douce qui y est associée. L'abondance d'azote favorisera la croissance des organes aériens de la patate aux dépens de la production de tubercules.

• Les éléments fertilisants fournis par le sol et les engrais n'ont pas la même efficacité. Il est toujours préférable d'avoir un sol riche dans lequel les apports d'engrais sont réduits. Les éléments minéraux apportés par les engrais ne sont pas tous disponibles pour la plante. Une fois qu'ils sont dissous, ils peuvent enrichir la solution, être prélevés par la plante, mais aussi être lessivés, fixés, réorganisés ou rétrogradés (insolubilisés sous une autre forme).

• Ces principes ne tiennent pas compte non plus de la qualité des produits dont la composition varie avec la fertilisation. Par exemple, la teneur en sucre de la canne varie en fonction de la fertilisation. Le choix des fumures à apporter doit en tenir compte. Par son impact sur les qualités nutritives des produits viviers et des fourrages, la fertilisation joue un rôle indirect sur la santé humaine et animale mais ce rôle est très difficile à évaluer.

L'ensemble de ces principes et de leurs limites doit être pris en compte dans le choix des techniques de fertilisation minérale et organique mais aussi des autres techniques culturales.

PRATIQUE DE LA FERTILISATION MINERALE

CALCULER LES QUANTITÉS D'ENGRAIS À APPORTER

L'objectif principal de la fertilisation minérale est de compléter «l'offre» minérale des sols pour satisfaire les «besoins» des cultures :

Fumure à apporter = besoins des cultures - offre du sol

Cette démarche se fait en plusieurs étapes :

1. déterminer un niveau de rendement à atteindre en fonction des références régio-

nales, des particularités de la parcelle, des techniques appliquées et des objectifs de l'agriculteur,

2. en déduire les besoins de la culture aux différents stades et les restitutions par les résidus de récolte,

3. estimer les quantités d'éléments minéraux qui seront fournies par le sol au cours du cycle cultural,

4. déterminer à partir de ces données les doses d'engrais et leurs dates d'application.

Il s'agit, en fait, de réaliser un bilan minéral tel qu'il a été étudié précédemment. Reprenons-en les principaux termes :

Bilan minéral =

éléments contenus dans les résidus de récolte,
éléments contenus dans les autres matières organiques apportées,

\+ éléments passant d'une forme inassimilable à une forme assimilable (libération, solubilisation),
azote fourni par les synthèses microbiennes.

— prélèvements par les cultures,
pertes par lessivage (ou ruissellement),
éléments immobilisés sous formes inassimilables (organiques ou minérales).

La méthode des bilans n'est pas applicable en Haïti actuellement par manque de références sur la dynamique des éléments, particulièrement l'azote. Cependant, la connaissance, même très approximative, de l'importance des différents termes de ce bilan permet de mieux raisonner la fertilisation.

Dans la pratique, les doses et formes d'engrais sont déterminées surtout grâce aux résultats d'expérimentation obtenus en stations ou parcelles paysannes. Dans chaque région, il est nécessaire de constituer un référentiel à partir d'essais de fertilisation sur différentes cultures ou associations, dans les différents types de sol représentés. Il s'agit le plus souvent de comparer les effets de doses croissantes d'éléments minéraux (sous différentes formes) sur les composantes du rendement et, de mesurer les quantités d'éléments prélevés en fonction de la matière sèche produite.

L'objectif est de déterminer les formules, les doses et les modes d'épandage les plus intéressants pour l'agriculteur.
De tels essais permettent l'établissement de courbes de réponse des cultures aux engrais. L'interprétation de ces courbes est très délicate car la réponse d'une culture à un même engrais est très variable selon les conditions de milieu et les systèmes de culture.

Une fertilisation «efficace» doit non seulement être adaptée aux besoins des cultures, différents selon les espèces, mais elle doit ausssi être pratiquée de manière à réduire au maximum les pertes. Pour cela, certaines techniques particulières d'épandage doivent être respectées.

LA FERTILISATION AZOTÉE

L'azote minérale du sol provient essentiellement de la minéralisation des matières organiques et de l'humus sous l'action des micro-organismes. C'est le cas aussi du soufre dont la fertilisation se raisonne de la même façon.

A l'arrivée des premières pluies, il y a en général libération d'une quantité importante d'azote. Ensuite, la minéralisation se poursuit plus lentement en fonction du rythme des pluies. Dans un sol riche en matière organique, l'azote ainsi libéré permet une alimentation régulière des cultures. Cependant, des apports complémentaires aux périodes de besoins intenses peuvent permettre d'obtenir de meilleurs rendements. De même, un apport en début de culture est utile, surtout lorsque des matières organiques riches en carbone (C/N élevé) ont été enfouies.

Au total, l'azote du sol se trouve essentiellement sous forme organique, une faible part est sous forme minérale.

Lors de la réalisation d'essais, la mesure du poids de matière sèche produite et de sa teneur en azote permet de connaitre les quantités d'azote prélevées par la culture sans apport et donc d'estimer la fourniture du sol en cet élément (si aucun autre facteur n'est limitant).

Un apport excessif d'azote peut avoir des effets néfastes sur les cultures :
- verse des céréales,
- sensibilité accrue des plantes aux maladies et parasites,
- développement des tiges et feuilles aux dépens des organes de récolte (tubercules),
- moindre qualité de certains produits.

L'engrais azoté est facilement lessivé

Se trouvant dans le sol essentiellement sous forme nitrique (NO_3^-), l'azote minéral est très peu retenu par le complexe adsorbant. Il est donc facilement entraîné par les eaux de drainage en profondeur. Ce lessivage est d'autant plus rapide que les pluies sont importantes et le sol filtrant.

Deux techniques de fertilisation permettent de limiter ces pertes : le fractionnement des apports et la localisation de l'engrais azoté.

- **Le fractionnement des apports** consiste à apporter aux cultures des petites doses d'engrais espacées dans le temps. On choisira les périodes de forte demande des cultures. Par exemple pour le riz : le début du tallage et le début de la montaison. Si on apporte une trop grande quantité d'azote, une forte proportion sera perdue pour les plantes à cause du lessivage.

- **La localisation de l'engrais** consiste à le disposer auprès de chaque plante de manière à ce qu'il enrichisse uniquement le volume de terre occupée par les racines.
Cette technique est utile uniquement lorsque les racines des plantes ne colonisent pas le sol sur l'ensemble de la parcelle :
  - cultures à faibles densités en début de cycle (manioc),
  - cultures sur buttes ou billon,
  - association d'espèces aux besoins différents.

Les pertes sous forme gazeuse

Ces pertes correspondent à deux processus : la dénitrification et la volatilisation.
- Les pertes par dénitrification sont généralement considérées comme de faible importance, mais elles peuvent atteindre 30 à 40 % de l'azote minéral du sol dans certaines conditions : forte acidité et assèchement du sol, hydromorphie (rizières).
- Les pertes par volatilisation sont importantes dans le cas d'apports d'engrais azotés à la surface du sol. Elles peuvent atteindre 30 à 50 % de l'azote appliquée. Pour les éviter, il suffit d'incorporer les engrais sous quelques centimètres de terre.

L'engrais azoté et les légumineuses

Les légumineuses utilisent l'azote atmosphérique fixé par un micro-organisme (le Rhizobium). Elles ne nécessitent donc qu'une faible fourniture du sol. Cependant, une petite fumure azotée est souvent bénéfique, ne serait-ce que pour favoriser le développement racinaire en début de cycle, et donc le nombre de sites sur lesquels le Rhizobium va pouvoir s'installer.

Par contre un apport excessif non seulement ne permet pas d'obtenir de meilleurs rendements, mais peut avoir des effets dépressifs (chute du rendement).

L'intérêt des légumineuses est aussi de fournir à la culture suivante l'azote organique contenu dans les résidus de récolte (racines et éventuellement partie aérienne). La quantité d'azote peut être importante et il convient d'en tenir compte dans le choix de la fumure suivante.

Dans les associations, les légumineuses permettent une plus grande disponibilité de l'azote minéral du sol pour les autres espèces.

La quantité d'azote fixée par les légumineuses dépend des conditions de milieu dans lequel elles poussent. Lorsque les conditions sont défavorables, la fixation est réduite et les plantes puisent alors dans le sol l'azote dont elles ont besoin.

L'amélioration de la fixation de l'azote peut être réalisée par :

• l'inoculation des sols et des semences avec des souches de rhizobium adaptées aux cultures,
• le choix de variétés fixant de grandes quantités d'azote,
• la lutte contre les stress hydriques,
• le choix de pratiques culturales favorisant la fixation :
- chaulage des sols acides,
- apports de matières organiques (fumiers),
- travail du sol favorisant l'enracinement et l'aération.

Engrais nitriques et ammoniacaux

Nous verrons plus loin que les engrais du commerce peuvent apporter l'engrais sous deux formes :
• soit sous forme de nitrates NO_3^-,
• soit sous forme d'ammoniaque NH_4^+.

Nous savons que les plantes absorbent surtout l'azote nitrique NO_3^-. L'azote apporté par les nitrates est donc immédiatement disponible pour les cultures. En revanche, il est facilement lessivé dans le sol. L'azote ammoniacal, lui, doit d'abord être oxydé en nitrite, puis en nitrate par les micro-organismes du sol avant d'être absorbable par les plantes. Les engrais ammoniacaux présentent donc un *effet retard*. L'azote ammoniacal étant partiellement adsorbé sur le complexe argilo-humique, il est beaucoup moins lessivé par les pluies que l'azote nitrique. Il est cependant acidifiant, car les ions NH_4^+ chassent une partie des ions Ca^{++} et Mg^{++} du complexe absorbant, ce qui favorise leur lessivage.

De plus, l'apport dans le sol d'ions NH_4^+ (amoniacaux), retenus par le complexe adsorbant, provoque le lessivage des ions Ca^{++} et Mg^{++} et donc l'acidification du sol. On dit que les engrais amoniacaux sont acidifiants.

PHOSPHORE ET POTASSIUM : UNE FERTILISATION À ADAPTER AUX SOLS ET AUX PLANTES

(Voir chapitre 3 : la dynamique des éléments nutritifs).

Contrairement à l'azote, le phosphore et le potassium sont stockés dans le sol en grande partie sous forme minérale.
Une partie des réserves du sol est rapidement disponible pour les plantes : ce sont les ions PO_3^{--} et K^+ soit en solution, soit fixés sur les sites externes du complexe adsorbant.
L'autre partie de ces éléments qui est la plus importante se trouve sous forme inassimilable par les plantes (ou difficilement) : ions fixés sur les sites internes du complexe adsorbant ou rétrogradés sous formes insolubles.

Principes généraux

En règle générale, les cultures s'alimentent en P et K beaucoup plus en puisant dans les réserves assimilables du sol qu'en utilisant les engrais récemment épandus.
De ce fait, les engrais phospho-potassiques n'ont pas pour objectif d'alimenter directement les plantes, mais de reconstituer les réserves entamées par les exportations de cultures.

Les réserves du sol en éléments minéraux assimilables doivent donc être suffisantes pour couvrir les besoins de la culture exigeante de la rotation. Le niveau souhaitable de ces réserves sera particulièrement élevé pour les cultures maraîchères qui prélèvent de grandes quantités d'éléments.

Selon l'état des réserves du sol, on distingue deux types de fumure.

• Les fumures d'entretien
Lorsqu'un sol est suffisamment pourvu en P et K pour satisfaire les besoins des cultures, la fumure consiste à compenser les pertes dûes aux exportations, au lessivage (surtout pour K) et aux fixations irréversibles (surtout pour P). Les engrais minéraux complètent ainsi les apports organiques.
Les pertes par lessivage et les rétrogradations sont très difficiles à évaluer. Il est conseillé de ne pas majorer de plus de 10 à 20 % les apports destinés à couvrir les exportations. Mais il est surtout préférable de limiter au maximum ces pertes par des modes d'épandage adaptés (fractionnement et localisation) et par des apports organiques.
La matière organique stocke les éléments qui ne sont alors plus soumis ni au lessivage, ni à la rétrogradation.

Dans les sols pauvres en argile, la matière organique augmente la CEC donc la capacité du sol à retenir le potassium. Dans les sols calcaires, elle freine les phénomènes d'insolubilisation du phosphore.

• Les fumures d'enrichissement

Elles concernent les sols insuffisamment pourvus et consistent à les enrichir de manière à ce que leurs réserves assimilables atteignent un niveau «optimal».
Dans la pratique, cela revient à apporter régulièrement des doses d'engrais légèrement supérieures aux exportations par les cultures. Mais ce surplus ne doit pas dépasser 50 % de la dose normale. La difficulté est de connaître le niveau optimal de richesse du sol à atteindre. L'analyse de sol est un outil de diagnostic intéressant mais elle doit être complétée par des expérimentations. Le niveau de richesse souhaitable en potassium est fonction de sa CEC, donc de sa teneur en argile et en matière organique. Dans des sols à faible CEC, l'engrais potassique non utilisé par les plantes est rapidement lessivé. La teneur souhaitable en phosphore dépend du pouvoir fixateur du sol, élevé en sols ferrallitiques et en sols calcaires. Des apports de potassium en trop grande quantité peuvent se traduire par des consommations de luxe.

Périodes et modes d'épandage

Les périodes et modes d'épandage dépendent surtout des types de sol, caractérisés par leurs capacités à fixer en quantités variables et plus ou moins fortement les éléments minéraux.
Seuls des essais de fertilisation longue durée complétés par des analyses de sols régulières permettent d'évaluer l'effet à moyen et long terme de la fertilisation minérale sur la fertilité des sols. De tels essais pourraient être mis en place sur les principaux types de sols haïtiens soumis à divers systèmes de culture.

• Phosphore

. Dans les sols pauvres en phosphore, pour que l'engrais soit utilisé par les cultures il doit être très soluble et localisé près des racines. En même temps, un engrais peu soluble peut être appliqué de manière à enrichir le sol (sols non calcaires uniquement).

. Lorsque le sol a un fort pouvoir fixateur (sols ferralitiques ou sols calcaires), les fumures doivent être appliquées le plus tard possible, localisées près des racines et sous forme rapidement soluble.
En sols ferrallitiques, on peut apporter des formes moins solubles (tricalcique) qui enrichissent le milieu en P mais aussi en calcium.

. Rappelons que, dans les sols calcaires, les apports organiques permettent une meilleure utilisation des réserves et freinent la rétrogradation. Il a été montré lors d'expérimentations que les plantes étaient capables d'utiliser des phosphates primitivement précipités.

. Dans les sols bien pourvus et à faible pouvoir fixateur, les périodes et modes d'épandage importent peu.

• Potassium

Les exportations de potassium par les cultures sont très variables. Elles sont souvent supérieures à celles de P_2O_5 et sont importantes pour les plantes à tubercules et les plantes maraîchères.

. Un apport massif de potasse est toujours à éviter. Il risque de conduire à une consommation de luxe inutile, de nuire à l'alimentation magnésienne (antagonisme) et d'exagérer les apports de chlore (chlorure de potassium).

. Dans les sols à faible CEC, le potassium ne peut être retenu. Il doit donc être apporté de manière fractionnée : en petites doses successives aux périodes de besoins intenses des cultures et éventuellement localisé près des racines.
Dans les sols faiblement pourvus et à forte CEC, une fumure d'enrichissement peut être conseillée sous forme de petits apports réguliers. Le fumier apporte de grandes quantités de potasse ainsi que les cendres de cuisines.

Fractionnement de l'engrais potassique :

A Madagascar, sur un sol ferralitique, un apport de 90 kg/ha de K_2O à permis d'obtenir :
- 3709 kg/ha de grains de maïs lorsque l'engrais était épandu au semis,
- 4134 kg/ha lorsque l'engrais était épandu en 2 fois,
- 4630 kg/ha lorsque l'engrais était épandu en 3 fois.

LES AUTRES ÉLÉMENTS

Une fertilisation équilibrée doit permettre une alimentation correcte des cultures en tous les éléments.
Lorsque la fertilisation est essentiellement organique, tous les éléments minéraux sont apportés en même temps. Si une carence apparait, elle est surtout due à la nature du sol, plus ou moins accentuée par le système de culture en place (selon l'importance et la nature des exportations.). Cependant les apports organiques peuvent être insuffisants pour couvrir toutes les pertes minérales.

Lorsque la fertilisation utilise en abondance des engrais chimiques, elle peut provoquer des déséquilibres et induire des carences. En effet, les engrais minéraux apportent essentiellement les éléments N,P et K. Les accroissements de rendement qu'ils permettent ont pour conséquence une augmentation des exportations de tous les éléments et donc l'appauvrissement du sol en éléments «secondaires» et oligo-éléments (ceux qui ne sont pas apportés par les engrais).

Le calcium et le chaulage

En règle générale, le problème du calcium en tant qu'aliment pour la plante ne se pose pas . Les sols en sont suffisamment pourvus pour satisfaire les besoins des cultures. Cependant, dans les sols cultivés non-calcaires, les pertes en calcium par le lessivage et les exportations des cultures peuvent conduire à une acidification : le pH diminue.

Une diminution de pH (pH<6) a des effets néfastes sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol. En Haïti, ce problème se rencontre essentiellement dans les sols ferralitiques.

Le calcium est apporté par les *amendements calciques* (chaux ou calcaire). Lorsque l'on incorpore des amendements calciques au sol, on réalise un *chaulage*.

Le chaulage a pour objectif de relever le pH des sols trop acides en saturant la CEC avec des ions Ca^{++}, ce qui a pour effet :
- d'améliorer la structure des sols riches en éléments fins, facilitant ainsi la circulation des fluides et des racines,
- de favoriser l'humification des matières organiques et la vie biologique du sol,
- de rendre certains éléments minéraux plus facilement assimilables,
- de favoriser la fixation des cations et du phosphore sur le complexe adsorbant.

Le calcium est apporté aussi en grande quantité par l'épandage d'engrais phosphatés (phophates naturels ou tricalciques en particulier).

Une étude réalisée sur un sol ferralitique désaturé originaire de Madagascar et sur deux andosols* de la Réunion a montré que des apports de chaux ou de dolomie (roche calcaire) avaient pour effet une nette augmentation du pH et de la CEC, et que cela se traduisait par une forte réduction des pertes par lessivage des «cations-engrais». Suite aux amendements calciques, 30 à 50 % des cations apportés restaient fixés sur le complexe adsorbant alors qu'en l'absence de ceux-ci jusqu'à 90 % des cations étaient lessivés.
Les phosphates naturels tricalciques ont par contre eu des effets beaucoup plus limités de ce point de vue.

* Les andosols sont des sols volcaniques très particuliers. Ils sont parfois, comme à la Réunion, pauvres en Ca et acides.

Le magnésium

Le magnésium se trouve généralement en quantité suffisante dans le sol pour satisfaire les besoins des cultures. De plus cet élément est mobile, ce qui facilite son prélèvement par les plantes. Cependant, certains facteurs peuvent gêner l'alimentation des cultures en magnésium :

• les fortes fertilisations potassiques diminuent l'absorption du magnésium par les plantes et favorisent son lessivage; il y a antagonisme entre ces deux éléments. Ce phénomène est à l'origine de carences dans les sols pauvres en magnésium,

• dans les sols calcaires, la richesse élevée en calcium peut être à l'origine de déficiences en magnésium (Ca/Mg > 8). Des déficiences ont été observées dans certains sols du périmètre irrigué de St-Raphaël (nord du Plateau Central). De plus, une déficience en magnésium limite l'absorption du phosphore déjà peu assimilable dans ces sols,

• l'acidité est défavorable à l' alimentation en magnésium,

• l'excès d'eau limite l'absorption du magnésium par les plantes.

Dans les sols où les risques de déficience en magnésium sont élevés, des apports doivent être réalisés, surtout si l'on pratique régulièrement la fertilisation potassique. Dans les sols acides, le magnésium est apporté en même temps que le calcium lorsqu'on applique des amendements calci-magnésiens (dolomie).

Le soufre

La majeure partie du soufre du sol se trouve sous forme organique, non directement utilisable par les végétaux. Il est libéré lors de la minéralisation de la matière organique par les micro-organismes. La teneur en soufre total du sol n'indique donc pas son aptitude à satisfaire les besoins des cultures.
Le taux de minéralisation du soufre est beaucoup plus important que celui de l'azote. L'ion sulfate est encore plus mobile que l'ion nitrate, il est donc très facilement lessivable.

Le soufre est apporté au sol par les matières organiques, les eaux d'irrigation, les eaux de pluies. Les plantes absorbent aussi directement le SO2 de l'atmosphère .

Dans les systèmes de culture intensifiés, avec utilisation d'engrais minéraux, le bilan en soufre peut devenir rapidement déficitaire. Pour y remédier, on utilise des engrais (NPK) dont l'ion accompagnateur est le soufre (sulfate de potasse, sulfate d'ammonium).

Les légumineuses, les crucifères (choux) et certaines espèces maraîchères (poireau, oignon,pomme-de-terre) sont très exigeantes en soufre.

Les oligo-éléments

Les oligo-éléments peuvent devenir toxiques très rapidement. Des apports ne sont nécessaires que dans le cas d'un diagnostic de déficience ou de carence confirmée par des analyses de sols et de plantes. Ils doivent être réalisés avec une extrême prudence.

Pour assurer une alimentation correcte des cultures en oligo-éléments, il faut :
• favoriser l'activité biologique du sol par des apports organiques et une bonne gestion du couvert végétal,
• utiliser des engrais peu concentrés mais riches en oligo-éléments,
• éviter des apports importants d'engrais solubles qui peuvent créer des antagonismes : fractionner le plus possible les apports d'engrais minéraux en doses modérées.

EFFICACITÉ DES ENGRAIS MINÉRAUX

L'efficacité des engrais dépend de l'ensemble des conditions et facteurs de croissance.

L'alimentation minérale de la plante est fonction de la richesse du sol mais aussi de l'enracinement (densité et profondeur) et de l'humidité (mobilité des ions).
Dans les systèmes de culture haïtiens, l'engrais est parfois peu efficace car d'autres facteurs limitent les rendements : faibles densités, compétition des adventices, maladies, parasites, déficit hydrique. Cela explique pourquoi, dans certaines situations, l'application d'engrais n'est pas rentable pour le paysan.

Dans les sols bien pourvus en P et K il est normal que la fertilisation phospho-potassique ait peu d'effet sur les rendements mais cela ne signifie pas pour autant qu'elle est inutile. Elle sert à équilibrer les bilans minéraux lorsque les restitutions et autres apports organiques sont insuffisants pour compenser les exportations par les cultures.

L'efficacité des engrais dépend aussi de la nature du sol. Les sols riches en humus et en argile se prêtent généralement bien à la fertilisation chimique, les sols bruns calciques, les alluvions, les vertisols et les sols fersiallitiques ne doivent pas poser de problème contrairement aux sols ferralitiques (risques de lessivage et d' acidification) et aux sols riches en calcaire fin (antagonismes et blocage de certains éléments).

En région sèche les risques de déficit hydrique rendent l'efficacité des engrais très aléatoire et limitent leur intérêt pour les paysans. D'où l'intérêt particulier de raisonner les apports en fonction des besoins.

Fertilisation du maïs sur rendzine à Morne-à-Brûler (Jacmel)

Dans ces sols peu épais, filtrants et riches en calcaire actif, on peut observer des signes de carence en K, P, N, et Mg.
Les quantités de fumier qu'apportent les paysans (10 à 12 t/ha), permettent de couvrir totalement les besoins d'une culture de maïs en K et partiellement en N.
Lors d'essais de différents types de fertilisation, les meilleurs rendements ont été obtenus avec les techniques suivantes:

- épandage de fumier exactement comme le font les paysans,
- apport de superphosphate au semis et localisé à chaque poquet (l'engrais est placé à un pouce des graines de manière à éviter toute brûlure),
- de l'urée ou du sulfate d'ammonium est épandu sur la ligne, autour des poquets ou à la volée, lorsque les jeunes plantes ont atteint la hauteur du genou. Cet apport est souvent réalisé en même temps que le sarclage.

Ces techniques ont permis de faire passer les rendements de 15 qx/ha jusqu'à 50 qx/ha dans le meilleur des cas.

FERTILISATION MINERALE DES CULTURES ASSOCIEES

Plusieurs études ont montré que les systèmes de cultures associées exploitaient généralement de façon plus efficace les milieux peu fertiles. Mais la question est de savoir s'ils utilisent aussi efficacement les engrais minéraux.
Les connaissances sur la fertilisation minérale des cultures associées sont encore très rudimentaires car presque tous les essais d'engrais ont été réalisés en culture pure. Cependant, les paysans qui ont accès aux engrais minéraux les utilisent souvent sur les associations de cultures. Il est donc nécessaire de procéder à des expérimentations, non seulement pour déterminer les types et doses d'engrais les plus adéquats, mais aussi pour repenser les associations de cultures en fonction de la croissance et du développement de chacune des espèces cultivées avec engrais. Il faut alors tenir compte du fait que les modèles de croissance changent quand il s' agit de cultures associées (compétition entre les différentes espèces).

EFFETS DES ENGRAIS SUR LES CULTURES ASSOCIÉES

Le problème principal pour l'emploi des engrais est que les espèces d'une association ont des besoins nutritifs différents et que la période de besoin maximal d'une espèce ne coïncide pas nécessairement avec celles des autres. De ce fait, les engrais minéraux sont parfois peu efficaces sur certaines associations. L'application d'azote sur des associations céréales/légumineuses, par exemple, a une efficacité réduite car elle nuit à la fixation symbiotique par les légumineuses. De même dans l'association maïs/patate, l'azote réduit les rendements en tubercules de la patate.





A gauche : cultures associées : riz, maïs, bananier. A droite : association complexe de bananier, taros, patate douce, igname, riz (photos M. Bonnefoy).

Sur une association maïs/manioc, le phosphore aura une faible efficacité car le manioc y réagit à peine. Il faut donc apporter les engrais de telle manière que les besoins d'une espèce soient satisfaits sans réduire le rendement de l'autre espèce ou sans gaspiller l'engrais en l'appliquant sur une culture qui n'y réagit pas.

L'engrais peut avoir pour effet d'accroître la dominance d'une espèce jusqu'à presque supprimer l'autre espèce. Par exemple, l'apport d'azote sur une association maïs/arachide favorise le maïs dans la compétition pour la lumière, puis pour les autres facteurs. Dans certains cas, les relations de dominance peuvent s'inverser.

Généralement, les variétés locales sont adaptées aux milieux peu fertiles et répondent mal aux engrais. Il est donc souvent nécessaire d'introduire des variétés améliorées en même temps que la fertilisation minérale. Mais ces nouvelles variétés ont des modèles de croissance et de développement différents qui vont modifier le fonctionnement global de l'association. Les densités, les espacements et éventuellement les dates de semis devront alors être adaptés à ces nouvelles situations de manière à limiter la concurrence. C'est un des rôles de l'expérimentation.

Enfin, les engrais n'ont pas d'effets seulement sur les cultures en place, mais aussi sur les cultures suivantes. En conséquence, la comparaison de la fertilisation des cultures pures ou en association doit se faire sur des rotations complètes.

MODES D'ÉPANDAGE

Pour que les engrais minéraux aient une efficacité maximale, les techniques d'apport doivent être adaptées à chaque type d'association et au milieu. Les dates et la localisation des apports doivent être choisis de manière à ce que les éléments nutritifs soient disponibles au moment où les besoins sont les plus élevés.

Une possibilité consiste à enfouir une fumure de base P/K, avant la plantation et à appliquer l'azote localement en fonction des différentes espèces. Mais cela n'est possible que dans les sols où il n'y a pas de risque de lessivage de la potasse ou de fixation irréversible du phosphore.
La disposition des cultures en bandes alternées facilite beaucoup l'épandage localisé, mais de telles modifications dans les itinéraires techniques peuvent nuire à certains intérêts de l'association traditionnelle. Une bonne connaissance des systèmes de cultures pratiqués est un préalable indispensable à toute proposition technique. Lorsque les cultures sont en mélange, il est possible de localiser les apports au niveau de chaque poquet, ce qui demande beaucoup de travail.
Cependant,la technique de localisation des engrais a une limite. Elle n'est plus efficace lorsque les systèmes racinaires sont en concurrence car l'engrais apporté localement sur une culture peut être alors prélevé par l'autre.

Les doses moyennes d'engrais recommandées pour les associations de cultures céréales/légumineuses, en Afrique de l'Ouest sont : 30 à 40 kg de P_2O_5, 20 à 30 kg de K_2O et 30 à 40 kg d'azote comme fumure de départ; les céréales reçoivent en plus une fumure de couverture complémentaire de 30 à 40 kg d'azote (urée) environ 6

semaines après le semis. Cet apport d'azote à proximité de la céréale n'affecte pas le rendement de la légumineuse.

Enfin, l'efficacité des engrais doit être mesurée en termes économiques. Elle dépend alors des rapports de prix des différentes cultures. Les cultures maraîchères sont souvent plus lucratives, c'est pourquoi les paysans les fertilisent en priorité. Pour comparer la rentabilité des engrais dans différentes associations, il suffit de comparer les augmentations de recettes par rapport aux coûts supplémentaires.

RESULTATS D'EXPERIMENTATIONS EN HAÏTI

FERTILISATION DU HARICOT DANS LES SOLS FERRALLITIQUES DU PLATEAU DES ROCHELOIS.

Dans ces sols, la fertilité est limitante tout au long du cycle de la culture. Deux expérimentations, menées en juillet 1976 et juillet 1977, ont permis de comparer les effets sur les rendements de haricot d'apports de cendres, de fumier et d'engrais minéraux.

Figure 195 : effets de l'apport de divers éléments fertilisants sur le rendement en grains du haricot (Salagnac, juillet 1976 et juillet 1977)

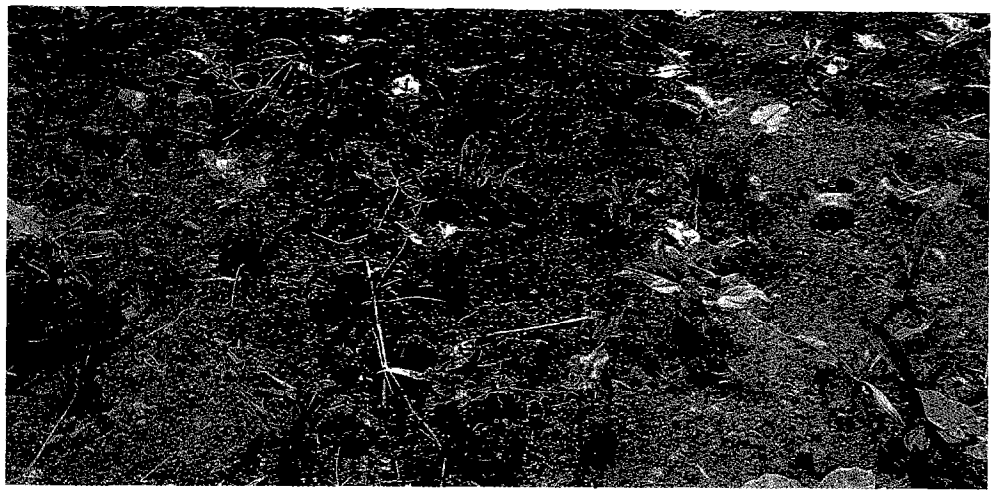
Formes et doses d'apports/ha	Rendement grains secs en quintaux/hectare	
	Expérimentations	
	juillet-septembre 1976	juillet-septembre 1977
Témoin	4,6	3,4 - 4,7
Cendres (4,2 tonnes/ha) : 30 P, 260 K, 70 Mg, 1200 Ca + oligo-éléments	9,0	8,9
Cendres (idem) + fumier (30 t/ha)	13,4	
Cendres (idem) + 180 P (engrais)		11,0
Engrais : 60 N - 180 P - 180 K		14,0
Engrais : 90 N - 240 P - 240 K		7,8

Les cendres ont été épandues à raison de 4,2 tonnes par hectare et ont été analysées. Toutes les autres techniques sont identiques, sur l'ensemble des parcelles, à celles pratiquées par les paysans: -travail du sol à la houe, semis en poquets, variété «mélange»...

Résultats

Cette expérimentation a fait l'objet de quatre répétitions.
L'analyse statistique montre que les différences de rendement sont significatives entre tous les traitements.

L'analyse des composantes du rendement a été réalisée mais n'est pas présentée ici. Elle a mis en évidence :
• que le nombre de pieds au mètre carré pouvait être considéré comme constant,
• que les accroissements de rendement étaient dus essentiellement à des augmentations du nombre de grains par pied, et secondairement à des augmentations du poids des grains. Ce qui indique que le facteur fertilité est limitant tout au long de la culture.



Parcelle de haricots et maïs sur le plateau des Rochelois (photo M. Bonnefoy).

On constate que l'apport de cendres permet de doubler la production les deux années, et qu'en 1976 des apports simultanés de cendres et de fumier (30 t/ha) la font tripler.
Les cendres apportent essentiellement du calcium et du potassium; lorsqu'on y ajoute du phosphore sous forme de super phosphate la production n'est pas améliorée.

L'apport de 180 unités de P et de 180 unités de K, accompagné d'un épandage fractionné de 60 unités d'azote (urée) permet une production équivalente à celle qu'entraîne l'apport simultané de cendres et de fumier.

Par contre, lorsqu'on double les doses d'engrais (90 N, 240 K, 240 P), l'apport excessif d'azote provoque un développement de la végétation au détriment de la floraison, ce qui se traduit par une chute du rendement en grains.

FERTILISATION DU MAÏS À PETITE RIVIÈRE DE NIPPES

Ces essais ont été réalisés sur vertisol, pauvre en potassium et en phosphore, avec un taux de matière organique très élevé.
L'objectif était d'évaluer l'effet sur le maïs local de l'application d'un engrais complet apportant 60 unités d'azote et 120 unités de potassium et de phosphore à l'hectare.

Résultats

Aux trois périodes de semis, l'apport de l'engrais permet une forte augmentation de rendement (x2). Elle est due essentiellement à l'accroissement du nombre de grains par épi, mais on observe aussi un nombre d'épis par pied plus important et un poids de 1000 grains plus élevé avec fertilisation.
Par ailleurs, il a été observé une croissance végétative plus importante et une floraison plus précoce dans les parcelles fertilisées.

L'ensemble de ces observations et résultats indique que la disponibilité en éléments minéraux a été limitante tout au long de la culture dans les parcelles non fertilisées.
Il faut aussi noter la variation du nombre de pieds levés, facteur important de variation du rendement.

Figure 196 : effet d'une fertilisation minérale sur les composantes du rendement du maïs à Petite Rivière de Nippes en 1977-78.

Période de semis	Dose d'engrais N-P-K	Densité pieds/ha	Nombre d'épis par pied	Nombre de grains par épi	Poids de 1000 grains	Rendement en t/ha
Mai 1977	0	40850	0,87	208	196	1,45
	60-120-120	43180	1,22	286	210	3,17
Avril 1978	0	45900	0,92	262	205	2,27
	60-120-120	41700	1,09	416	216	4,09
Mai 1978	0	52200	0,86	221	152	1,62
	60-120-120	56700	0,92	347	173	3,13

Jardin de maïs
(photo G. de Laubier).



RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DE L'ENGRAIS SUR L'ASSOCIATION RIZ/ MAÏS/POIS INCONNU, À GRISON-GARDE

L'association riz/maïs/vigna est très pratiquée dans la région de Grison-Garde (Plaine du Nord). Elle peut être mise en place soit à l'automne (septembre/octobre), soit au printemps (février/mars).

En 1986 et 1987, après l'introduction de nouvelles espèces de riz pluvial, des essais ont été réalisés en parcelles paysannes afin d'évaluer l'effet d'une petite fertilisation minérale. Une distinction est faite entre les parcelles situées dans le périmètre irrigué (zone irriguée) et les autres (zone pluviale).

Chaque parcelle est divisée en deux parties, l'une est fertilisée et l'autre non. La fumure consiste en un enfouissement de 200 kg d'engrais complet (20-20-10) à la préparation du sol et d'un épandage de 90 kg d'urée au cours de la montaison du riz. Cela correspond à un apport total de : 80 unités d'azote, 40 unités d'acide phosphorique, 20 unités de potasse.

Ces essais ont été menés durant trois saisons culturales:
- printemps 1986, saison à pluviométrie normale,
- automne 1986, saison particulièrement sèche,
- printemps 1987, saison particulièrement humide.

Dans la grande majorité des situations, l'engrais a permis d'augmenter les rendements. Mais il faut s'assurer de la rentabilité de l'investissement pour le paysan, c'est-à-dire que le produit réalisé en plus soit supérieur au supplément de charges du à l'engrais.

Les bénéfices réalisés grâce à l'engrais sont calculés à l'aide de la formule suivante:

Bénéfice = [(RR x PR) + (RM x PM) + (RV x PV)] - CE

- RR = supplément de Rendement en Riz obtenu grâce à l'engrais,
- RM = supplément de Rendement en Maïs obtenu grâce à l'engrais,
- RV = supplément de Rendement en Vigna obtenu grâce à l'engrais.

- PR = prix d'une tonne de Riz paddy, soit 440 $,
- PM = prix d'une tonne de Maïs en grain, soit 140 $,
- PV = prix d'une tonne de Vigna en vert, soit 150 $,
- CE = coût de l'engrais pour fertiliser un hectare, soit 84 $.

Ces prix ont été relevés sur le marché local. Ils sont particulièrement bas pour le maïs et le riz à cause des importations massives de riz américain à bon marché qui avaient lieu à cette époque (novembre 1987). Ceci entraîne une élévation du seuil de rentabilité de l'engrais.

Résultats

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux qui suivent.

Figure 197 : bénéfices moyens par hectare réalisés grâce à l'engrais sur l'association riz/maïs/vigna (automne 1986 et printemps 1987).

	Zone irriguée	Zone pluviale
Automne 1986 (sec)	373 $ (31 parcelles)	0 (sur 11 parcelles) 68 $ (sur 17 parcelles)
Printemps 1987 (pluvieux)	500 $ (5 parcelles)	243 $ (5 parcelles)

Les bénéfices réalisés grâce à l'engrais en zone irriguée sont très supérieurs à ceux réalisés en zone pluviale. On peut donc émettre l'hypothèse que l'engrais est d'autant plus efficace que les autres facteurs sont moins limitants (ici, l'eau).

En zone irriguée comme en zone pluviale, la rentabilité de l'engrais est nettement plus élevée au printemps humide de 1987 qu'à l'automne sec de 1986. Cela confirme que l'eau est un des principaux facteurs limitants.
En automne 1986 et en zone pluviale, l'apport d'engrais n'était pas intéressant car les rendements étaient nuls dans pratiquement une parcelle sur deux.

L'association riz/maïs/vigna rentabilise mieux l'engrais que l'association maïs/vigna. Ceci s'explique en partie par le prix de vente du riz très supérieur à celui du maïs. Ainsi, les cultures à forte valeur marchande valorisent en général mieux les fertilisants.

Figure 198 : bénéfices moyens par hectare réalisés grâce à l'engrais, au printemps 1986 sur deux types d'association.

	Riz/maïs/vigna	Maïs/vigna
Printemps 1986	195 $ (7 parcelles)	92 $ (7 parcelles)

FERTILISATION DU CHOU À SALAGNAC

Depuis son introduction en 1981 à Salagnac, la culture du chou a connu un développement rapide. Son rendement potentiel est très supérieur à ceux des variétés cultivées traditionnellement. Il représente actuellement une importante source de revenu monétaire pour les paysans de la région. La majeure partie de la production est vendue sur le marché de Port-au-Prince.

En octobre 1984, une expérimentation a été réalisée afin d'évaluer les effets d'une fertilisation et de traitements phytosanitaires sur la production de chou (variété KK-CROSS) en sol ferrallitique.

Quatre traitements différents ont été appliqués sur quatre parcelles de 40 m^2 chacune :

- parcelle A : témoin,
- parcelle B : traitement phytosanitaire,
- parcelle C : fertilisation,
- parcelle D : traitement phytosanitaire et fertilisation.

Mode de fertilisation

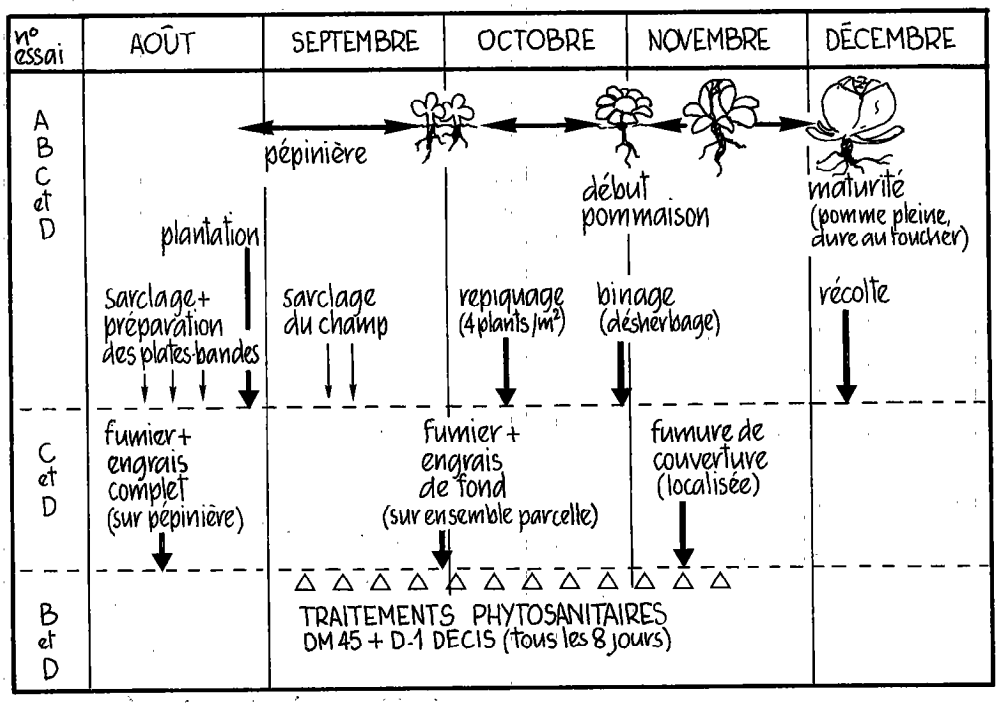
Du fumier et de l'engrais complet sont apportés sur la pépinière.
Sur les parcelles fertilisées, plusieurs types d'engrais sont utilisés:
- la fumure de fond, apportée juste avant le repiquage, est constituée de 20 t/ha de fumier, de 600 kg/ha d'engrais complet (20-10-20) et de 160 kg/ha de sulfate de potassium,
- à la pommaison, 240 kg/ha de sulfate d'ammonium sont apportés en couverture.

Le chou est une culture particulièrement exigeante en soufre et en potasse, c'est la raison pour laquelle il est apporté du sulfate de potassium en plus de l'engrais complet.
Le soufre et d'azote étant très facilement lessivés, surtout dans ces sols, leur apport a été fractionné en deux applications, l'une au repiquage et l'autre à la pommaison, période où les besoins sont très élevés.

Parcelle de choux à Salagnac (photo M. Bonnefoy).



Figure 199 : techniques culturales suivies sur les parcelles d'essais de fertilisation du chou (Salagnac, 1984).



Calcul des quantités apportées

• L'engrais complet 20-10-20 apporte:
- 20% d'N, soit 20 kg ou unités d'N pour 100 kg d'engrais,
- 10% de P_2O_5, soit 10 unités pour 100 kg d'engrais,
- 20% de K_2O, soit 20 unités pour 100 kg d'engrais.

• Le sulfate de potassium apporte:
- 50 unités de K_2O pour 100 kg d'engrais,
- 18 unités de S pour 100 kg d'engrais.

• Le sulfate d'ammonium apporte:
- 21 unités de N pour 100 kg d'engrais,
- 23 unités de S pour 100 kg d'engrais.

Connaissant les quantités d'engrais épandues et leur composition, nous pouvons calculer les apports minéraux que cela représente.

Le fumier apporte aussi des éléments minéraux, surtout de la potasse, mais son rôle est surtout d'améliorer la structure du sol et sa capacité à retenir l'eau et les éléments fertilisants. Il n'a pas été analysé et nous estimerons donc très approximativement les quantités d'éléments minéraux qu'il apporte en prenant des normes dans la bibliographie.
D'après ces normes, 20 t de fumier apportent 136 kg d'azote, mais la plus grande partie sera immobilisée sous forme d'humus. Nous estimerons que seulement 40 kg d'azote sont disponibles pour la culture.

Figure 200 : quantités d'éléments minéraux apportés par la fertilisation minérale (en kg/ha)

Types d'engrais et doses	Quantités d'éléments apportées			
	N	P_2O_5	K_2O	S
• 600 kg de 20-10-20	120	60	120	-
• 160 kg de sulfate de potassium	-	-	80	28
Fumure de fond	**120**	**60**	**200**	**28**
Fumure de couverture • 240 kg de sulfate d'ammonium	50	-	-	55
Fumure minérale totale	**170**	**60**	**200**	**82**

Les quantités d'éléments fertilisants apportés par 20 t/ha de fumier peuvent ainsi être estimées à :
- 40 kg/ha d'azote
- 50 kg/ha de P_2O_5
- 120 kg/ha de K_2O

Les engrais minéraux et le fumier représentent donc des apports totaux de :
- 210 kg/ha d'azote
- 110 kg/ha de P_2O_5
- 320 kg/ha de K_2O
- 80 kg/ha de soufre

(L'offre du sol n'est pas connue)

Résultats des essais

Les résultats de l'expérimentation sont les suivants, exprimés en tonnes de matière verte par hectare :

Témoin **13,5 t/ha**
Traitements phytosanitaires **16 t/ha**
Fertilisation **64,5 t/ha**
Traitements + fertilisation **74 t/ha**

- L'effet de la fertilisation est spectaculaire, la production est presque multipliée par cinq, le rendement passe de 13,5 à 64,5 tonnes de matière verte par hectare.

- Les traitements phytosanitaires permettent une augmentation de rendement de 18%. Ils permettent une meilleure efficacité des fertilisants.

L'effet important de la fertilisation confirme que la fertilité minérale est le principal facteur limitant dans ces sols.

Calcul des exportations par la culture

Il aurait fallu mesurer les teneurs en divers éléments minéraux des choux récoltés dans les différentes parcelles. Mais faute d'analyse, nous pouvons grossièrement évaluer les exportations minérales en utilisant les normes citées dans la bibliographie. D'après ces normes, une tonne de matière verte de chou exporte : 2,64 unités d'azote, 0,99 unités de P_2O_5, 4,28 unités de K_2O

Pour la parcelle traitée et fertilisée, les exportations minérales ont donc été de l'ordre de:

. 74 x 2,64 = 195 unités d'azote
. 74 x 0,99 = 73 unités de P_2O_5
. 74 x 4,28 = 317 unités de K_2O

Le tableau suivant montre que les exportations par la culture sont globalement équivalentes aux apports de la fertilisation pour N et K. Pour le phosphore, les apports sont supérieurs aux exportations, ce surplus risque d'être fixé sous forme inassimilable par les hydroxydes de fer et d'aluminium.
Concernant l'azote, on peut penser que les apports ont été trop importants car il

faut tenir compte des quantités libérées par la minéralisation de la matière organique du sol. Une partie de l'azote minéral a donc certainement été entraînée par les eaux de drainage.

Figure 201 : comparaison des apports d'éléments fertilisants par la fertilisation et des exportations par la culture de chou (Salagnac, 1984).

	N	P_2O_5	K_2O
Apports par le fumier et les engrais	210	110	320
Exportation par la culture	195	73	317
Apports - Exportations	+ 15	+ 37	+ 3

LES SYSTEMES D'ELEVAGE

383

- Peu de terres surexploitées 384
- Des interlocuteurs variés 385
- Une conduite de troupeaux extensive 386
- Les productions animales : des fonctions diverses 389
- Agriculture et élevage : complémentarité et concurrence 390
- Des contraintes à cerner 391

LA REPRODUCTION DES ANIMAUX 393

La vie sexuelle de la femelle 394

- La puberté 394
- Le cycle sexuel 394
- Les chaleurs ou œstrus 395
- L'ovulation 396
- La fécondation 396
- La gestation 396
- La mise-bas 397

La vie sexuelle du mâle 398

- La puberté 398
- La fabrication des spermatozoïdes 398
- La production de sperme 399

Les paramètres d'appréciation de la reproduction 401

- La fécondité 401
- La fertilité 401
- La précocité sexuelle 401
- La prolificité 402
- L'intervalle entre deux mises-bas 403
- La répartition des mises-bas 403
- La carrière 403

Rôle prépondérant de l'alimentation sur la reproduction 405

- Fertilité et fécondité : état corporel et alimentation 405
- Prolificité : rang de la portée, race et alimentation 407
- Intervalle entre deux mises-bas : alimentation et conduite d'élevage 407

La conduite de la reproduction 408

- Préparation des saillies 408
- Réalisation des saillies 409
- Techniques de mise à la reproduction 409
- Le diagnostic de gestation 410
- La gestation et les mises-bas 410

LES BESOINS ALIMENTAIRES ET LA DIGESTION 413

Les besoins des animaux 414
- Vivre et produire 414
- La nature des dépenses 414
- L'entretien et la production 416

L'ingestion et la digestion des aliments 420
- La capacité d'ingestion 420
- La digestion 420

Utilisation digestive et valeur des aliments 428
- La digestibilité 428

NOURRIR AU MIEUX LE TROUPEAU 433

La détermination des besoins d'un troupeau 434
- Inventaire du troupeau 434
- Sexe, âge et poids des animaux 435
- Etat physiologique et niveau de production 436
- Besoins quantitatifs d'entretien et de production 437
- Besoins qualitatifs 445

Les ressources disponibles 448
- La végétation spontanée des espaces non cultivés 448
- Les fourrages cultivés 455
- Les sous-produits agricoles et agro-industriels 457
- L'eau 460

Confronter besoins et ressources 461
- Les calendriers fourragers 461
- Les systèmes d'alimentation 463
- A chacun son système 467

LA SANTÉ ANIMALE 471

Les différents types de maladies 472
- Les maladies transmissibles 472
- Les maladies non transmissibles 477

Le diagnostic de la maladie 478
- L'examen clinique 478
- L'interrogatoire de l'éleveur et la visite d'élevage 478
- L'autopsie et les examens de laboratoire 479

L'élevage à la vallée de Jacmel

Estimé Jean-Baptiste vient d'être affecté comme technicien d'élevage à la Vallée de Jacmel (sud-est d'Haïti) et nous allons découvrir avec lui les systèmes d'élevage de cette petite région.

Très rapidement, Estimé Jean-Baptiste s'aperçoit que les agriculteurs privilégient les productions végétales et que l'élevage est, pour la majorité d'entre eux, une activité secondaire, très dépendante des systèmes de culture.

Les paysans en donnent plusieurs raisons :
- le niveau de production souvent bas : mises bas tardives et espacées, production laitière réduite,
- la petite taille des surfaces exploitées et les faibles disponibilités en ressources fourragères,
- le peu de temps disponible pour le soin des animaux,
- le manque d'argent pour acheter du bétail.

Cette situation peut être améliorée, mais Jean-Baptiste sait qu'il ne pourra proposer des innovations techniques adaptées qu'en ayant une bonne connaissance des pratiques locales. Il cherche donc, dans un premier temps, à comprendre les objectifs des éleveurs et les modes de conduite des troupeaux afin de définir les priorités de son intervention.

PEU DE TERRES SUREXPLOITÉES

Les principales caractéristiques de la région sont regroupées dans l'encadré ci-dessous. On pourra éventuellement les comparer à celles d'autres régions.

La Vallée de Jacmel

Présentation géographique

- localisation : mornes du Sud-Est
- altitude : 300 à 800 m
- superficie : 300 Km²
- paysage : ensemble de collines et de gorges dominées par le plateau de Ridoré (800 m)

Sols

- substrat : calcaire dur, calcaire à plaquette, basalte

Climat

- pluviométrie : 1475 mm (moyenne annuelle)
2 saisons sèches (décembre à mars, 1ère décade de juillet)
- température : 24° (moyenne annuelle)

Ressources en eau

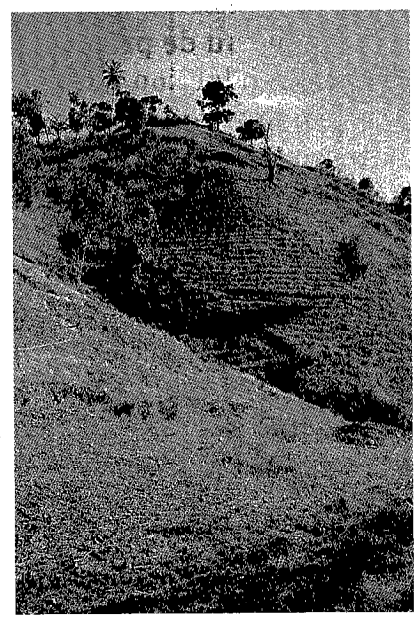
Essentiellement les eaux de résurgence au flanc des mornes et en zone basse. La plupart des sources captées sont taries en saison sèche.

Cultures

Associations variées en fonction de la fertilité des sols (haricot, maïs, igname, sorgho, pois congo, manioc, patate, herbe de Guinée).

Elevage

- bovins et caprins essentiellement
- équidés (transport)
- volailles et lapins (autoconsommation familiale)
- porcs (rares depuis l'abattage systématique pour cause de peste porcine).



Paysages de versants basaltiques et de plateaux calcaires à la Vallée de Jacmel (photos M. Bonnefoy).

Avec le marronage* des anciens esclaves dans les zones boisées, la mise en valeur des terres s'est faite surtout par la culture du café. La pression démographique augmentant (310 hab/km² en 1982) et le marché n'étant plus favorable, les plantations caféières ont été progressivement remplacées par la culture d'espèces vivrières (haricot, maïs, sorgho, tubercules) destinée essentiellement à l'autoconsommation.

Le morcellement des parcelles et la diminution de la surface disponible par exploitation (1,4 carreau en moyenne, soit 1,9 ha par famille en 1986), dus à l'augmentation de la population, ont obligé les paysans à modifier progressivement leurs pratiques agricoles.

*Marronage : fuite des esclaves vers les montagnes pour échapper au travail dans les plantations.

Ils ont compensé ce manque de terres par :
• une intensification des cultures vivrières (associations de plus en plus complexes, rotations plus rapides et réduction des temps de jachère),
• une réduction des surfaces fourragères (herbe de Guinée),
• la mise en culture de zones moins accessibles (éloignées, pentues),
• l'exploitation des derniers îlots forestiers (charbon de bois, construction, artisanat).

Cette intensification a entraîné une surexploitation du milieu dont les conséquences sont :
• une baisse de fertilité des sols cultivés,
• l'apparition de signes d'érosion sur les terres à forte pente récemment mises en culture,
• l'abandon progressif des terres devenues impropres à la culture (jusqu'à 50% en terrain basaltique) et la disparition du gros bétail sur ces zones dégradées.

DES INTERLOCUTEURS VARIÉS

Pour connaître les personnes à qui il devra s'adresser pour proposer des améliorations, Estimé Jean-Baptiste pose les questions suivantes pour chaque espèce animale :

• **conduite du troupeau :**	à qui appartiennent les animaux ? qui s'en occupe ? qui prend les décisons ?
• **commercialisation :**	qui commercialise les animaux et leurs produits ? à quel endroit ? qui sont les acheteurs ?

Rapidement, il apprend que les éleveurs ne sont pas forcément propriétaires de leurs animaux (gardiennage) et, inversement, que le cheptel appartenant à une même personne peut être réparti dans plusieurs exploitations.

Le technicien est donc confronté à plusieurs interlocuteurs, les PROPRIETAIRES des animaux et les ELEVEURS, dont les intérêts peuvent être contradictoires.

De plus, les tâches sont réparties entre tous les membres de la famille (conduite des chèvres par les enfants, utilisation des ânes et mulets par les femmes pour aller au marché...).

La commercialisation a lieu sur les marchés, principalement celui de Ridoré et celui de Blockaus, et concerne plusieurs partenaires :
• les agriculteurs qui vendent leurs productions ou achètent des animaux pour les élever ;
• les maquignons dont l'activité repose sur l'achat et la revente d'animaux chez l'éleveur ou sur le marché. Ils assurent éventuellement le transport des animaux depuis le point d'achat jusqu'aux marchés régionaux où ils seront revendus ;
• les bouchers qui achètent les animaux vivants, les abattent sur place et vendent directement la viande en gros et au détail.

Les personnes concernées par l'élevage

Pour comprendre l'organisation du système d'élevage, il faut connaître :
• les propriétaires des animaux,
• les éleveurs,
• les acheteurs et les vendeurs,
• et qui prend les décisions à chaque niveau.

Dans les jardins cultivés, lianes, vétivers, adventices sarclées sont utilisés comme fourrages.

Ces ressources sont extrêmement variables et liées à la pluviométrie. Pendant la saison des pluies, les fourrages sont très abondants. Ils peuvent l'être encore en début de saison sèche mais leur stade de développement avancé diminue fortement leur valeur nutritive (secs et ligneux).
D'autre part, selon les années et l'importance des pluies, la productivité d'un même pâturage est extrêmement variable. Il est donc très difficile de prévoir, même de façon grossière, la quantité de fourrages dont on disposera l'année suivante.

Le calendrier des cultures joue sur la disponibilité des fourrages. Les jachères longues, sont accessibles toute l'année. En revanche, les résidus de culture, disponibles après récolte, ne sont que temporaires, de même que les jachères courtes enfermées dans des blocs de culture.
Il existe donc une période critique en fin de saison sèche, lorsque les résidus de culture sont consommés et que la préparation des terres pour la saison de mars réduit les surfaces en jachère. Les fourrages cultivés sont alors essentiels.

La difficile évaluation du disponible fourrager. La prédiction du disponible fourrager est très utile pour organiser l'alimentation des animaux surtout en saison sèche.
La mesure de la biomasse herbacée demande du temps et du matériel parfois coûteux. Il s'agit cependant plus d'une estimation que d'une mesure exacte, surtout imprécise pour la production de fourrages ligneux.
Il faut ensuite estimer la valeur alimentaire des différents fourrages qui est très variable.

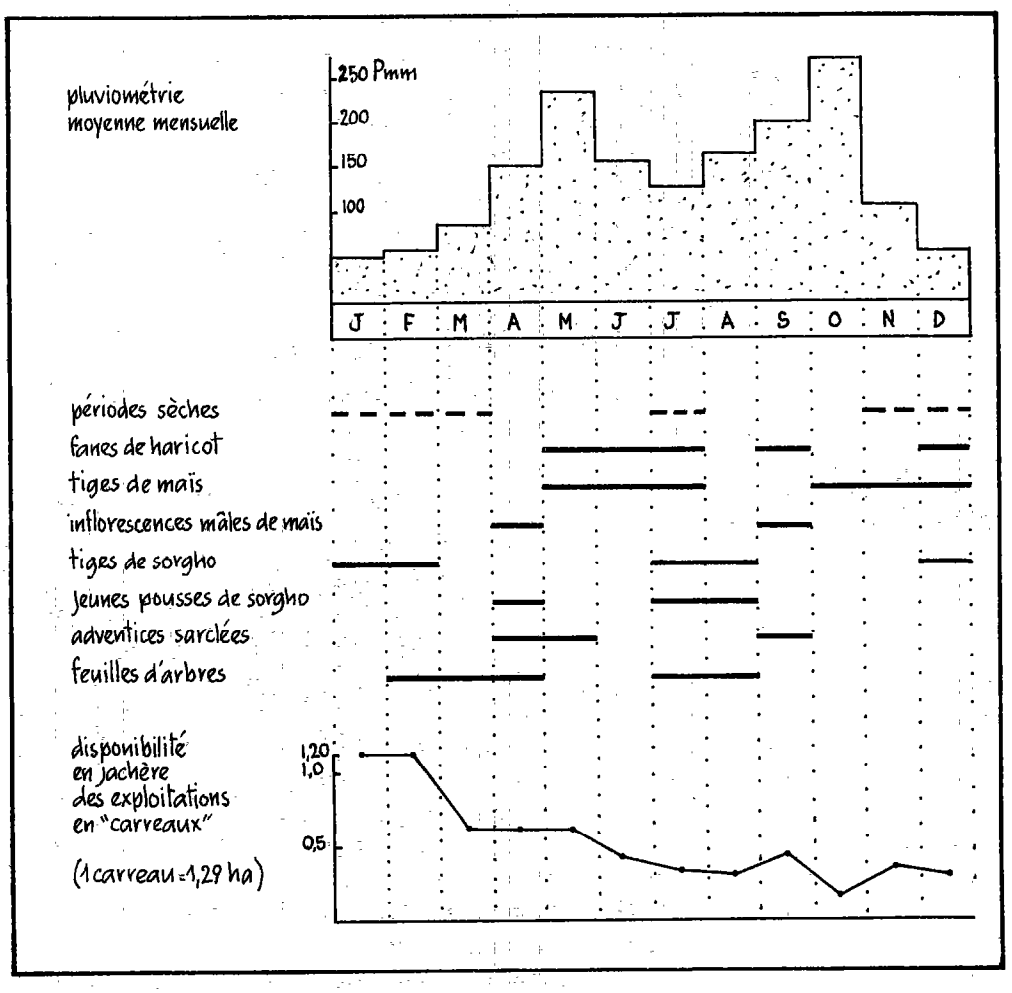


Figure 202 : calendrier fourrager et répartition de la pluviométrie à la Vallée de Jacmel.

Récapitulatif des ressources fourragères

Le disponible fourrager est l'ensemble des fourrages dont peut disposer l'éleveur pour ses animaux à un moment donné.

• Ce sont les parcours, les jachères, les fourrages ligneux, les sous-produits de l'agriculture ...

• Il varie :

- en quantité, en fonction de la pluviométrie,

- en valeur alimentaire : en saison des pluies, les herbes et feuilles sont tendres et nourrissantes alors qu'elles sont très dures et pauvres en saison sèche.

• Pour l'évaluer, il faut :
- connaître le milieu : sols, végétation naturelle, utilisation par l'homme,
- faire un inventaire des différentes ressources fourragères,
- mesurer la production de chaque type de fourrages et déterminer sa valeur alimentaire (à défaut de tables de composition et de valeur alimentaire des fourrages haïtiens).

C'est faire le **bilan fourrager** qui permet de confronter les ressources fourragères disponibles à la demande alimentaire des animaux présents sur l'exploitation. On en déduit ainsi les périodes excédentaires et déficitaires.

UNE MORTALITÉ IMPORTANTE

Les éleveurs se plaignent d'une importante mortalité au sein de leurs troupeaux surtout chez les caprins. Ils l'attribuent principalement aux accidents (pluies, terrains accidentés), à l'attaque nocturne des chiens et aux diarrhées.

- Comment les éleveurs perçoivent la santé de leurs animaux ?
- Quels sont leurs niveaux de reconnaissance des maladies ?
- Quels soins apportent-ils (utilisation de médicaments, de plantes ...) ?

LES PRODUCTIONS ANIMALES : DES FONCTIONS DIVERSES

LA VENTE OU L'AGRANDISSEMENT DU TROUPEAU

Le paysan investit peu pour son troupeau et ne recherche pas un rendement maximal en viande ou en lait. Son principal objectif est la production de jeunes qui seront vendus ou qui agrandiront le troupeau (femelles). La vente d'un jeune caprin permet de financer des dépenses courantes (achat de vêtements, d'outillage manuel, scolarisation des enfants, fonds de roulement d'un petit commerce). La vente d'un bovin permet de faire face à des circonstances exceptionnelles (hospitalisation, funérailles) ou de réaliser un investissemnent important (achat d'une terre, construction d'une maison). L'agrandissement du troupeau est un moyen de capitalisation ou d'épargne.
Seules les viandes de volaille et de lapin, parfois de chèvre, sont consommées par la famille. Le lait est réservé aux enfants et aux malades.



Abattage d'un bovin (section de la carotide) (photo G. de Laubier).

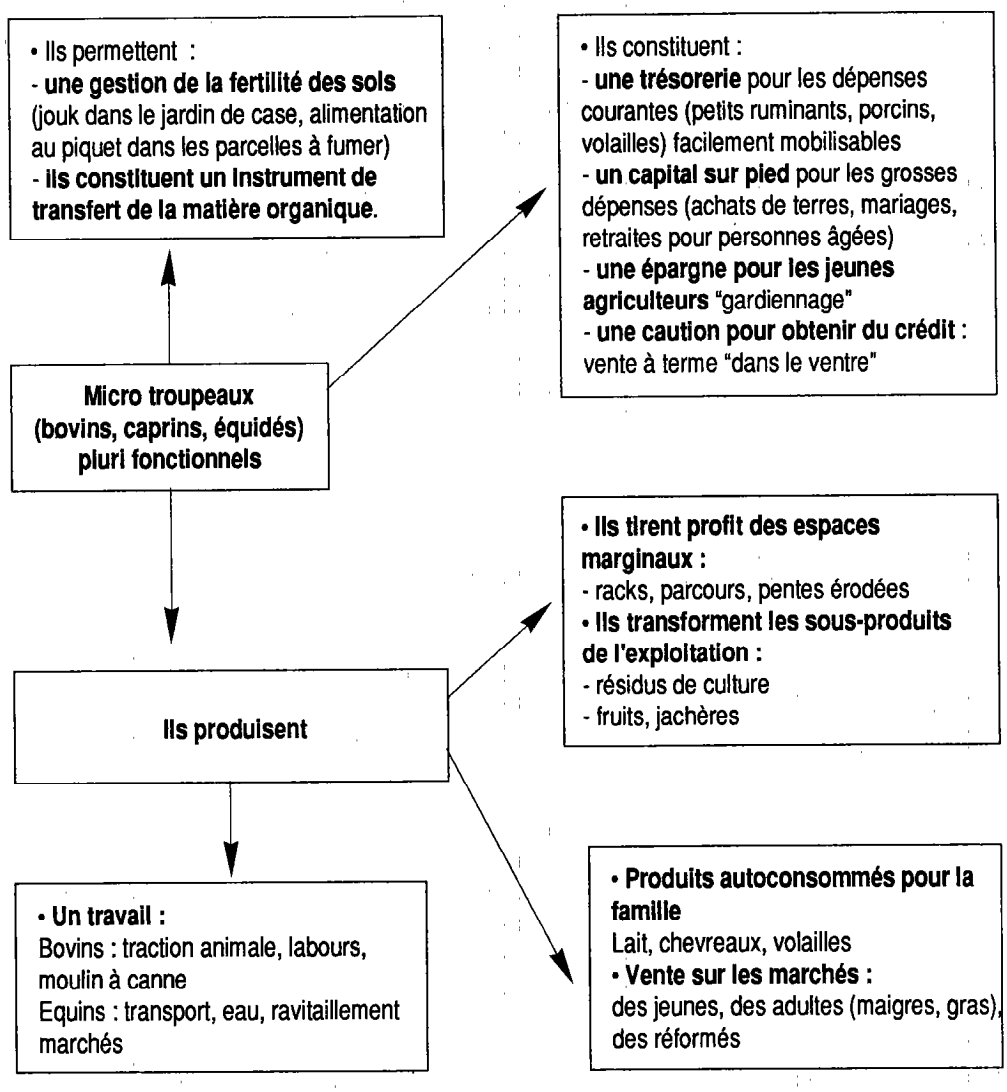
LA FERTILISATION DES TERRES

A la Vallée de Jacmel, les bovins et équins sont mis au piquet sur les parcelles en jachère, avant remise en culture. Leur déplacement quotidien permet de fertiliser toute la parcelle avec leurs déjections. Cela correspond bien à un apport d'éléments fertilisants puisque les fourrages proviennent d'autres parcelles (transfert de fertilité). Le mélange des déjections et des résidus végétaux non consommés est appelé «fumier» par les paysans.

UN MOYEN DE TRANSPORT

Les ânes et mulets sont surtout employés pour le transport des marchandises (vivres vers les marchés, fourrages coupés pour les animaux, transport du vétiver et corvées d'eau). Le cheval est couramment utilisé comme monture.

LES FONCTIONS DE L'ÉLEVAGE EN HAÏTI



AGRICULTURE ET ÉLEVAGE : COMPLÉMENTARITÉ ET CONCURRENCE

Il existe une très forte intégration de l'élevage dans l'agriculture :
- valorisation des résidus de cultures,
- fertilisation des parcelles par les déjections animales,
- valorisation des zones non cultivées (faibles surfaces dans cette région) par le pâturage et la récolte de fourrage.

Il existe cependant une période critique pour certaines exploitations agricoles lorsque toutes les terres sont en culture. Une portion de parcelle doit alors être préservée pour la mise au piquet des animaux. Le vagabondage des animaux

(animaux détachés ou bien jeunes s'éloignant des mères) dans les parcelles cultivées est à cette saison là surtout source de conflits entre agriculteurs.

DES CONTRAINTES À CERNER

Après cette première approche, Estimé Jean-Baptiste cerne mieux les caractéristiques importantes des systèmes d'élevage de la Vallée de Jacmel et les problèmes que rencontrent les éleveurs.

• Les troupeaux sont petits et constitués de plusieurs espèces.

• Les systèmes d'élevage familiaux sont subordonnés aux autres activités agricoles et dépendants des systèmes de culture.

• L'élevage n'a pas uniquement un rôle de production alimentaire. C'est aussi un moyen d'entretien de la fertilité des sols, de transport et d'accumulation de capital.

• L'élevage est soumis à de nombreuses contraintes :

- naturelles : déficit fourrager à la fin de la saison sèche,
- socio-économiques : forte pression foncière, relations de dépendance avec d'autres acteurs économiques,
- agricoles : calendrier des cultures, disponibilités en jachère.

• Le paysan cherche à rentabiliser au mieux les ressources disponibles. L'élevage permet de valoriser des zones non cultivées (zones arides, trop érodées ou trop pentues), ou des ressources en travail encore disponibles (enfants).

Il est nécessaire de bien connaitre le fonctionnement des systèmes d'élevage.

Les interventions des techniciens d'élevage doivent aider l'éleveur à mieux satisfaire ses objectifs, tout en tenant compte de ses contraintes.

Les performances sont sous-exploitées ; mieux géré, l'élevage pourrait certainement être optimisé, mais tout n'est pas si simple. Avant de proposer des améliorations techniques, le technicien va devoir fournir un gros travail d'information auprès de tous ceux qui sont concernés par l'élevage.

Mais il se rend compte aussi qu'il ignore encore beaucoup de choses. Il lui faut approfondir ses connaissances, en particulier sur les potentialités fourragères du terroir et sur les performances des races locales. Cela demande la mise en place de programmes de recherche, sur le terrain et en station expérimentale.

Pour analyser avec précision un système d'élevage, il faut :

• une **méthode et des outils d'analyse** : l'enquête, le suivi, l'expérimentation ;

• calculer des **paramètres** pour mesurer les performances animales, pour estimer les ressources fourragères ;

• comparer ces paramètres à des **références** pour apprécier ces performances et diagnostiquer les problèmes.

La vie sexuelle de la femelle

LA PUBERTÉ

La puberté se définit comme l'âge où la reproduction devient possible. Elle correspond aux premières chaleurs avec ovulation.
L'âge à la puberté est variable suivant les espèces.
En Guadeloupe, on a observé un âge à la puberté de 171 jours pour des truies créoles contre 275 jours pour des truies Large-White élevées dans des conditions équivalentes.
La sous-alimentation des jeunes retarde l'âge de la puberté et donc de la première mise-bas.
Pour les bovins créoles, c'est le poids qui est le facteur déclenchant de la puberté. Ce n'est qu'à 27 mois, alors que le poids est supérieur à 260 kg que les génisses présentent une activité ovarienne et sont aptes à être fécondées.

Figure 203 : caractéristiques sexuelles des femelles de diverses espèces d'après Thibier.

Espèces	Age à la puberté (mois)	Type d'activité sexuelle et période d'activité	Durée du cycle (jours)	Durée de l'œstrus (heures)
Brebis	6-8	Saisonnière (jours décroissants)	17	24-36
Chèvre	8	Saisonnière (jours décroissants)	21	32-40
Jument	12-15	Saisonnière (j. croissants et parfois décroissants)	22	Variable - 6 jours (2-11 jours)
Truie	5-7	Toute l'année (après sevrage)	21	36-48
Vache	10-12	Toute l'année	21	18

LE CYCLE SEXUEL

Le propre de la femelle est de présenter une activité sexuelle de type cyclique. Un certain nombre d'événements précis et déterminés (oestrus, ovulation) vont se renouveler à des intervalles moyens constants propres à l'espèce considérée (fig. 203).
Certaines espèces (vaches, truies) présentent des cycles sexuels toute l'année, d'autres (chèvres, brebis) seulement pendant une partie de l'année. Dans ce cas l'activité sexuelle est dite saisonnière. Pour les petits ruminants, elle s'observe pendant la période des jours décroissants (été, automne). Néanmoins, d'après

Anatomie de l'appareil génital femelle

L'ensemble de l'appareil génital de la femelle se situe dans la cavité abdominale et communique à l'extérieur par la vulve.

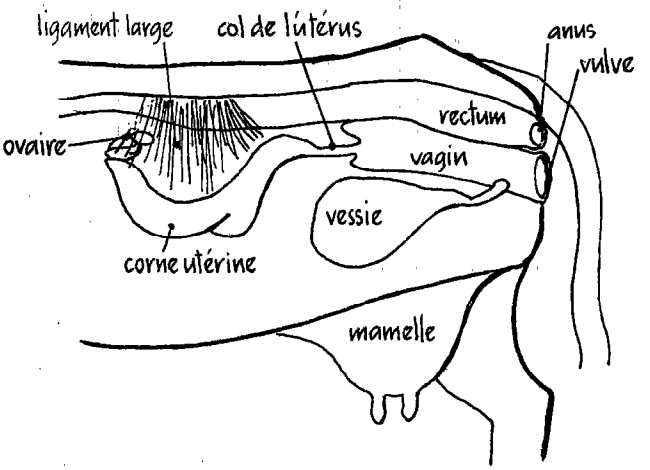


Schéma de l'appareil génital de la vache : organes en place.

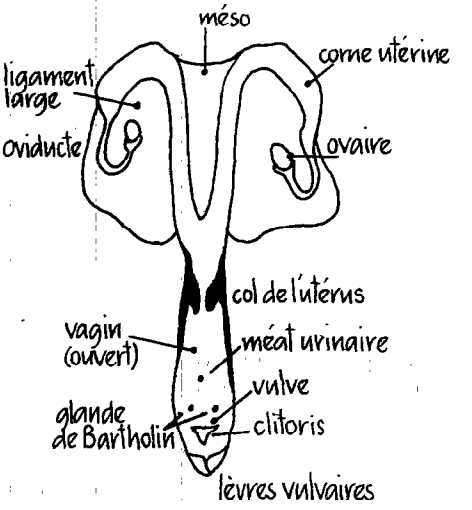


Schéma de l'appareil génital de la vache : organes étalés.

• **Les ovaires** : les ovaires au nombre de 2 produisent les ovules (gamètes femelles) et certaines hormones nécessaires à l'ovulation et à la gestation.

• **Les oviductes** : les oviductes où a lieu la fécondation, relient les ovaires à l'utérus où se déroule la gestation.

• **L'utérus** : toute la gestation s'effectue dans l'utérus.

• **Le vagin** : le vagin est le lieu de dépôt du sperme pendant la copulation.

• **La vulve** : la vulve correspond à l'orifice uro-génital.

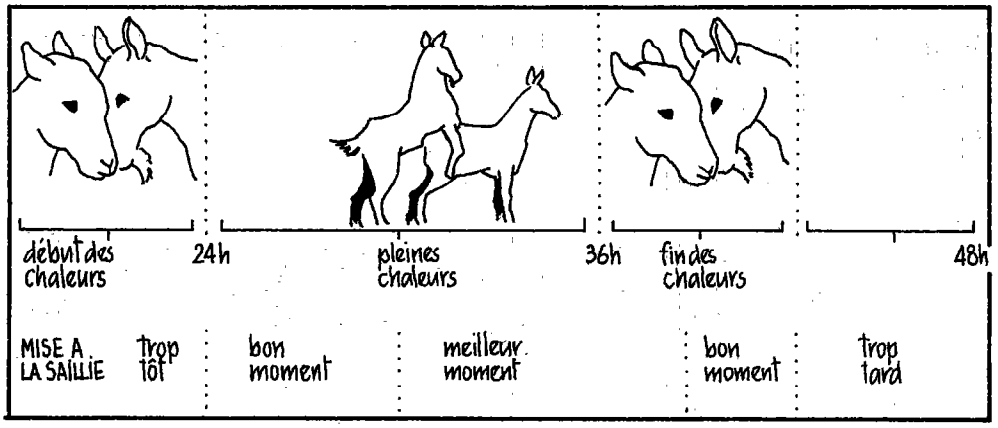
certaines études, il semblerait que, pour les races créoles de petits ruminants, l'effet saison ne soit pas très marqué et qu'elles aient une activité sexuelle étalée sur toute l'année.

L'arrêt des cycles sexuels s'appelle l'anœstrus. Il peut à être :
• normal quand la femelle est en gestation ou en lactation.
• anormal quand les conditions d'alimentation et d'entretien des femelles sont défectueuses (anoestrus de saison sèche, périodes de disette, maladies).

LES CHALEURS OU ŒSTRUS

Une femelle gestante et en bon état général, présente régulièrement des périodes de chaleur pendant lesquelles son comportement est modifié : baisse d'appétit, excitation, recherche du mâle et surtout acceptation du chevauchement. La vulve est gonflée et turgescente. La durée des chaleurs est variable suivant les espèces. L'oestrus accompagne la phase d'ovulation du cycle sexuel. Pour qu'il y ait fécondation, la saillie doit intervenir de 24 à 36 heures après le début des chaleurs (fig. 204).
L'ovulation ne s'accompagne pas nécessairement de chaleurs ; on parle alors de chaleurs silencieuses. Elles surviennent quand les femelles sont sous-alimentées, malades ou n'ont pas suffisamment reconstitué leurs réserves après une mise-bas ou juste après la puberté.

Figure 204 : chaleurs et périodes de saillie chez la chèvre.



L'OVULATION

L'ovulation a lieu de 18 heures (vaches) à 30 heures (petits ruminants) après le début des chaleurs.
Le nombre d'ovules expulsés par l'ovaire (taux d'ovulation) qui va déterminer la prolificité, varie suivant les saisons, l'âge des animaux (minimum chez les jeunes, maximum vers 4-5 ans), la race et l'alimentation (les animaux bien alimentés ou sur-alimentés temporairement ont un taux d'ovulation plus élevé).

LA FÉCONDATION

La fécondation est la rencontre d'un spermatozoïde et d'un ovule (gamètes à n chromosomes) qui va donner naissance à un oeuf (2n chromosomes) qui se transforme en embryon ou foetus.
La fécondation fait intervenir :
• l'accouplement (coït, monte, saillie, lutte, etc.) favorisé par le comportement et l'odeur de la femelle qui excite le mâle ;
• la remontée des spermatozoïdes à travers l'appareil génital de la femelle ;
• la pénétration du spermatozoïde dans l'ovule et la fusion des gamètes. Les spermatozoïdes mettent environ 8 heures pour remonter vers le lieu de la fécondation dans l'oviducte.

La femelle est très sensible aux perturbations qui peuvent entraîner des retards dans la remontée des spermatozoïdes et donc diminuer les chances de fécondation. **Respecter la tranquillité du troupeau pendant la lutte est donc indispensable.**

LA GESTATION

La gestation est la période de la vie de la femelle comprise entre la fécondation et la mise-bas du produit de la conception. Elle est d'une durée très variable suivant les espèces.

Figure 205 : durée moyenne de gestation chez les principales femelles domestiques.

Espèces	En jours	En mois et semaines
Jument	345	11 mois et demi
Vache	280	9 mois et 1 semaine
Brebis	150	5 mois
Chèvre	150	5 mois
Truie	115	3 mois, 3 semaines, 3 jours

Au début de la gestation, le jeune embryon développe des membranes protectrices et émigre de l'oviducte dans l'utérus où il va s'attacher à la paroi interne et développer un placenta. C'est la nidation. Les éléments nutritifs nécessaires au développement de l'embryon passent de la mère au foetus à travers le placenta. Lorsqu'il y a des ovulations multiples (petits ruminants, truies), plusieurs embryons se développent et se répartissent également dans les deux cornes utérines. Quand la gestation ne va pas à son terme, il y a avortement. Les causes d'avortement sont nombreuses : chocs, chutes, infections (brucellose...) etc.

LA MISE-BAS

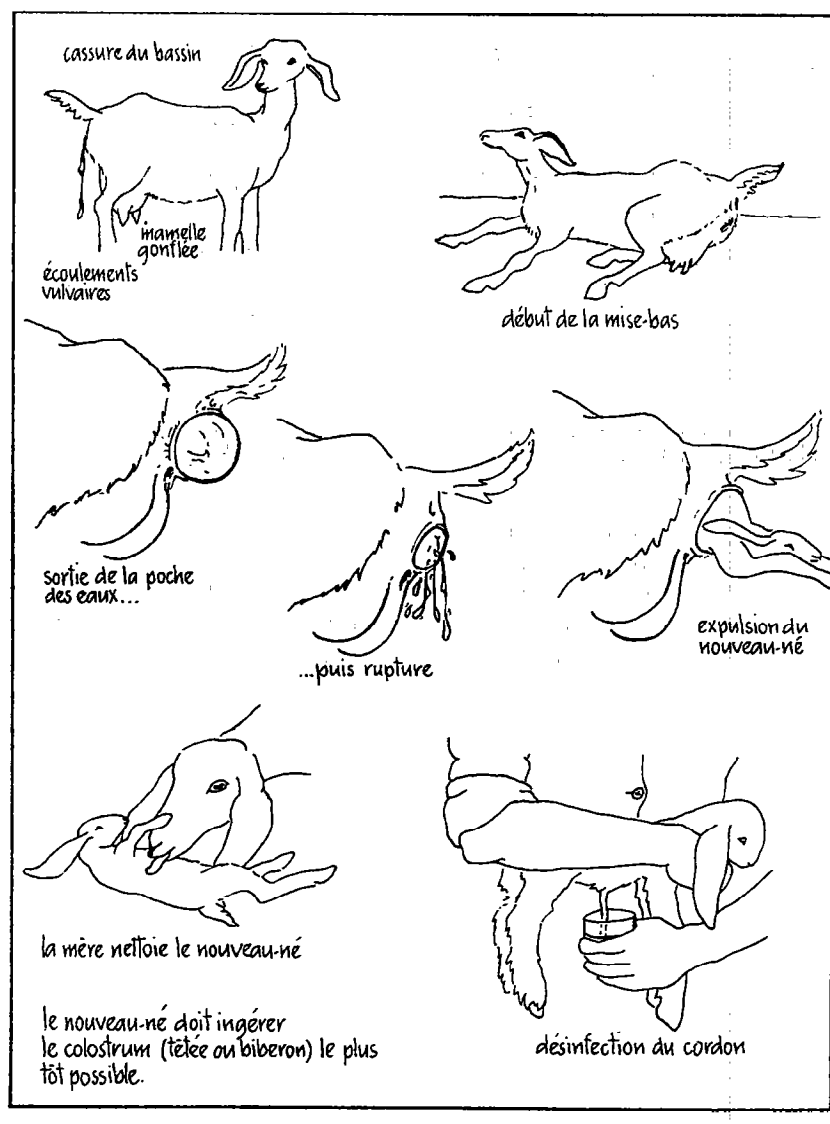
La mise-bas, aussi appelée parturition, vêlage (bovins), agnelage (ovins), est précédée de modifications anatomiques (monte de lait dans les mamelles, gonflement des lèvres vulvaires, écoulement d'un liquide glaireux) et comportementales (recherche de niche, isolement).

La durée de la mise-bas varie assez largement, de quelques minutes à quelques heures suivant les espèces, l'âge, l'état d'entretien des mères. Plus la mise-bas se prolonge, plus les risques de mortalité des nouveaux-nés sont élevés (en particulier chez la truie où les derniers porcelets de la portée sont les plus exposés).

Après la mise-bas, le placenta est expulsé, c'est la délivrance. Chez la vache, la délivrance s'effectue quelques heures après le vêlage.

Juste après la mise-bas, la mère lèche intensément ses petits et dans les premières 24 heures apprend à les reconnaître parmi les autres. Pendant cette période, les jeunes animaux ingèrent le colostrum (lait des premiers jours) qui les protégera contre les maladies néonatales.

Figure 206 : les étapes de la mise-bas.



La vie sexuelle du mâle

LA PUBERTÉ

L'âge de la puberté est variable suivant les espèces (6 mois chez les caprins, 18 mois chez les bovins).
Il varie suivant la saison de naissance et le poids de l'animal. Des animaux en bon état et bien nourris ont une puberté plus précoce.

Figure 207 : âge de la puberté et de la mise à la reproduction chez les mâles.

Espèces	Age de la puberté	Age optimal de mise à la reproduction
Etalon		4 ans
Taureau	18 mois	3 ans
Bélier	6-8 mois	18 mois
Bouc	6-8 mois	18 mois
Verrat	6 mois	10-12 mois
Lapin	7-9 mois	1 an
Coq	4-5 mois	à partir de 6 mois

LA FABRICATION DES SPERMATOZOÏDES

Le testicule commence fabriquer des spermatozoïdes un peu avant la puberté. La durée de fabrication d'un spermatozoïde dans le testicule est de 2 mois. En pratique, cela signifie qu'il faudra intervenir sur les mâles réservés à la lutte deux mois avant celle-ci et qu'une perturbation de la fonction sexuelle du mâle aura des conséquences deux mois plus tard.

Anatomie de l'appareil génital mâle

Contrairement à la femelle, une partie des organes génitaux du mâle est externe. L'éleveur devra porter une attention toute particulière à ces organes avant et pendant les périodes de lutte.

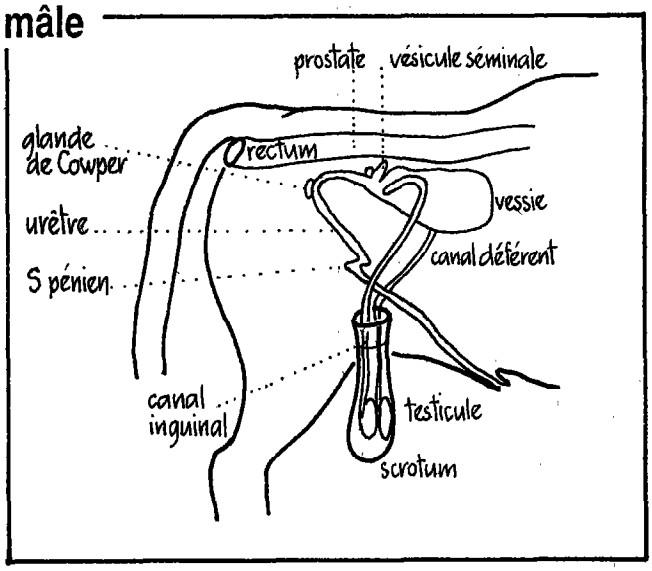


Schéma de l'appareil génital du taureau : organes en place.

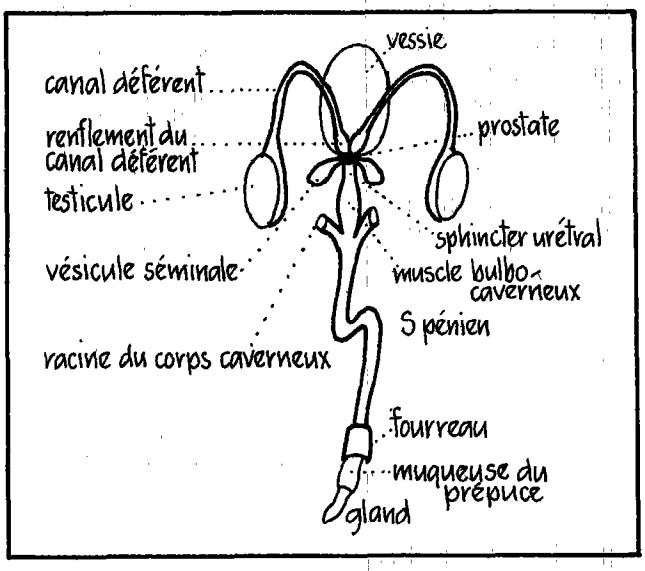


Schéma de l'appareil génital du taureau : organes étalés.

• **Les testicules** : situés à l'intérieur du scrotum, les testicules produisent et stockent le sperme qui contient les spermatozoïdes (gamètes mâles) et le liquide séminal. Les testicules élaborent aussi certaines hormones mâles.

• **L'urètre et le canal déférent** : ils permettent le transit du sperme des testicules au pénis.
• **Le pénis** : c'est l'organe de copulation qui permet l'émission du sperme dans le tractus génital de la femelle.

LA PRODUCTION DE SPERME

Le volume de l'éjaculat et sa concentration en spermatozoïdes est variable suivant les espèces (fig. 208). Le volume de l'éjaculat du verrat (250 ml) est important mais sa concentration en spermatozoïdes est faible.

Figure 208 : caractéristiques des semences des mâles des espèces domestiques.

Espèce	Volume moyen de l'éjaculat en ml	Nb de spermatozoïdes en millions/ml
Buffle	3	900
Taureau	5	1000
Bouc	0,7	2700
Bélier	1	2500
Verrat	250	125

La quantité et la qualité du sperme (nombre de spermatozoïdes par ml, mobilité) varient en fonction de nombreux facteurs liés au mâle lui même (âge, poids, état général) ou à son environnement (heure, jour, température extérieure). Par exemple, les fortes chaleurs diminuent la qualité du sperme (fig. 209). L'effet retard observé entre les fortes chaleurs et la baisse de qualité du sperme est du au temps de maturation des spermatozoïdes dans le testicule.

Les races créoles sont moins sensibles aux variations de l'environnement que les races importées et la production de spermatozoïdes de bonne qualité est plus régulière tout au long de l'année.

Figure 209 : variations saisonnières de la qualité du sperme chez le jeune en station d'insémination artificielle à Cuba.

* La motilité exprime la vigueur des spermatozoïdes.

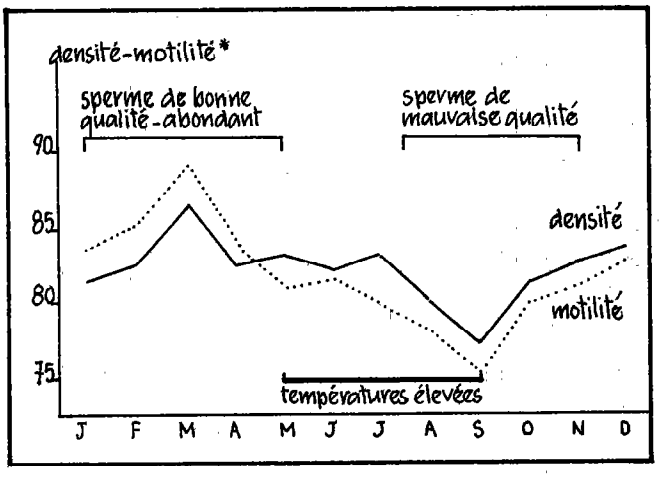


Figure 210 : caractéristiques zootechniques des taureaux et boucs créoles (INRA-CRAAG - Guadeloupe 1983).

	Taureau	Bouc
Poids à la naissance (gramme)	26	
Croissance de 0 à 155 jours (g/j)	610	
Croissance post sevrage (g/j)	700	
Poids à la puberté (kg)	280	12
Poids adulte (kg)	590	
Diamètre testiculaire à la puberté (cm)	4,74	2,5 à 3,9

Les paramètres d'appréciation de la reproduction

Pour pouvoir apprécier les capacités de reproduction d'un animal ou d'un troupeau, il est utile de calculer des paramètres de performance, de les comparer entre eux ou à des valeurs de référence. Ces paramètres sont en quelque sorte pour l'élevage les équivalents de ce que sont, pour l'agriculture, les composantes du rendement.

LA FÉCONDITÉ

La fécondité est l'aptitude de la femelle à donner la vie. Elle correspond au nombre d'animaux vivants auxquels une femelle a donné naissance au cours de sa carrière.
Pour un troupeau, le **taux de fécondité** est le nombre de produits nés vivants sur le nombre de femelles mises à la reproduction pour une période donnée. Il dépend de la fertilité et de la prolificité.

LA FERTILITÉ

La fertilité est l'aptitude de la femelle à être fécondée.
Pour un troupeau, le taux de fertilité est le nombre de femelles fécondes sur le nombre de femelles mises à la reproduction pour une période donnée.
Le taux de fertilité exact est souvent difficile à obtenir car il doit tenir compte des avortements (précoces et tardifs) qui passent souvent inaperçus. Le taux de fertilité est donc souvent estimé par le nombre de mises-bas observées sur le nombre de femelles mises à la reproduction.

LA PRÉCOCITÉ SEXUELLE

La précocité sexuelle ou âge de la puberté est souvent estimé de manière indirecte par l'âge à la première mise-bas duquel on retranche la durée de gestation de l'espèce considérée. En fait ce calcul permet de définir l'âge à la première saillie fécondante, qui peut être différent de l'âge de la puberté en raison de conditions défavorables ou d'un choix délibéré de l'éleveur (voir plus loin : la conduite de la reproduction).

Figure 212 : définition et calculs des paramètres utilisés au cours d'une analyse démographique

Paramètres	Définitions-Calculs	Remarques
Taux de fécondité	= (nbre annuel de naissances / nbre de femelles en âge de reproduire) x 100	La fécondité dépend de la fertilité, de la prolificité et de la précocité sexuelle. Elle est souvent sous-estimée (oubli des jeunes morts ou vendus à la naissance ou peu après).
Taux de fertilité	= (nbre de mises-bas / nbre de femelles en âge de reproduire) x 100	La fertilité traduit l'aptitude d'une femelle à être fécondée.
Prolificité	= nbre de produits nés vivants par mise-bas	• lié à l'espèce, la race • indique le nombre de naissances multiples
Mortalité	Total décès	La mortalité est souvent calculée par classe d'âge (plus fréquente chez les jeunes animaux)
Productivité numérique	= (nbre annuel de jeunes sevrés / nbre de femelles en âge de reproduire) x 100	Encore appelé taux de sevrage
Taux d'exploitation numérique	= (nbre d'animaux sortis définitivement / effectif moyen du troupeau) x 100	Ne sont pas comptées les morts naturelles dans les sorties définitives
Croit numérique brut	= ((effectif final - effectif début exercice) / effectif moyen du troupeau) x 100	Le croit exprime le bilan de l'accroissement naturel et de l'exploitation du troupeau. Il peut être positif, négatif ou nul
Croit numérique net	Même calcul que croit brut, sans tenir compte des apports d'animaux extérieurs (achats, dons, héritages)	
Rendement numérique	Taux d'exploitation + croit net	Quand le croit est négatif, le rendement numérique est inférieur au taux d'exploitation.

Rôle prépondérant de l'alimentation sur la reproduction

FERTILITÉ ET FÉCONDITÉ : ÉTAT CORPOREL ET ALIMENTATION

La **sous-alimentation** des reproducteurs provoque :

- l'arrêt de la production de spermatozoïdes chez le mâle,
- le retard de la puberté chez la femelle,
- la prolongation anormale de l'anœstrus,
- la multiplication des avortements précoces.

Les mises-bas des chèvres haïtiennes élevées en plaine et en altitude s'effectuent tout au long de l'année, mais 50% sont regroupées en 3-4 mois. Cependant, suivant les régions, les pics de mises-bas sont différents.

Figure 213 : répartition des mises-bas caprines en situation de plaine en Haïti

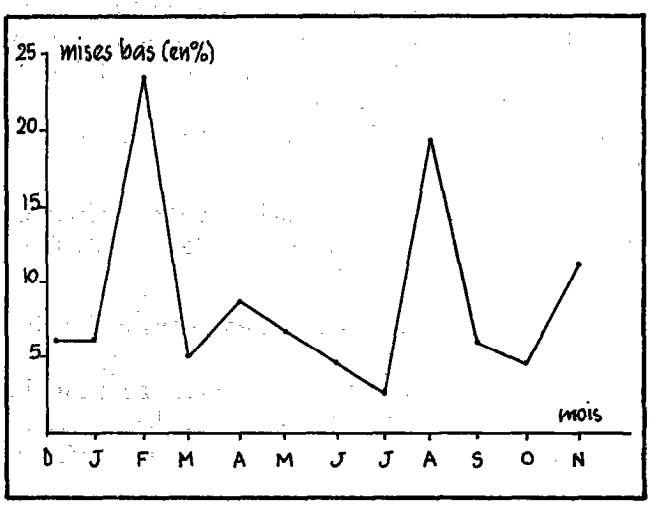
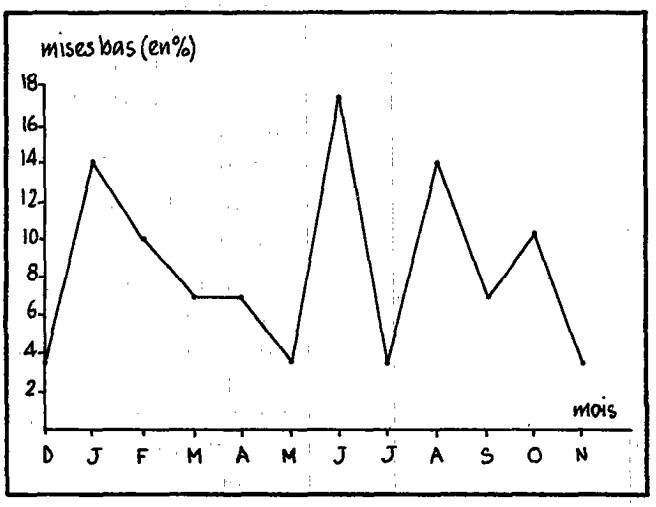


Figure 214 : répartition des mises-bas caprines en situation d'altitude en Haïti



• **En plaine** : on note deux périodes principales de mises-bas, février et août, totalisant chacune environ 20 % du total des mises-bas de l'année, ainsi qu'un troisième pic, plus petit, au mois de novembre. Cette périodicité est mettre en relation directe avec les disponibilités alimentaires durant les mois précédant les fécondations c'est-à-dire août, février et mai. Les mois de mai et août sont, en effet, les deux mois où la pluviométrie est la plus importante, assurant la repousse des herbes de bordure de chemins et des zones incultes (les cultures occupant la quasi totalité de l'espace cultivable). Les fécondations importantes de mars sont liées aux disponibilités des résidus de culture (chaumes de sorgho en février). De plus

la répartition des disponibilités alimentaires, avec des conditions (systèmes de culture/pluviométrie) optimales à deux périodes de l'année, février et août, permet une meilleure alimentation des jeunes, puisque les mises-bas ont lieu ces mêmes époques.

• **En zone d'altitude**, où la pluviométrie est beaucoup plus étalée, et où le système de culture en place n'offre que peu de résidus, d'ailleurs destinés en priorité au gros bétail, il en va tout autrement. Les deux tiers des mises-bas sont regroupées sur 6 mois. Les fécondations plus nombreuses de janvier, mars et août sont liées à la repousse des herbes (pluviométrie) sur les «terrains-cabris» qui ne sont pas enclavés, d'octobre à décembre.
De la même manière, l'écart entre les mises-bas des chèvres beaucoup plus important en zone d'altitude (438 jours) qu'en zone de plaine (273 jours) est du, en grande partie, aux déficits alimentaires plus importants et plus longs en altitude.

Figure 215 : performances des caprins créoles en Haïti et en Guadeloupe

	Haïti		Guadeloupe	
	Plaine	Altitude	Mise-bas saison des pluies	Mise-bas saison sèche
Ecarts entre mises-bas (jours)	273	438	210	246
Intervalle mises-bas/fécondation	127	292	64	100
Nombre de portées/femelle/an	1,33	0,83	1,5	1,7

Les **besoins en minéraux** sont importants au moment de la lutte et en gestation-lactation. Si les animaux ne trouvent pas minéraux et vitamines en quantité suffisante dans leur alimentation (carence des fourrages), la fertilité diminue.

D'autres facteurs interviennent sur la fertilité :

• **le climat** : les fortes chaleurs diminuent la spermatogénèse et peuvent provoquer des avortements. L'exposition au soleil entraîne les mêmes conséquences et, dans la mesure du possible, il faut réserver les endroits ombragés pour la lutte ou réaliser des abris simples pour les heures chaudes de la journée.
Les races locales sont en général moins sensibles aux variations du milieu climatique que les races importées.

• **l'âge** : plus les animaux vieillissent, plus leurs capacités de reproduction faiblissent. A partir d'un certain âge, elles cessent totalement : c'est la stérilité.

• **les pratiques d'élevage** :
- l'allaitement prolongé des jeunes retarde la reprise des cycles oestraux chez les mères et allonge l'intervalle entre deux mises-bas,
- une fécondation à une époque défavorable aboutit à une mise-bas dans de mauvaises conditions alimentaires. Les jeunes sont mal nourris et les mères ne pourront pas reconstituer leurs réserves ce qui retarde la reprise de l'activité sexuelle.

• **les maladies** :
- la brucellose est une des principales causes d'avortement tardif des ruminants. Elle provoque également une mortalité des jeunes et l'infécondité des femelles. D'autres maladies provoquent des avortements : la trypanosomiase, la piroplasmose, la listriose, etc,
- les vaginites (inflammation du vagin) et les métrites (inflammation de l'utérus) s'opposent à un accouplement correct et à une bonne nidification. L'inflammation de l'épidydime (glande de l'appareil sexuel), souvent d'origine infectieuse, rend le mâle peu fertile et même stérile.
Enfin et de façon plus générale, toutes les maladies (parasitaires notamment) affaiblissent l'organisme maternel et entraînent une baisse de fertilité.

PROLIFICITÉ : RANG DE LA PORTÉE, RACE ET ALIMENTATION

Les primipares (femelles mettant bas pour la première fois) ont des portées plus petites que les multipares (femelles ayant déjà mis-bas). Par exemple, en Guadeloupe, on observe pour les chèvres primipares une porte moyenne de 1,67 chevreaux et 2,22 chevreaux pour les multipares. Cette caractéristique se retrouve pour toutes les espèces prolifiques et particulièrement les porcins.

Certaines races dans des conditions d'élevage équivalentes sont plus prolifiques que d'autres (les races de porc chinoises par rapport aux races européennes).

Enfin l'alimentation joue également un rôle important sur la prolificité. En Haïti, chez les caprins dans les conditions traditionnelles d'élevage, on observe un nombre moyen de petits par portée de 1,8 en plaine et de 1,6 en altitude où les conditions d'alimentation sont moins bonnes. Près de la moitié des mises-bas en altitude sont constituées de portées simples alors qu'en plaine, elles n'en représente que le quart.

INTERVALLE ENTRE DEUX MISES-BAS : ALIMENTATION ET CONDUITE D'ÉLEVAGE

Les conditions d'alimentation dans l'allongement de la période entre deux mises-bas interviennent directement par la diminution de la fertilité des femelles et indirectement par la présence prolongée sous la mère des petits qui ne sont pas sevrés du fait du déficit alimentaire.

L'absence de mâles actifs dans le troupeau augmente l'intervalle moyen entre deux mises-bas, de même qu'une mauvaise détection des chaleurs, principalement quand les animaux sont enfermés ou attachés. Cette dernière cause est souvent la plus importante quand l'éleveur est pris par d'autres occupations dans l'exploitation.

La conduite de la reproduction

Généralement, en zone tropicale, les races locales peuvent se reproduire toute l'année et la présence permanente du mâle parmi les femelles entraîne des saillies étalées. Il en résulte une baisse de la fécondité, des mortalités importantes à certaines périodes et une faible croissance sur les jeunes animaux qui restent vivants.

Le premier objectif du contrôle de la reproduction est donc d'obtenir des périodes choisies à l'avance (en fonction des disponibilités alimentaires ou de main d'oeuvre) le plus grand nombre de femelles mettant bas (fertilité) dans le moins de temps possible (bonne synchronisation).

PRÉPARATION DES SAILLIES

CONSTITUTION ET ISOLEMENT DES LOTS

Il est préférable, quelques semaines avant la saillie de constituer le troupeau qui va à être mis à la reproduction et donc d'éliminer les animaux qui doivent à être réformés (femelles trop âgées, stériles, malades, élevant mal leurs jeunes, etc.).

C'est à ce moment qu'il faut introduire dans le troupeau, si ce n'est déjà fait, les jeunes femelles mises à la lutte pour la première fois. Ces jeunes femelles devront être d'âge et de poids suffisant pour qu'il y ait fécondation (260 kg pour les bovins créoles, 15 kg pour les chevrettes et 24 kg pour les agnelles).

Pour obtenir une bonne fertilité en toute saison et, particulièrement pour les petits ruminants, il est très souhaitable de recourir à l'effet mâle (voir plus loin) qui permet d'induire des cycles chez les femelles en anoestrus.Cette technique n'est valable que lorsque les femelles ont été séparées du mâle (vue, sons et odeur) pendant au moins trois semaines avant la lutte.

PRÉPARATION DES ANIMAUX

Une préparation alimentaire des femelles peut commencer 8 à 15 jours avant la saillie, c'est le «flushing». La distribution d'un aliment complémentaire ou d'un fourrage de bonne qualité améliore la fertilité en déclenchant une nouvelle ovulation chez les femelles en anoestrus.

De même, pour les mâles, une alimentation de bonne qualité deux mois avant les saillies augmente le volume testiculaire et la qualité du sperme. Ces pratiques sont spécialement indiquées quand les saillies se déroulent en période de déficit alimentaire (saison sèche).

Tous les animaux devront à être déparasités et l'éleveur devra prendre garde aux boiteries qui entraînent toujours une baisse de fertilité (impossibilité du chevauchement).

RÉALISATION DES SAILLIES

DÉTECTION DES CHALEURS

La détection des chaleurs au pâturage ne pose, en général, pas de problème à un éleveur expérimenté. Elle demande néanmoins un certain temps, pour observer attentivement les femelles. En cas de surcharge de travail, certaines femelles en chaleur pourront ne pas être détectées et la fertilité globale du troupeau sera diminuée.

En stabulation ou l'attache, la détection des chaleurs est plus délicate car seules les modifications physiologiques et anatomiques trahissent l'oestrus. Dans ce cas, l'introduction d'un mâle vasectomisé (dont les cordons testiculaires sont coupés) est le meilleur moyen pour indiquer les femelles en chaleur : il cherche à les saillir sans qu'il y ait de risques de fécondation.

UTILISATION DE L'EFFET MÂLE

L'effet mâle est la brusque réintroduction de mâles dans une troupe de femelles après une séparation complète d'au moins 3 semaines. Elle provoque la reprise des cycles chez la quasi totalité des femelles en anoestrus (principalement chez la chèvre).

Au cours d'une expérimentation en Guadeloupe, l'effet mâle a permis d'obtenir trois fois plus de chevreaux. Cette technique peut être contraignante en main d'oeuvre mais elle est peu coûteuse.

TECHNIQUES DE MISE À LA REPRODUCTION

LA MONTE EN LIBERTÉ

Ce sont les reproducteurs brutalement réintroduits qui induisent les cycles et qui réalisent les fécondations. La présence des mâles avec les femelles doit à être suffisamment longue (durée d'au moins deux cycles oestral) pour que toutes les femelles puissent être saillies au moins deux fois.

La monte en liberté a l'avantage de diminuer le temps de surveillance du troupeau et, dans certains cas, d'augmenter la fertilité globale par une meilleur détection des femelles en chaleur par les mâles.

• Lorsque plusieurs mâles entiers sont introduits parmi les femelles : certains mâles peuvent s'épuiser rapidement ou se désintéresser de quelques femelles. La paternité des produits et les dates de mises-bas ne seront pas connus.
L'utilisation d'un harnais marqueur permet de connaître les dates et pourcentages de saillies et de prévoir les mises-bas.

• Lorsqu'il y a un seul mâle par lot de femelle : l'éleveur connaît la paternité des produits. En revanche, si le mâle utilisé est défaillant, il n'y a pas de possibilité de rattrapage par un autre. Dans ce cas l'utilisation du harnais marqueur pour contrôler les femelles effectivement saillies est recommandée.

LA MONTE EN MAIN

Après détection des chaleurs (par l'éleveur, par un mâle vasectomisé ou par un mâle portant un tablier empêchant la saillie), les femelles sont mises en présence du mâle choisi pour réaliser la saillie (le matin de bonne heure de préférence). Pour augmenter les chances de fécondation, une femelle sera saillie au moins deux fois pendant la période de mise à la reproduction.

L'INSÉMINATION ARTIFICIELLE

L'insémination artificielle consiste féconder une femelle avec du sperme (frais ou congelé) préalablement prélevé sur un mâle et introduit dans le vagin de la femelle en chaleur à l'aide d'une sonde.

L'insémination artificielle offre de nombreux avantages mais nécessite une infrastructure et une technicité importante pour à être utilisée à une large échelle. Nous ne la développerons pas ici.
Dans tous les cas de figure, des modifications de l'environnement pendant la monte (alimentation, climat, manipulations) sont à déconseiller vivement car elles entraînent toujours une baisse de la fertilité.

LE DIAGNOSTIC DE GESTATION

Le retour en chaleur des femelles saillies indique que la fécondation ne s'est pas effectuée et qu'elles ne sont pas gestantes. Elles doivent alors être remises à la saillie.

Si le retour en chaleur n'a pas pu à être observé, certains signes morphologiques indiquant la gestation mais intervenant tardivement peuvent à être observés : tendance à l'engraissement, développement du tiers inférieur de l'abdomen puis développement de la mamelle.
Des diagnostics de gestation plus précoces existent mais nécessitent une certaine technicité : palpation transrectale, dosages hormonaux, échographie.

LA GESTATION ET LES MISES-BAS

Toute gestation qui n'arrive pas à son terme est un avortement. Ceux-ci peuvent être traumatiques, alimentaires et surtout infectieux. Dans ce cas, pour éviter d'autres avortements dans le troupeau et une éventuelle contamination de l'homme (par la brucellose notamment), certaines précautions doivent être prises.
Pour tous les avortements constatés:
- détruire le foetus et le placenta,
- isoler la femelle qui a avorté,
- rechercher une éventuelle cause infectieuse (isolement de bactéries, recherches sérologiques).

Avant la mise-bas et principalement pendant la saison sèche ou en période de déficit alimentaire, il est recommandé de distribuer un complément d'alimentation aux femelles (concentré, fourrages de bonne qualité) pour permettre un bon démarrage de la lactation qui réduit la mortalité des jeunes sous la mère.

Il est recommandé de prendre certaines précautions pendant le déroulement de la mise-bas : femelle isolée ou ramenée près de la maison pour éviter l'attaque des nouveaux-nés par les chiens, mises-bas sur un terrain sec et plat et sur une litière de préférence.

Pour optimiser la productivité d'un troupeau, il ne suffit pas de vouloir augmenter le nombre de jeunes par mère, il faut aussi raisonner la répartition des naissances sur l'année en tenant compte des possibilités alimentaires, de l'état d'entretien des animaux, de la main d'oeuvre ainsi que des exigences du marché.

Pour toutes les espèces, l'alimentation apparaît en Haïti comme le principal facteur limitant de la reproduction des races créoles pourtant adaptées.

Avant toute intervention sur un troupeau, une analyse conjointe des paramètres de reproduction et des disponibilités alimentaires devra donc être mise en oeuvre.

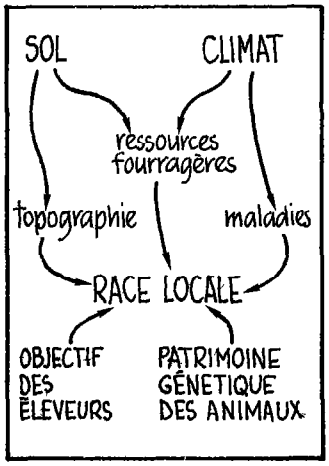
Les races créoles

La race créole (vaches, chèvres, moutons, porcs) est la fille du climat et du sol. Elle est née des ressources alimentaires, du milieu et des conditions générales de l'élevage, du patrimoine génétique, mémoire de l'évolution passée des animaux et des objectifs de l'éleveur qui ont sélectionné des types bien définis au fil des générations.

Chèvre créole
(photo J. Cavalié)



Facteurs d'adaptation des races



Une grande faculté d'adaptation

• Aux conditions climatiques : bonne résistance aux températures élevées et aux pertes d'eau corporelles.

• Aux maladies endémiques : parasites internes et externes, certaines maladies infectieuses.

• Au milieu physique et aux ressources locales : résistance importante aux périodes de déficit alimentaire annuelles ou exceptionnelles.

Un patrimoine génétique riche à préserver

• Un immense patrimoine : l'adaptation des races créoles leur milieu s'est inscrite avec le temps dans leurs chromosomes. C'est un immense réservoir génétique dans lequel l'homme peut puiser pour les améliorer tout en préservant leur adaptation.

• un patrimoine sous-utilisé : les faibles performances des races créoles en milieu villageois traditionnel ne sont pas liées à leurs caractéristiques génétiques mais des conditions d'élevage actuellement non satisfaisantes (alimentation, reproduction, maladies).

les besoins alimentaires et la digestion

Chaque animal domestique doit s'alimenter quotidiennement pour, dans un premier temps, assurer sa vie et quelquefois sa survie quand les conditions deviennent particulièrement difficiles. La vie d'un animal, c'est-à-dire le maintien de l'intégrité de ses tissus, le fonctionnement de son organisme, son activité physique spontanée, l'utilisation d'aliments, la lutte contre des conditions climatiques défavorables impliquent diverses dépenses dites d'**entretien**. L'animal va devoir se nourrir pour compenser les dépenses d'entretien qui contribuent à le maintenir en vie.

Quand les aliments à sa disposition sont suffisants et bien adaptés, l'animal va produire ce que l'éleveur attend de lui : viande, lait, jeunes, laine, travail... Dans ce cas, en plus des dépenses d'entretien, l'alimentation devra couvrir les dépenses nécessaires à ces productions.

C'est la **digestion** qui va permettre de transformer les aliments en **nutriments** assimilables par l'organisme pour satisfaire ses besoins d'entretien et de production. Les mécanismes de cette digestion sont très différents selon les espèces. Grâce à cette transformation, les aliments acquièrent une **valeur alimentaire** caractéristique pour chacun d'entre eux et chaque espèce animale.

Les besoins des animaux

VIVRE ET PRODUIRE

Les phases productives, improductives ou très peu productives (période entre le sevrage et la mi-gestation par exemple) alternent tout au long de la vie de l'animal domestique.

Dans les systèmes d'élevage dits intensifiés, les périodes improductives sont réduites au minimum et les animaux restent en production permanente tout au long de leur carrière dans l'exploitation. Les femelles sont en croissance, en gestation ou en lactation. Les jeunes mâles sont en croissance continue pour produire beaucoup de viande en un minimum de temps. Les mâles adultes servent à la reproduction ou produisent du travail.

Pour maîtriser l'alimentation de ses animaux, l'éleveur doit dans tous les cas, couvrir tout au long de la vie de l'animal les dépenses d'entretien auxquelles s'ajoutent pendant les phases productives, les dépenses de production.

LA NATURE DES DÉPENSES

Les dépenses d'entretien et de production engendrent des besoins physiologiques d'eau, d'énergie, de protéines, de minéraux et de vitamines.

L'EAU

L'eau assure de nombreuses fonctions indispensables à la vie. Elle représente jusqu'à 2/3 du poids vif d'un animal. Sa concentration est variable dans les différents tissus, de 70% à l'intérieur des cellules à 80% dans le sang, la lymphe et le contenu digestif. Elle contient les ions nécessaires au bon fonctionnement des cellules et assure les échanges et les équilibres ioniques entre les différents tissus de l'organisme.

L'eau corporelle se renouvelle en permanence. Elle est apportée par l'alimentation et l'abreuvement. Elle est éliminée principalement par l'urine mais aussi par les fécès (excréments), la surface corporelle (respiration et transpiration) et certaines productions (lait).

De nombreux facteurs influent sur cette élimination de l'eau corporelle : l'espèce, le sexe, l'âge, les conditions climatiques. La chaleur va augmenter l'élimination de l'eau par la peau (sudation) et par les poumons (halètement).

La réserve d'eau constituée par le volumineux contenu digestif des ruminants leur permet de résister plus longtemps que le porc ou l'homme à la privation d'eau.

L'ÉNERGIE

Un organisme vivant consomme de l'énergie en permanence :
- pour assurer la bonne marche et le renouvellement de ses cellules,
- pour maintenir son tonus musculaire (coeur, poumons, déplacements spontanés...),

Cette énergie est dissipée sous forme de chaleur qui sert, entre autres, à maintenir la température interne de l'animal.

Les dépenses énergétiques varient avec la surface corporelle de l'animal. Pour un type d'animal donné, elles augmentent moins vite que le poids, elles sont proportionelles au poids de l'animal élevé à la puissance 3/4 ($P^{0.75}$) qui est appelé **poids métabolique**.

Figure 215 : relation entre le poids et le poids métabolique.

Poids	Poids Métabolique	Poids	Poids Métabolique	Poids	Poids Métabolique
1	1,00	100	31,6	600	121,2
5	3,34	200	53,2	700	136,1
10	5,62	300	72,0	800	150,4
30	12,82	400	89,8	900	164,3
50	18,80	500	105,7	1000	177,8

LES PROTÉINES

Les protéines représentent 15 à 20% du poids du corps. Elles sont présentes dans les muscles en premier lieu mais aussi dans les cartilages, les tissus conjonctifs et les phanères (poils, laine, onglons). Les protéines sont en permanence détruites et reconstruites par l'organisme pour la constitution de tissus et le métabolisme général. Une partie des acides aminés provenant de la dégradation des protéines est réutilisée par l'organisme. Le reste est éliminé par les excréments, l'urine sous forme d'urée et la peau (perte des poils, sueur).

LES MINÉRAUX

Le squelette et les dents contiennent de 70 à 80% du calcium, du phosphore et du magnésium de l'organisme. Ceux-ci avec le sodium participent également au métabolisme général et sont indispensables au bon fonctionnement de la cellule. Le réaménagement perpétuel des tissus osseux implique une démobilisation des éléments minéraux qui sont, pour la plus grande partie, réutilisés. Une petite partie est éliminée dans les fécès.

L'organisme pour assurer le bon fonctionnement de ses chaines métaboliques essentielles à la vie a également besoin d'autres minéraux en très petite quantité (fer, manganése, cuivre, zinc, cobalt, iode, etc). Ce sont les **oligo-éléments**.

LES VITAMINES

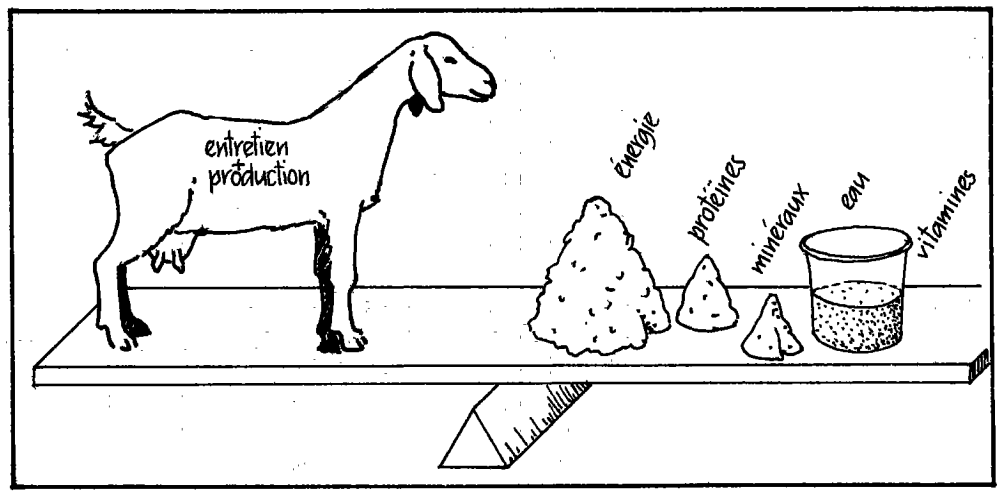
Les vitamines sont des molécules non synthétisées par l'organisme mais indispensables à son métabolisme. Elles sont apportées à l'animal par l'alimentation.

- La **vitamine A** participe à la synthèse protéique (peau, hormone) et à l'immunité.
- La **vitamine D** intervient dans le métabolisme du calcium. C'est un facteur antirachitique et de consolidaton des os principalement pour les femelles laitières et les animaux en croissance.
- La **vitamine E** est un anti-oxydant intervenant dans la constitution et le fonctionnement des parois cellulaires.
- La **vitamine B** intervient dans l'activité cellulaire et la **vitamine K** dans la coagulation du sang.

Figure 216 : apports de vitamines recommandés (en Unité Internationale par kg de Matière Sèche, UI/kg MS).

	Vitamine A	Vitamine D	Vitamine E
Vaches taries 600 kg	4000	1200	15
Vaches laitières en début de lactation (0-3 semaines)	4000	1000	15
Vaches laitières en pleine lactation	3200	1000	15
Vaches allaitantes	3900		
Taureaux	3200	300	15
Génisses et taurillons en croissance	2200	300	25
Veaux : aliment d'allaitement	3750	600	40
Veaux : aliment concentré	2200	300	25
Brebis à l'entretien et en début de gestation	2700		15
Brebis au dernier mois de gestation	3300		15
Brebis en lactation	2400		15
Agneau 20 kg	950		15
Agnelle 40 kg	1350		15
Belier 80 kg	2000		15
Teneurs maximales tolérables	66000	2200	2000

Figure 217 : un régime alimentaire équilibré



L'ENTRETIEN ET LA PRODUCTION

LES DÉPENSES D'ENTRETIEN

Dans la situation physiologique dite d'entretien, l'animal ne produit rien, ni croît, ni lait, ni travail. Son poids vif reste constant ainsi que ses réserves corporelles.

Les dépenses énergétiques d'entretien varient suivant plusieurs paramètres :

• **l'espèce** : les dépenses d'entretien par kilo de poids vif des bovins sont supérieures de 20 à 30% à celles des ovins,

• **la race** : les bovins de race laitière ont des dépenses d'entretien supérieures de 13% aux bovins de race à viande,

• **le sexe** : les mâles ont des dépenses d'entretien 15 à 20% supérieures à celles des femelles,

• **l'âge** : les besoins d'entretien diminuent régulièrement avec l'age,

• **les dépenses d'entretien liées à l'alimentation** et à la digestion varient suivant l'espèce (monogastriques, polygastriques) et le régime alimentaire. Un

Un foin entraîne une dépense d'ingestion et de rumination 7 à 8 fois plus importante qu'un aliment concentré,

• **en période de sous-alimentation, les besoins d'entretien en énergie diminuent progressivement**. Cette adaptation à la sous-alimentation résulte d'une diminution du poids des viscères (en particulier du foie) par rapport au reste du corps et d'une diminution de leur activité métabolique. Cette résistance à la sous-alimentation est plus importante pour les races rustiques bien adaptées à leur milieu que pour les races améliorées. Les animaux rustiques s'adaptent à la disette.

• **l'activité physique** (station debout, déplacements spontanés, parcours) **augmente les dépenses d'entretien en énergie**. Elles s'accroissent avec la vitesse de déplacement et avec la pente du sol : de 5 à 15% sur des parcours horizontaux jusqu'à 60% pour les parcours à forte dénivellation.

• enfin **les dépenses énergétiques varient en fonction des conditions climatiques**. Les jeunes animaux, dans les heures qui suivent leur naissance, sont mal protégés par leur pelage ou leur toison et sont très sensibles aux variations d'ambiance (chaleur, humidité, courants d'air).

LES DÉPENSES DE PRODUCTION

Les productions (gestation, lait, viande, travail, etc.) créent des besoins physiologiques en eau, énergie, protéines, minéraux et vitamines. Il n'y a pas de dépenses spécifiques à la production. Elles sont de même nature que les dépenses d'entretien et vont s'ajouter à ces dernières.
Le **niveau de production** permet de comparer l'importance des dépenses engendrées par les différentes productions :

$$\text{Niveau de production} = \frac{\text{dépenses d'entretien} + \text{dépenses de production}}{\text{dépense d'entretien}}$$

Il est égal à 1 quand la production est nulle et va augmenter avec celle-ci.

La gestation

Le foetus se comporte comme un parasite vis-à-vis de sa mère. Il y puise tous les éléments nécessaires à son développement et à sa croissance qui s'effectue à 80% dans le dernier tiers de la gestation. Les dépenses de gestation sont beaucoup moins importantes que les besoins d'entretien de la femelle. D'un point de vue quantitatif, la gestation n'est pas très coûteuse.
En revanche, la croissance du foetus nécessite certains éléments spécifiques : **vitamine A** et **glucose** en fin de gestation particulièrement. Si celui-ci n'est pas apporté en quantité suffisante par l'alimentation, la mère va puiser dans ses réserves et favoriser ainsi l'apparition de maladies (toxémie de gestation chez la chèvre et la brebis par exemple).

La lactation

La mamelle se développe en fin de gestation et produit le colostrum dans les jours précédant la mise-bas. Dès la mise-bas, la mamelle commence à produire du lait pour atteindre un pic de lactation en quelques semaines pour les ruminants.

Pour fabriquer le lait, la mamelle va puiser dans le sang tous les éléments nécessaires à son élaboration : eau, glucose, acides aminés, acides gras, minéraux. Chez les ruminants, 400 litres de sang sont filtrés pour l'élaboration d'un litre de lait.

Les dépenses de lactation incluent les éléments exportés par le lait et ceux nécessaires au fonctionnement de la mamelle (de l'énergie principalement).

Chez la vache laitière, les dépenses engendrées par la production de 12 litres de lait sont équivalentes aux dépenses d'entretien (respectivement 1 litre et 2 litres de lait pour la brebis et la chèvre).

Comme la gestation, la production de lait est exigeante en glucose et calcium. Un défaut de ces éléments ou de leurs précurseurs dans l'alimentation entrainera la

mobilisation des réserves et augmentera le risque d'apparition de certaines maladies (cétose, fièvre de lait).

La croissance et l'engraissement

Lors de la croissance, les différents tissus et organes vont augmenter en taille et en poids et varier dans leur composition.
Les muscles vont se développer dans un premier temps par une augmentation importante de la masse protéique puis, avec l'âge, la formation de gras prendra le pas sur la production de viande.
Le squelette se développe moins que les muscles mais se solidifie avec le temps.

Certaines caractéristiques des animaux vont jouer sur la croissance musculaire et l'engraissement :
- l'âge,
- l'espèce : certaines espèces développent plus de gras que d'autres (porcins, ovins),
- la race : les races à viande ont des croissances plus rapides et plus orientées vers la production de viande que les races laitières,
- le sexe : les femelles font plus de gras que les mâles,
- certains aliments favorisent la production de viande, d'autres la production de gras.

Les dépenses engendrées par la croissance et l'engraissement sont moins importantes que les dépenses de lactation. Elles sont toujours inférieures aux besoins d'entretien. Le niveau de production varie de 1.3 pour les animaux d'élevage à 1.8 pour les animaux en croissance maximum (agneaux par exemple).

Le travail

Le travail va principalement augmenter la consommation d'énergie mais les protéines et les minéraux sont aussi nécessaires pour la reconstitution des masses musculaires.

Les dépenses de travail varient suivant l'effort demandé (transport, labour, hersage...), la nature du terrain, le temps de travail, les conditions extérieures et l'état de l'animal.
Il existe peu de données concernant les niveaux de production liés au travail dans la littérature.

La constitution de réserves

Les animaux domestiques n'utilisent pas immédiatement tous les aliments qu'ils ingérent. Quand l'alimentation est abondante, en saison des pluies ou en période de moindre production (fin de lactation, début du tarissement), l'animal consomme plus d'aliments que n'en nécessitent ses besoins d'entretien et de production. Il va alors stocker dans son organisme ces nutriments excédentaires : l'animal constitue des **réserves**.

A l'inverse en période difficile (saison sèche) ou dans certaines conditions physiologiques particulières où les besoins augmentent brutalement (début de la lactation), l'alimentation seule ne suffit pas à couvrir les besoins d'entretien et de production. Pour faire face à cette demande, l'animal va puiser dans ses réserves.

Ces réserves constituent un volant de sécurité et permettent aux animaux domestiques de franchir sans trop de dommages certaines étapes difficiles. Les races rustiques sont plus aptes à constituer et à mobiliser des réserves sans dommages pour leur santé que les races améliorées.

La gestion optimale des réserves corporelles demande une maîtrise permanente de la conduite alimentaire. Elle est souvent un bon indicateur du savoir-faire de l'éleveur.

Les aliments excédentaires ingérés sont stockés par l'organisme principalement en lipides sous forme de graisse. Les graisses constituent la majeure partie des réserves énergétiques de l'organisme. Leur répartition est variable suivant les espèces : graisses de couverture pour les porcins et les ovins, graisse intramusculaire pour certains bovins et graisse intra-péritonéale pour les caprins. Une chèvre, maigre en apparence, peut avoir à sa disposition plusieurs kilos de graisse de réserve à l'intérieur de son abdomen.

L'état d'engraissement d'un animal et donc ses réserves corporelles peuvent s'apprécier par certaines techniques :
- mesure de l'épaisseur de la couche de lard dorsal chez le porc,
- manipulations de certains points anatomiques pour les bovins et les moutons,
- les réserves corporelles sont très difficile à estimer pour les chèvres adultes.

Les deux grandes périodes de mobilisation des réserves corporelles sont :
- la saison sèche et les périodes de soudure (périodes d'alimentation réduite),
- le début de la lactation pour les femelles (forte augmentation des dépenses de production).

Pour que l'animal passe sans encombre ces étapes difficiles, l'éleveur devra veiller à ce que les réserves se reconstituent lors des périodes d'abondance ou de moindre production. Les apports alimentaires devront alors être supérieurs aux besoins durant ces périodes.

Quelquefois, et en particulier pour les petits ruminants, l'éleveur peut distribuer dans les semaines qui précédent la mise-bas un aliment très énergétique qui va permettre aux femelles d'augmenter leurs réserves corporelles. Cette pratique s'appelle le «flusching».

L'ingestion et la digestion des aliments

LA CAPACITÉ D'INGESTION

Les animaux domestiques mangent pour couvrir leurs besoins d'entretien et de production.

La capacité d'ingestion est la quantité totale d'aliments que peut ingérer volontairement un animal alimenté à volonté. Elle se mesure en unités d'encombrement (UE).

La capacité d'ingestion d'un animal dépend de plusieurs paramètres :
• principalement, de son niveau de production énergétique : plus un animal dépense d'énergie (production de lait, de viande, de travail, etc.) plus sa capacité d'ingestion augmente,
• de ses caractéristiques anatomiques : plus le ou les estomacs sont développés, plus la capacité d'ingestion est importante (au cours de la croissance, la taille de l'estomac augmente avec la taille de l'animal); en fin de gestation, le ou les foetus présents dans l'utérus compriment l'estomac (le rumen chez les ruminants), ce qui diminue la capacité d'ingestion de la femelle,
• de caractéristiques physiologiques : la capacité d'ingestion augmente avec l'appétit de l'animal. Cet appétit est régulé par le système nerveux central.

L'environnement de l'animal ainsi que les pratiques d'élevage et d'alimentation influent également sur la capacité d'ingestion. Elle peut être diminuée par de nombreux facteurs :
• le manque d'abreuvement,
• une consommation insuffisante d'azote et de minéraux,
• des maladies parasitaires ou métaboliques,
• tous les stress : changement d'alimentation, transport, intégration dans un autre troupeau, etc.

LA DIGESTION

La digestion est l'ensemble des phénomènes mécaniques, chimiques et microbiologiques qui transforment les aliments ingérés par l'animal en nutriments assimilables par l'organisme pour satisfaire ses besoins d'entretien et de production.

Les fonctions mécaniques de la digestion sont la **préhension**, la **mastication**, la **déglutition**, le **mélange** et le **transit** des aliments.

• La fonction chimique est assurée par l'action des sécrétions digestives (gastriques et intestinales).

• La fonction microbiologique est la conséquence de l'action de dégradation et de transformation des aliments par la flore microbienne présente dans le tube digestif.

Figure 218 : représentation schématique des principaux facteurs qui déterminent la capacité d'ingestion d'un animal et la quantité de matière sèche ingérée.

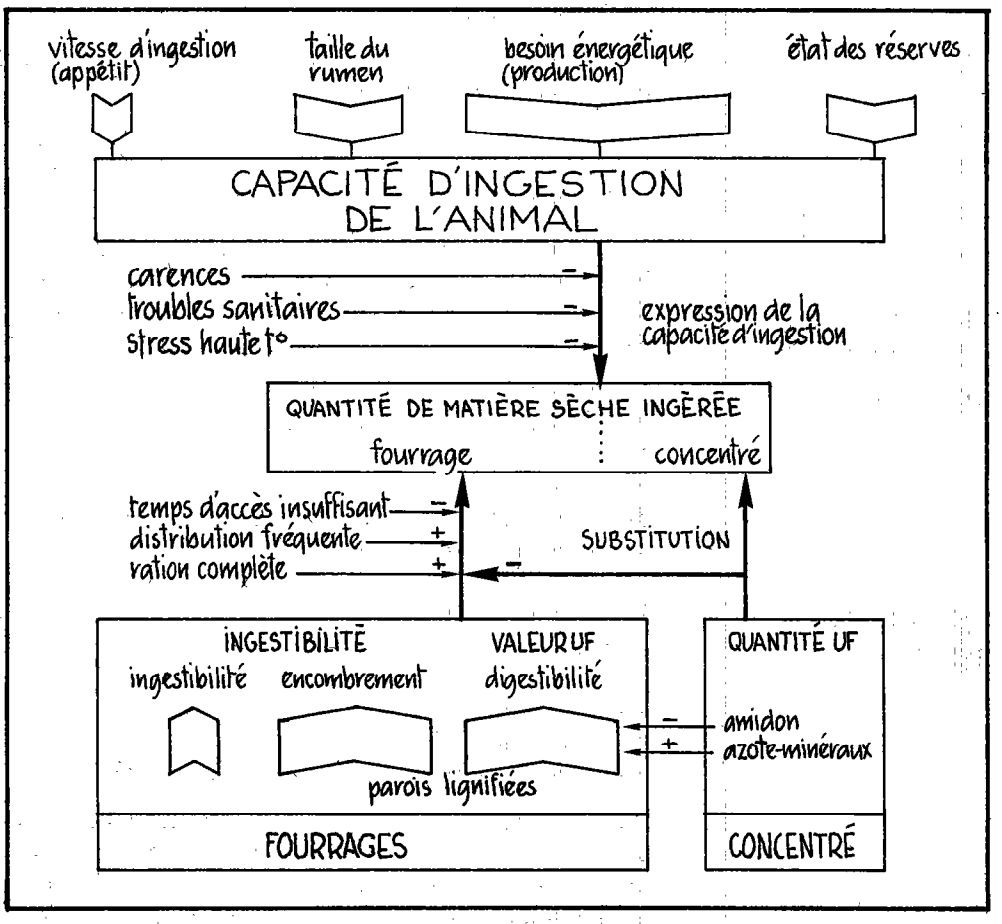
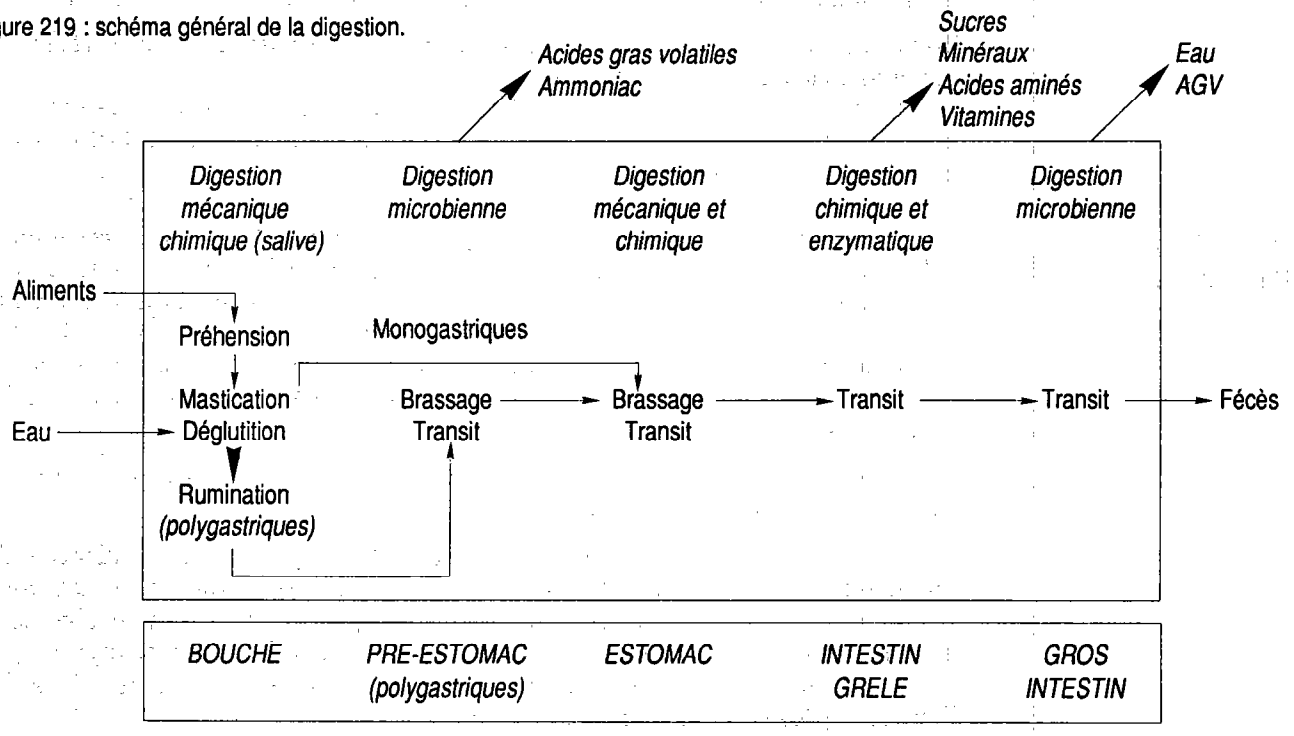


Figure 219 : schéma général de la digestion.



Les principes généraux de la digestion sont les mêmes pour tous les animaux. Néanmoins, il existe deux grandes familles d'animaux domestiques présentant des caractéristiques anatomiques de l'appareil digestif bien différenciées :

• les **monogastriques**, «à un seul estomac», qui peuvent être des herbivores (chevaux, lapins), des omnivores (porc) ou des granivores (volailles). L'homme est un monogastrique,

• les **polygastriques**, «à plusieurs estomacs», qui sont tous des herbivores. Ce sont les ruminants (bovins, moutons, chèvres, etc.).

Nous allons étudier séparement les caractéristiques de la digestion chez ces deux grandes familles d'animaux domestiques.

LA DIGESTION CHEZ LE PORC ET LES MONOGASTRIQUES

Chez le porc, la motricité de l'estomac et de l'intestin jouent un rôle majeur dans la digestion.

Les fonctions mécaniques de la digestion

Les aliments ingérés à l'occasion d'un repas unique peuvent rester jusqu'à 24 heures dans l'estomac. L'évacuation de l'eau d'abreuvement et de la phase liquide d'un aliment s'effectue très rapidement sous l'influence de la pression. L'évacuation des particules solides contenues dans l'estomac est beaucoup moins rapide.

Le transit dans l'intestin grêle dépend de plusieurs facteurs :
• de la vitesse de vidange de l'estomac,
• de la nature et de la présentation des aliments ingérés : le son augmente la vitesse de transit alors que le broyage des aliments la diminue. Quand la vitesse de transit est faible, l'animal est constipé. Les truies en gestation sont très sensibles à la constipation.

Les secrétions digestives

Les sécrétions digestives impliquées dans la digestion sont :
• la salive (glandes salivaires),
• le suc gastrique (estomac),
• la bile (foie),
• le suc pancréatique (pancréas),
• les sucs intestinaux (muqueuse intestinale).

Les aliments sont tout d'abord en contact avec la salive lors de la mastication. Ils sont ensuite mélangés avec la secrétion gastrique pendant toute la durée du séjour dans l'estomac. Après son expulsion dans l'intestin grêle, le contenu de l'estomac est mélangé à la bile, au suc pancréatique et enfin aux secrétions intestinales.

Toutes ces sécrétions sont très riches en **enzymes** qui dégradent les protéines, les glucides et les lipides de l'aliment.
Les sécrétions digestives sont sous le contrôle du système nerveux central. Par exemple, la simple présentation d'un aliment à un porc va déclencher la production de salive et de suc gastrique.

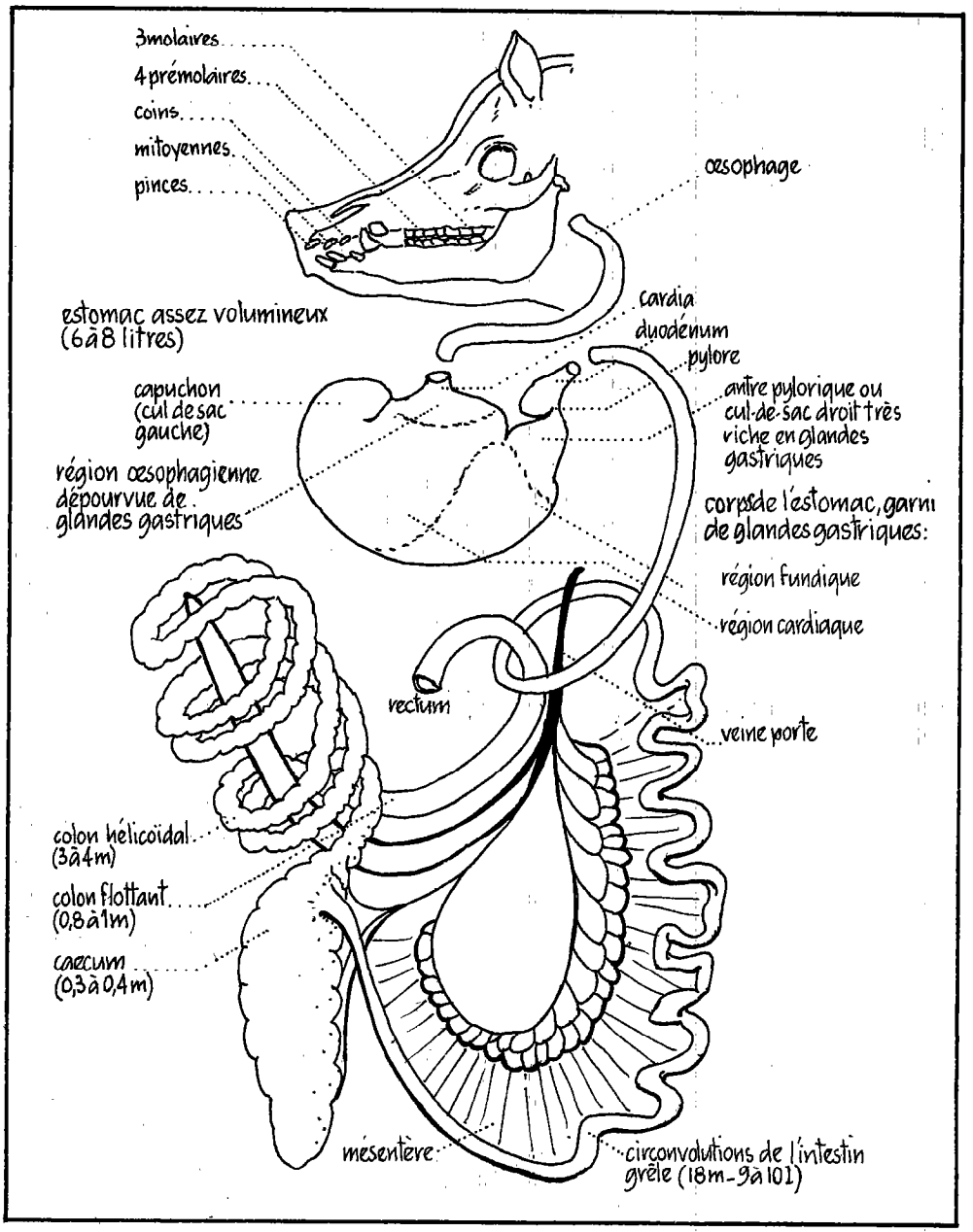
La digestion des glucides

Dans les aliments d'origine végétale, les glucides sont représentés par : la cellulose, la lignine et un ensemble de substances appelées "extractif" non azoté (hémicellulose, pectine, amidon, glucose, lactose, fructose, etc..). Les enzymes présents dans les sécrétions digestives du porc dégradent l'extractif non azoté mais ils n'ont pratiquement pas d'action sur la lignine et la cellulose. Les monogastriques à l'inverse des ruminants sont donc de très mauvais utilisateurs des végétaux riches en cellulose (fourrages).

Les glucides et particulièrement l'amidon représentent 80% des nutriments énergétiques du porc en croissance.

La digestion de l'amidon constitue l'aspect le plus important de l'utilisation des glucides chez le porc. Les amylases salivaires et pancréatiques (enzymes dégradant l'amidon) coupent l'amidon en chaînes courtes qui sont ensuite hydrolysées en sucres simples dans l'intestin grêle où ils sont absorbés. Les sucres simples présents dans les aliments passent directement dans le sang au niveau de l'intestin grêle sans subir de transformation.

Figure 220 : l'appareil digestif du porc.



Dans le gros intestin, des bactéries dégradent une petite partie de la cellulose de la ration grâce à une action équivalente à celle observée chez les ruminants.

La digestion des protéines

Les acides aminés utilisés par le porc pour fabriquer ses protéines proviennent exclusivement des protéines contenues dans l'alimentation et dégradées au cours de la digestion.

Leur dégradation comporte trois étapes :

- une phase stomacale (dans l'estomac) préparatoire où elles subissent une attaque par les sucs gastriques (pepsines),
- une phase intestinale enzymatique : le mélange de protéines hydrolysées (peptides) et d'acides aminés subit dans l'intestin grêle l'attaque des enzymes pancréatiques et intestinales. Les acides aminés résultant de cette action sont absorbés par la muqueuse intestinale et passent dans le sang,
- une phase microbienne dans le gros intestin où les bactéries présentes dégradent en acides aminés les protéines qui ne l'ont pas été auparavant.

La digestion des lipides

La digestion des lipides et l'absorption des produits issus de leur dégradation dépendent des secrétions biliaires et pancréatiques.

LA DIGESTION CHEZ LES RUMINANTS

Les ruminants domestiques se nourrissent essentiellement de fourrages : plantes herbacées et arbustives des pâturages et parcours naturels, plantes fourragères cultivées, sous-produits de plantes cultivées à d'autres fins (pailles, tourteaux, résidus etc.).

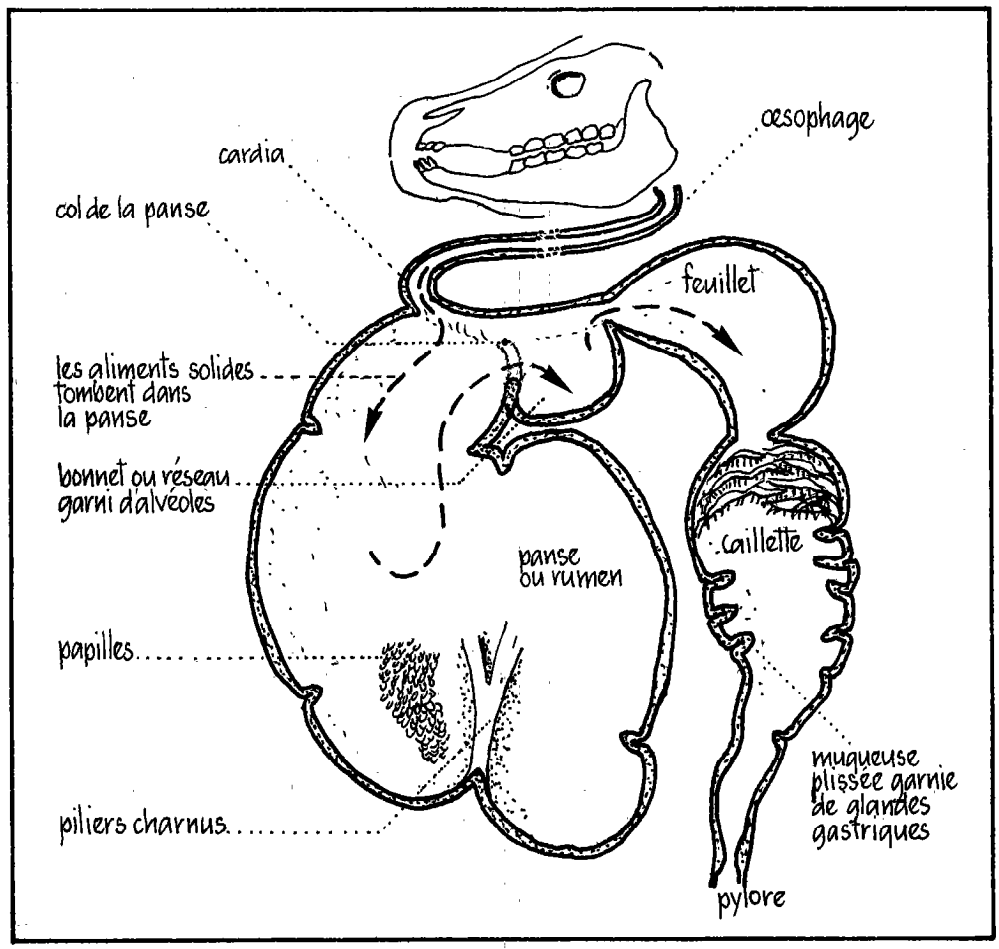
Ils consomment et utilisent efficacement les fourrages parce qu'ils sont dotés de trois **pré-estomacs** en amont de l'estomac proprement dit équivalent à celui des monogastriques.

Cet estomac au sens strict s'appelle la **caillette** et sécrète les sucs gastriques qui serviront à la digestion chimique des aliments.

Les trois pré-estomacs où se déroule l'essentiel de la **digestion microbienne** sont :

- **la panse** appelée aussi le **rumen** et qui est de loin le plus volumineux avec une contenance allant jusqu'à 100 kg chez la vache laitière,
- **le réseau** (ou **bonnet** ou réticulum) qui n'est que partiellement séparé du rumen. Réseau et rumen sont associés quand on considère la digestion microbienne.
- **le feuillet** (ou omasum) qui est un compartiment de passage entre le rumen-réseau et la caillette.

Figure 221 : l'estomac des ruminants.



La préhension, la mastication et la rumination

Le ruminant happe sa nourriture avec la langue et la coupe avec les dents. Les bovins coupent l'herbe à la base de la touffe et les petits ruminants au sommet. La chèvre choisit les parties de la plante les plus appétentes. Elle passe beaucoup de temps à trier les parties de végétaux qu'elle ingére et laisse d'importants «refus».

Les mouvements de mastication qui écrasent les fourrages sont deux fois plus élevés chez les petits ruminants (125 à 150 mouvements de machoire à la minute chez le mouton) que chez les bovins (70 à 80).

Le temps de mastication est beaucoup plus long pour les aliments grossiers (pailles, foins) que pour les aliments fins (concentrés, résidus).

Les fragments alimentaires résultant de la mastication sont avalés dans un flot de salive : de l'ordre de 150 l par jour chez le bovin adulte et de 10 l chez le mouton. Ils arrivent alors dans le rumen où grâce à des contractions de la paroi, ils sont rejetés vers l'arrière et complétement immergés (l'eau représente plus de 80% du contenu frais du rumen).

Peu après la fin du repas (10 à 15 mn), commence la rumination. Sous l'influence d'une contraction du réseau, un bol du contenu du rumen est aspiré par l'oesophage et remonte dans la bouche. La taille du bol est de 600 à 1000 g chez les bovins et de 50 à 80 g chez les petits ruminants.

Une fois dans la bouche, le bol alimentaire subit une mastication intense. Les éléments importants sont broyés en fines particules (<1mm). Plus les aliments ingérés sont grossiers, plus la rumination est longue. Après la rumination, les aliments sont renvoyés dans la panse ou s'effectue la digestion microbienne.

En règle générale, la rumination occupe de plus longues périodes (de 6 à 8 heures par jour) que l'ingestion.

Plusieurs conditions sont nécessaires à une bonne rumination :
- une ration riche en aliments grossiers qui vont stimuler les remontées du bol alimentaire et la production de salive,
- du repos et du calme : une frayeur peut interrompre le cycle de rumination,
- un remplissage suffisant de la panse.

La digestion microbienne dans le rumen-réseau

Le rumen et le réseau forment une vaste cuve de fermentation dans laquelle de très nombreux **micro-organismes** vivent et se développent. Ce sont principalement :

- des **bactéries** dites anaérobies parce qu'elles n'ont pas besoin d'oxygène pour vivre. On a dénombré plus de 200 espèces de bactéries dans le rumen. Ce sont pour l'essentiel des bactéries qui vont attaquer et dégrader la cellulose des parois des végétaux. Grâce à elles, ces parois qui ne peuvent pas être dégradées par les autres processus de la digestion vont être transformées en nutriments assimilables par l'appareil digestif de l'animal. Ce sont les bactéries du rumen qui permettent aux ruminants de se nourrir essentiellement de végétaux.

- des **protozoaires** et quelques **champignons** microscopiques présents en moins grand nombre et qui jouent un rôle équivalent à celui des bactéries.

Les produits de la digestion microbienne

Les micro-organismes du rumen dégradent les glucides ingérés (sucres, cellulose) en acides gras volatils (acide acétique, acide butyrique, acide propionique) qui sont absorbés par la paroi du rumen, du réseau et du feuillet. Des gaz sont aussi produits. Ils sont rejetés de la panse par éructation. Dans le cas où cette éructation ne peut s'effectuer, ils s'accumulent et provoquent un gonflement de la panse (météorisation) qui peut entraîner la mort de l'animal.

Outre les acides gras volatils, le renouvellement permanent des micro-organismes, qui sont à leur tour digérés, produit des nutriments et en particulier des protéines qui sont assimilés lors du transit digestif.

La lignine (bois), autre constituant des parois des végétaux avec la cellulose n'est que très peu dégradée par les micro-organismes du rumen. Elle est éliminée dans les fécès. Plus les végétaux sont âgés, plus ils sont riches en lignine. Ils sont donc moins **digestibles** que les végétaux jeunes.

La digestion après le rumen

Le contenu du rumen qui n'a pas été assimilé lors de la digestion microbienne passe dans la caillette à travers le feuillet, puis dans l'intestin grêle où il subit l'attaque des sucs gastriques et intestinaux. La première partie de l'intestin grêle est le siège d'une digestion et d'une absorbtion analogues à celles observées chez le porc et l'homme.

Enfin, le contenu restant arrive dans le gros-intestin où il va séjourner de 15 à 24 heures. Il subit alors de la part de la population microbienne présente une attaque équivalente, bien que moins importante, à celle observée dans le rumen.

Dans le colon, dernière partie de l'intestin, l'eau restant dans le contenu digestif sera en grande partie réabsorbée. Les résidus de l'ensemble de la digestion seront alors éliminés par l'anus : ce sont les fécès.

Ruminants et monogastriques

Ruminants	Monogastriques
• L'appareil digestif des ruminants est caractérisé par **quatre réservoirs.** Seul le dernier compartiment (caillette) peut être assimilé à l'estomac des autres animaux (sécrétions analogues).	• L'estomac des monogastriques est constitué d'**une seule poche.**
• De régime **herbivore**, les ruminants sont **capables d'assimiler des aliments riches en parois végétales** : herbes, arbustes..	• De régime **omnivore, le porc** consomme des **aliments d'origine végétale et animale.**
• Les aliments subissent d'abord une **dégradation microbienne dans la panse avant de subir la digestion chimique** propre àtous les animaux. L'attaque microbienne des fourrages est facilitée par la **rumination.**	• Chez le porc, **la digestion est un phénomène essentiellement chimique ; cependant il existe** dans le gros intestin du porc **une dégradation microbienne des glucides membranaires** lui permettant de valoriser racines, herbes et fruits. **Cette activité microbienne de l'intestin** est **encore plus développée chez les monogastriques herbivores** (lapin, équidés) mais elle est moins efficace que celle de la panse des ruminants.

LA DIGESTION CHEZ LES JEUNES ANIMAUX

L'alimentation des jeunes animaux domestiques (monogastriques et polygastriques) comporte 2 phases :
- une phase d'alimentation lactée de la naissance au sevrage,
- une phase d'alimentation solide du sevrage à l'âge adulte.

L'alimentation lactée

A la naissance, les animaux de toutes les espèces sont des monogastriques. Chez les jeunes ruminants, les pré-estomacs ne sont pas formés et les aliments passent directement de l'oesophage à la caillette (par la gouttière oesophagienne).

Pendant les premiers jours de la vie, les nouveaux-nés vont absorber le **colostrum** maternel. Il est riche en éléments nutritifs (énergie, protéines, vitamines). Le colostrum contient surtout des immunoglobulines, anticorps qui transmis par la mère, vont protéger le nouveau-né pendant les premiers mois de la vie contre de nombreuses maladies (diarrhées néonatales, maladies virales, etc.).

Les trois fonctions du **colostrum** sont les suivantes :
- amorcer la digestion dans le tube digestif du nouveau-né,
- apporter des éléments nutritifs,
- protéger les nouveaux-nés contre un grand nombre de maladies.

Le nouveau-né doit recevoir la premiére tétée de colostrum le plus rapidement possible après la naissance. Il en consommera pendant cinq à six jours.

Après la phase d'absorption du colostrum, et pour certaines espèces (vaches et chèvres laitières), le nouveau-né peut être séparé de la mère qui sera traité séparément. Une partie du lait de la mère lui est alors apporté au biberon ou au seau.

La durée de la phase d'allaitement est variable suivant les espèces et les modes de conduite d'élevage. Elle ne sera jamais inférieure à trois mois chez les ruminants et un mois chez le porc.

L'alimentation solide

Le passage de l'alimentation lactée à l'alimentation solide s'appele le **sevrage**. Le sevrage peut être brutal ou progressif (mise à disposition progressive en fin d'alimentation lactée d'aliments solides). Pendant cette phase, il est important que les jeunes puissent boire à volonté une eau de bonne qualité.

Chez les jeunes ruminants, la consommation d'aliments solides détermine l'augmentation du poids et du volume du rumen. La digestion microbienne s'installe progressivement. L'animal passe du statut de monogastrique à celui de polygastrique.
Pendant la phase de sevrage, il faut mettre à disposition des animaux des aliments de bonne qualité, et en particulier pour les ruminants des fourrages secs de bonne digestibilité.

Par ailleurs, les nouveaux-nés et les jeunes animaux sont très sensibles aux mauvaises conditions extérieures : humidité, mauvaise hygiène. L'éleveur devra être très attentif à l'environnement pour éviter une mortalité qui dans certains cas peut dépasser 50% des naissances.

Utilisation digestive et valeur des aliments

LA DIGESTIBILITÉ

Grâce à l'ensemble des processus de la digestion, une partie de l'aliment ingéré est absorbée et utilisée par l'animal. L'autre partie est rejetée dans les fécès. Par exemple, tout ou une partie de la cellulose d'un végétal sera absorbée alors que la quasi-totalité de la lignine sera éliminée.

On appelle digestibilité apparente d'un aliment la proportion de sa matière organique (MO) qui disparaît dans le tube digestif.

$$\text{Digestibilité apparente} = \frac{\text{quantité de MO ingérée} - \text{quantité de MO des fécès}}{\text{quantité de MO ingérée}}$$

On calcule la digestibilité apparente par kilo de matière sèche pour la matière organique, l'énergie, la matière azotée, la matière grasse, la cellulose brute. Les données de digestibilité sont données par les tables d'alimentation.

Plus un fourrage est riche en lignine, plus sa digestibilité apparente en matière organique est faible.

Dans les fécès, outre les déchets de l'aliment ingéré, se retrouve aussi une partie des corps microbiens ayant participé à la digestion et des sécrétions de l'organisme. Cette fraction des fécès ne peut donc pas être attribuée à l'aliment. C'est pourquoi, on parle de digestibilité apparente et non pas de la digestibilité réelle qui ne devrait prendre en compte que la part des fécés attribuable à l'aliment. Cette dernière étant très difficilement mesurable, c'est la digestibilité apparente, toujours inférieure à la digestibilité réelle, qui est retenue.

La digestibilité varie en fonction de plusieurs facteurs liés à l'animal ou à l'aliment.

• **Les facteurs liés à l'animal**

- **L'espèce et la race** : la cellulose et la lignine sont beaucoup mieux utilisées par les herbivores et principalement par les ruminants. La chèvre est l'animal domestique qui valorise le mieux les fourrages grossiers. De même, les races de bovins des pays tropicaux utilisent mieux les fourrages grossiers que les races des pays tempérés,
- **L'âge** : les jeunes ruminants ne peuvent pas digérer la cellulose car ils ne

disposent pas de l'équipement bactérien nécessaire, le rumen, le réseau et le feuillet n'étant pas encore formés,
- **L'état sanitaire** : le parasitisme intestinal tend à diminuer la digestibilité.

• **Les facteurs liés à l'aliment**
- **La teneur en lignine** : les plantes âgées riches en lignine sont les moins digestibles (pailles de sorgho après la récolte),
- **Le volume de la ration** : une certaine quantité d'aliments grossiers (donc peu digestibles) est nécessaire pour remplir les estomacs des ruminants, déclencher la rumination et le brassage, et ainsi augmenter la digestibilité du contenu de la panse. Cette quantité d'aliment grossier s'appelle le «lest». Chaque aliment ingéré fournit une partie du lest, mesuré en unités d'encombrement,
- **La présentation de l'aliment** : le broyage des grains de sorgho et de maïs améliore leur digestibilité (enveloppes dures brisées).

En revanche, les fourrages ne doivent pas être hachés trop fins. En effet, ce sont les fibres longues qui déclenchent la mastication, la salivation et la rumination.

LES PRODUITS DE LA DIGESTION

Les produits de la digestion ou **nutriments** passent dans le sang après avoir traversé la paroi du rumen ou des intestins. Ce sont :

• dans le rumen des ruminants :
- des acides gras volatiles,
- de l'ammoniac,

• dans l'intestin grêle :
- du glucose (principalement pour les monogastriques),
- des acides gras provenant de l'alimentation ou de la destruction des corps microbiens,
- des acides aminés longs provenant de l'alimentation ou des corps microbiens,
- de l'eau, des minéraux et des vitamines,

• dans le gros intestin :
- eau, sodium, ammoniac et acides gras volatiles provenant de la fermentation microbienne du gros intestin et du caecum.

LA VALEUR DES ALIMENTS

Pour équilibrer un régime alimentaire, il faut connaître et mesurer la quantité de chacun des élements apportés par les différents constituants d'une ration.

Chaque aliment fournit à des degrés variables tout ou partie des constituants nécessaires à l'animal : énergie, protéines, minéraux, vitamines et eau.

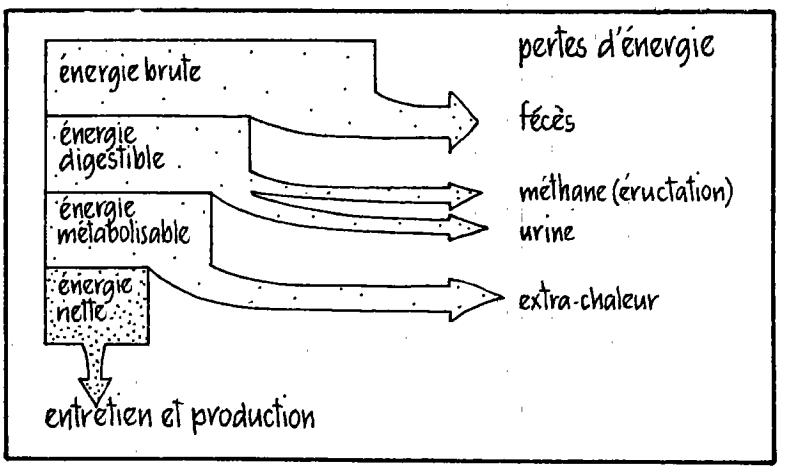
VALEUR ÉNERGÉTIQUE DES ALIMENTS

Au cours de leur utilisation par les animaux, les aliments subissent de nombreuses transformations dans l'apareil digestif et dans les tissus. Ils sont dégradés progressivement et chaque étape se traduit par des pertes d'énergie très variables suivant les aliments.

L'énergie nette d'un aliment est la part d'énergie utilisée pour couvrir les dépenses d'entretien et de production d'un animal.
Elle est égale à l'énergie totale apportée par un aliment (énergie brute) moins l'énergie des fécès, de l'urine, des gaz éliminés et de l'énergie utilisée par le métabolisme de l'animal.

Chez les ruminants, l'énergie nette est apportée à 75% par les acides gras volatiles, 20% par les protéines, 5 à 10% par les acides gras longs provenant de la digestion des lipides et 1 à 2% par le glucose.

Figure 222 : Les différentes étapes de l'utilisation de l'énergie des aliments par les ruminants.



Chez le porc, l'énergie nette est apportée à 80% par l'amidon contenu dans la ration.

La valeur énergétique d'un aliment est la quantité d'énergie nette apportée par kilo de matière sèche. Elle se mesure en kcal par kilo de matière sèche. Cependant, pour faciliter son utilisation, des unités de mesure intermédiaires ont été définies pour les différents types d'animaux domestiques.

Les ruminants

Chez les ruminants, la valeur énergétique d'un aliment est rapportée à celle d'un kilo d'orge de référence à 87% de matière sèche. Elle est exprimée alors en **Unité Fourragère (UF)** :

$$1\ UF = \frac{\textbf{Energie nette d'un kg d'aliment}}{\textbf{Energie nette d'un kg d'orge de référence}}$$

La production de lait et de viande ne nécessite pas la même quantité d'énergie. Pour tenir compte de cette différence, deux unités Fourragères ont été crées : l'**Unité Fourragère Lait** (UFL) et l'**Unité Fourragère Viande** (UFV).

Une UFL est la quantité d'énergie nette fournie par un kilo d'orge moyenne distribuée au dessus de l'entretien à une vache en lactation. Cette énergie est exportée dans le lait ou fixée sous forme de réserve corporelle. Une UFL égale 1700 kcal.

Une UFV est la quantité d'énergie nette fournie par un kilo d'orge moyenne pour l'entretien et l'engraissement d'un ruminant. Une UFV égale 1820 kcal.

* voir figures p. 441-442.

Les valeurs énergétiques des aliments sont données par les tables d'alimentation*. La valeur énergétique d'une ration alimentaire sera la somme des valeurs énergétiques apportées par les aliments de la ration.

Les porcins

Pour les porcs il existe deux systèmes de mesures de l'énergie apportée par l'alimentation :

- les **Unités Fourragères** (UF) définies précédemment,
- l'**Energie Nette** (**EN**) qui est l'énergie de la part de l'aliment effectivement digérée, diminuée de la quantité d'énergie contenue dans les urines et celle utilisée pour le métabolisme général (extra-chaleur).

Les autres unités de mesure de l'énergie : T.D.N. et E.A.

• Le système **TDN** (Total Digestible Nutrient) des pays anglophones suppose que la valeur énergétique des aliments dépend uniquement de leur teneur en éléments digestibles.

1g de TDN : 3,65 calories métabolisables pour les bovins et les ovins
1g de TDN : 4,1 calories métabolisables pour les porcins

Ce système surestime la valeur des aliments grossiers, surtout pour la croissance et l'engraissement.

• Le système des **Equivalents - Amidons (EA)**, très utilisé dans de nombreux pays européens. L'Equivalent - Amidon est le rapport entre l'énergie nette de l'aliment et celle d'un kilo d'amidon.

E.A. = EN/2360 (en kcal./kg)

L'unité de ce système est l' Unité Amidon = 1,43 UF. Comme le système des Unités Fourragères, il sous estime les aliments cellulosiques par rapport aux concentrés pour l'entretien et la lactation.

LA MATIÈRE AZOTÉE

Pour fabriquer les protéines nécessaires à son entretien et à sa production, l'organisme a besoin d'énergie et de matériaux spécifiques (la matière azotée). Sans matière azotée, il n'y a pas fabrication de protéines.

La valeur azotée des aliments est exprimée par leur teneur en **Matière Azotée Digestible** (MAD). La **MAD** est la différence entre la matière azotée totale présente dans l'aliment et la matière azotée éliminée dans les fécès.
Elle s'exprime en gramme par kilo de matière sèche d'aliment. La valeur en MAD des aliments est donnée par les tables d'alimentation*.

* voir figures p. 441-442.

Les ruminants

Une partie de la matière azotée ingérée par un ruminant est utilisée par les micro-organismes de la panse. Il s'agit de la **matière azotée fermentescible**. Les bactéries la transforment en amoniac (NH_3), absorbé par la paroi du rumen, et en protéines qui seront dégradées en acides aminés par les sucs gastriques et intestinaux puis absorbés à travers la paroi de l'intestin grêle.

L'azote non fermentescible, composé essentiellement de protéines, est directement dégradé dans la caillette et l'intestin pour être assimilé sous forme d'acides aminés dans l'intestin grêle.

Tous les acides aminés nécessaires à la fabrication des protéines seront apportés à l'organisme du ruminant soit directement par les aliments (partie non fermentescible), soit indirectement par les protéines fabriquées par les bactéries du rumen.

Unité de mesure de la matière azotée chez les ruminants, la MAD est peu précise et ne tient compte ni de la dégradation, ni de la synthèse de protéines par les bactéries du rumen. Un système de mesure basé sur la connaissance des taux de Protéines Digestibles dans l'Intestin d'origine Alimentaire (PDIE) et Microbienne (PDIM) a été introduit dans les tables alimentaires en France. Les valeurs des fourrages tropicaux dans ces unités ne sont pas disponibles. De ce fait, il est préférable d'utiliser la MAD pour le rationnement des animaux domestiques des pays chauds.

Les porcins

Les porcs ne peuvent pas synthétiser par eux-mêmes certains acides aminés : ce sont les acides aminés indispensables. Le plus important de tous est la lysine qui doit obligatoirement être apporté par l'alimentation.

LES ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Les matières minérales présentes dans l'aliment ne sont pas «digérées» par le tube digestif. Elles sont mises en solution dans le contenu intestinal (souvent sous forme ionisée, seule ou en combinaison avec d'autres minéraux) et traverse ainsi la paroi de l'intestin. Une partie de la matière minérale en solution est absorbée, l'autre partie rejetée dans les excréments en proportion variable suivant le minéral.

Les tables alimentaires donnent les teneurs en calcium (Ca) et en phosphore (P) des aliments, en gramme par kilo de matière sèche. Ce sont les deux principaux minéraux présents dans l'alimentation*.

* voir figures p. 441-442.

LES VITAMINES

Les animaux domestiques ont besoin de vitamines en très petites quantités. En règle générale, elles sont fournies en quantités suffisantes par l'alimentation. Les fourrages verts sont riches en vitamines.

Chez les ruminants, une partie des vitamines nécessaires est synthétisée par les bactéries du rumen (vitamines du groupe B).

Le défaut de vitamines va entraîner des carences qui se traduisent par des troubles : problèmes de croissance, de poils... Quand on remarque une carence, des vitamines doivent être ajoutées à la ration.

Les vitamines se mesurent en **Unités Internationales** (UI). Les teneurs en vitamines, très variables suivant les aliments, ne sont pas indiquées dans les tables d'alimentation. En règle générale, plus un aliment a été conservé longtemps, moins il est riche en vitamines.
Les porcs nourris avec des aliments achetés sont particuliérement sensibles au manque de vitamines.

L'EAU

L'eau indispensable à l'animal est apportée par l'abreuvement et l'alimentation. La teneur en eau des différents aliments est très variable : 70% pour un fourrage vert, 60% des racines et tubercules (manioc, igname, taro), 15% pour des grains de maïs.

On déduit la teneur en eau d'un aliment de son taux de matière sèche. La matière sèche est le poids restant d'un kilo d'aliment après évaporation de toute l'eau qu'il contient.
La teneur en eau d'un aliment va varier en fonction de sa récolte, de sa conservation et de nombreux autres facteurs. C'est pourquoi, les valeurs alimentaires (énergie, matière azotée) sont toujours rapportée à la matière sèche de l'aliment dans les tables d'alimentation.

ABSENCE DE RÉFÉRENCES SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DES FOURRAGES HAÏTIENS

Il n'existe pas de tables de composition et de valeur alimentaire des fourrages et des autres aliments du bétail spécifiques en Haïti. Un inventaire précis des plantes fourragères du pays en fonction des zones climatiques et pédologiques devrait être entrepris. A partir de là, des analyses fourragères associées à des suivis de performance établiraient les différentes valeurs alimentaires de ces aliments.

En attendant, le conseiller d'élevage devra utiliser les tables d'alimentation figurant dans les manuels d'agriculture et d'élevage des pays tropicaux. Ces tables seront complétées par les mesures et analyses partielles effetuées en Haïti lors de différentes études de terrain.

L'ensemble des données issues des tables d'alimentation des pays tempérés peuvent être utilisées mais avec circonspection car :
• les fourrages tropicaux sont différents des fourrages tempérés. Ils sont plus riches en parois cellulosiques et en lignine et plus pauvres en matières azotées,
• les races des pays tropicaux sont plus rustiques que celles des pays tempérés. Elles valorisent mieux l'énergie pour l'entretien (en particulier en cas de sous-alimentation) que pour la production (lait, viande). Cette caractéristique montre l'adaptation des races tropicales à un milieu où les ressources alimentaires sont très variables.

Faute de mieux, la précision et le contenu des tables existantes sont malgré tout utilisables pour une première approche des ressources alimentaires et des besoins des animaux domestiques des pays tropicaux.

Nourrir au mieux le troupeau

Pour vivre et produire ce que l'on peut attendre de lui, un animal doit avoir une alimentation équilibrée.

L'établissement d'un plan d'alimentation comprend toujours trois étapes :

- la détermination des besoins du troupeau à partir de ceux de chacun des animaux qui le constituent,
- la connaissance des ressources alimentaires disponibles,
- la recherche de la meilleure adéquation (optimisation) entre les besoins, les ressources, les objectifs de l'éleveur et les contraintes du milieu.

La détermination des besoins d'un troupeau

La somme des dépenses d'entretien et de production en eau, énergie, matière azotée, minéraux et vitamines va correspondre aux besoins alimentaires d'un animal.
Pour un cheptel ou un troupeau les besoins alimentaires seront la somme des besoins individuels des animaux qui le composent.

Le troupeau de Jonas Alcinor, éleveur à la Vallée, qui est composé uniquement de ruminants, servira d'exemple.



Porcs allant au pâturage (photo G. de Laubier).

INVENTAIRE DU TROUPEAU

La première étape de la démarche consiste à déterminer les animaux qui seront concernés par le plan de rationnement.
Le conseiller et l'éleveur vont faire le compte des animaux par espèce, présents ou attendus dans l'exploitation qui auront accès aux aliments.

Le troupeau de Jonas Alcinor comprend au moment de l'inventaire :

• 4 caprins sevrés et 1 chevreau nourri exclusivement au lait de la mère,
• 5 bovins sevrés et 2 veaux nourris avec le lait de la mère.
Mais Jonas Alcinor prévoit d'acheter une jeune vache laitière le mois prochain. Il a décidé de l'inclure dans le plan de rationnement.

SEXE, ÂGE ET POIDS DES ANIMAUX

Après inventaire des animaux, le sexe, l'âge et le poids sont appréciés. Pour le sexe, on distingue les mâles castrés des mâles non castrés.
• Deux méthodes complémentaires peuvent être utilisées pour apprécier **l'âge des animaux** :
- le demander à l'éleveur ou à sa famille pour les animaux nés dans l'exploitation. Dans ce cas, il faudra être prudent, surtout pour les animaux âgés, car la mémoire n'est pas toujours précise,
- apprécier l'âge par observation des dents des animaux. En effet, au cours de la vie d'un animal les premières dents vont disparaître (les dents de lait), de nouvelles vont apparaître (dents d'adulte) et s'user avec le temps. La détermination du nombre de dents et l'observation de leur état permet d'estimer assez précisément l'âge d'un animal.

Figure 223 : détermination de l'âge de la chèvre par l'observation de sa denture.

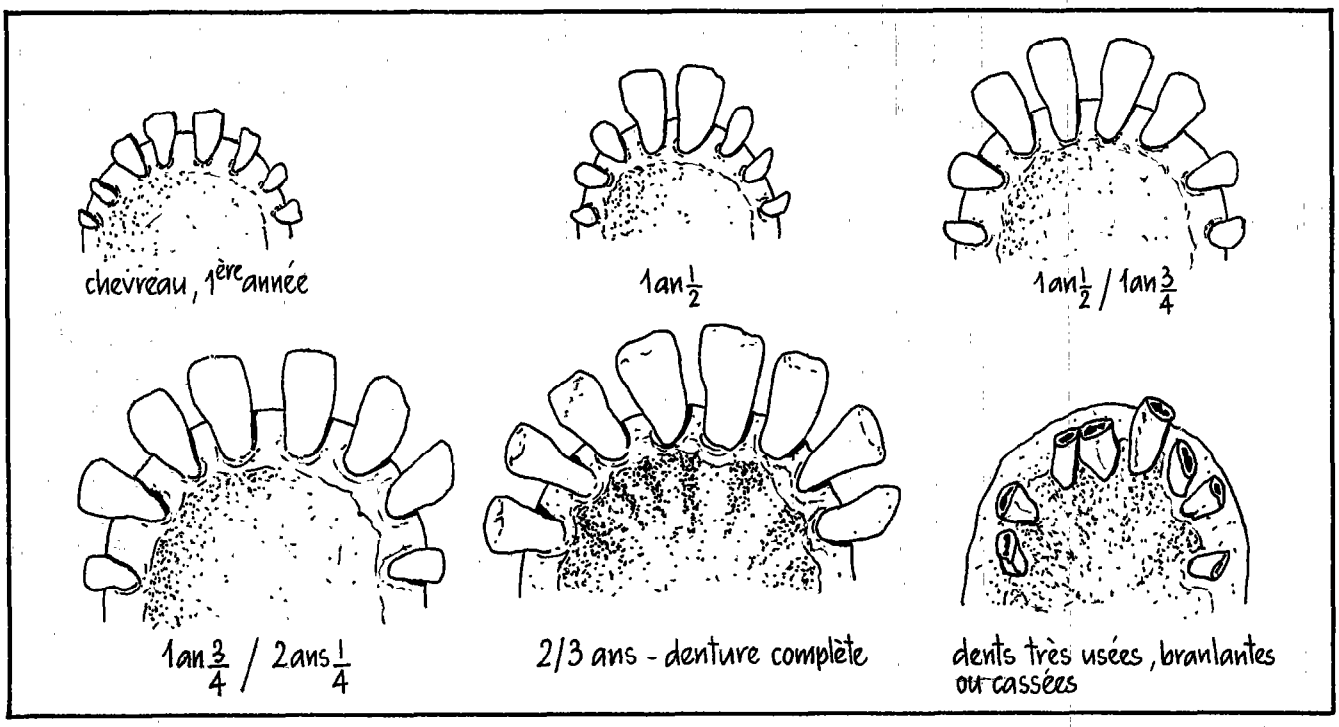
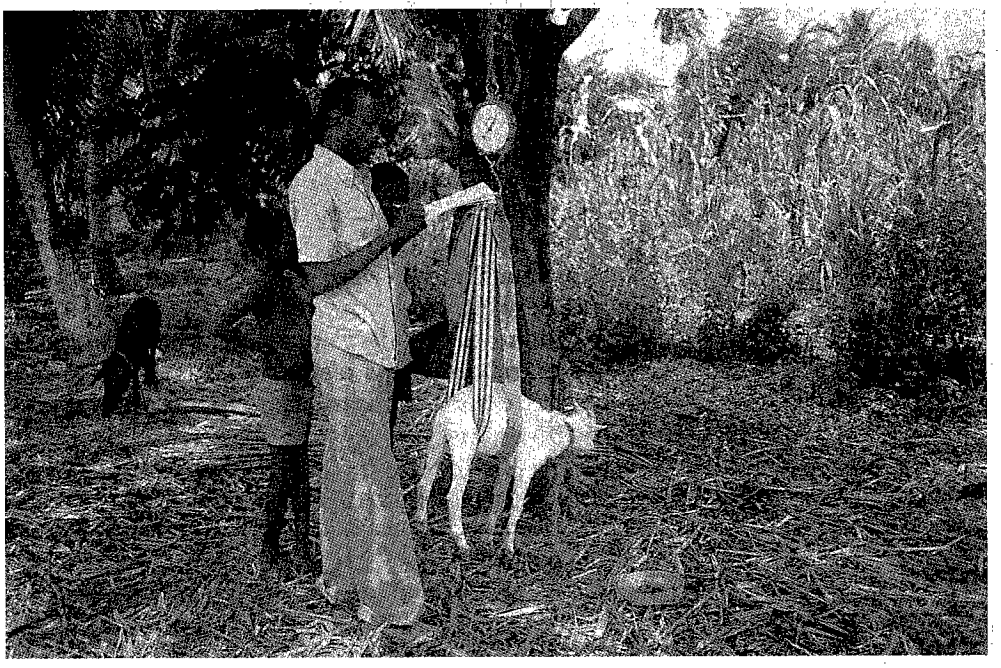


Figure 224 : détermination de l'âge à partir de l'observation des stades dentaires (d'après le Mémento de l'agronome, Ministère de la Coopération Française)

Eruption des dents	Dents de lait	Dents définitives			
		Pinces	1° mitoyennes	2° mitoyennes	Coins
Chevaux	< 5-6 mois	32 mois			52 mois
Bovins	< 8 jours	26-28 mois	32-36 mois	43-47 mois	54-60 mois
Ovins, caprins	< 22-25 jours	15-20 mois	21-25 mois	30-36 mois	42-45 mois
			Mitoyennes	Coins	Crocs
Porcs	<8 semaines	12 mois	18 mois	9 mois	9 mois

• **Le poids** sera mesuré soit par pesée directe pour les animaux de petite taille, soit par analogie à l'aide de tables donnant le poids d'animaux de même race et de même âge. Le poids des gros animaux sera apprécié à 50 kg près. Il existe pour certaines espèces des rubans appelés rubans barymétriques qui donnent la correspondance entre le tour de poitrine et le poids d'un animal. Ces rubans, quand ils sont disponibles, sont très utiles et relativement précis.



Pesée d'un caprin (photo J. Cavalié).

ETAT PHYSIOLOGIQUE ET NIVEAU DE PRODUCTION

Pour déterminer les besoins de production, l'état physiologique et les productions actuelles ou souhaitées devront être établies. Dans un premier temps, il est préférable de prendre en considération des productions proches de celles observées dans l'exploitation ou dans certaines exploitations présentant un système d'élevage comparable.

• Pour l'estimation de la quantité de lait produite (lait absorbé par le veau et lait trait), on retire le petit de la mère une journée et on mesure la quantité de lait produite par deux traites à 12 heures d'intervalle. Le lait est redistribué au veau au seau ou au biberon.

• Le gain de poids quotidien sera estimé par comparaison à des tables de croissance ou à des mesures effectuées en station d'expérimentation dans des conditions comparables à celle de l'exploitation.

Les animaux de Jonas Alcinor :

	SEXE	AGE	POIDS	STADE PHYSIO	PERFORMANCE
CAPRINS					
N°1	Femelle	3 ans	25 kg	Allaitement	0.5 kg lait/j
N°2	Femelle	2 ans	20 kg	Allaitement	0.5 kg lait/j
N°3	Femelle	10 mois	14 kg	Croissance	40 g/j
N°4	Mâle ent.	6 mois	10 kg	Croissance	50 g/j
+ 1 chevreau nourri au lait de la mére.					
BOVINS					
N°1	Femelle	5 ans	200 kg	Allaitement (7ème mois)	3.5 kg lait/j
N°2	Femelle	3 ans	200 kg	Allaitement (7ème mois)	3.5 kg lait/j
N°3	Femelle	3 ans	250 kg	Gestante (7ème mois)	-
N°4	Femelle	2 ans	200 kg	Sèche	-
N°5	Femelle à acheter	18 mois	100 kg	Croissance	250 g/j
N°6	Mâle ent.	3 ans	300 kg	Reproduction	-
+ 2 veaux nourris au lait de la mère.					

BESOINS QUANTITATIFS D'ENTRETIEN ET DE PRODUCTION

A l'aide des tables d'alimentation, les besoins d'entretien et de production seront estimés pour chaque animal. Ces tables étant très générales, elles ne permettent d'apprécier qu'un ordre de grandeur théorique des besoins.

Calcul des besoins d'entretien d'une chèvre :

Besoins en énergie d'une chèvre de 30 kg : 0.47 UF
Besoins en énergie d'une chèvre de 40 kg : 0.53 UF

Le besoins d'entretien en énergie d'une chèvre de 35 kg sera donné par le calcul suivant :

$$UF_{35} = UF_{30} + 5 \frac{UF_{40} - UF_{30}}{40 - 30}$$

$$= 0,47 + \frac{5\,(0,53 - 0,47)}{10} = 0,50 \text{ UF}$$

• Lorsque certaines caractéristiques ne sont pas disponibles (par exemple le % de matière grasse du lait), on retient la valeur moyenne des tables.

Besoins approximatifs des bovins, des ovins, des caprins et des porcins selon leur stade physiologique et leur niveau de production

• Les besoins sont calculés pour la matière sèche, l'énergie, la matière azotée et les minéraux.

• Les besoins d'entretien s'entendent pour des animaux immobiles, à l'attache en étable ou au piquet. En cas de déplacement ou de parcours, ils seront majorés de 20% pour des parcours de 8 km en terrain plat à 60% pour des parcours de plusieurs heures en terrain fortement accidenté.

• Les tables donnent les valeurs des besoins par palier, il faut donc faire une péréquation lorsque l'âge de l'animal ou son niveau de production se retrouve entre deux paliers.

Le travail entraîne d'importantes dépenses d'énergie (photo D. Mermet).



BOVINS		Entretien	Croissance	Gestation 3 derniers mois	Lactation	Travail [1]	Engraissement
Energie (en U.F.)		100 kg : 1,2 150 kg : 1,6 200 kg : 2,0 250 kg : 2,3 300 kg : 2,6 400 kg : 3,2 500 kg : 3,8	Par kg de gain (croissance moyenne) au sevrage : 1,2 à 1,7 6-12 mois : 2,1 12-18 mois : 2,7 18-24 mois : 3,0 24-36 mois : 3,2	7° mois : 0,1/100 kg P.V. 8° mois : 0,2/100 kg P.V. 9° mois : 0,3/100 kg P.V.	0,38 par kg de lait à 4 p. 100 de matière grasse	Besoins totaux (entretien E + travail) Travail faible 3E/2 Travail moyen 2E Travail fort 5E/2	Par kg de gain début : 3,0 milieu 3,5 - 4,0 fin 4 à 5
Besoins protéiques (matières azotées digestibles MAD)		0,6 g par jour et par kg de poids vif	Besoins totaux (entretien + croissance) exprimés en g par UF : Sevrage : 130-140 6-12 mois : 100-130 12-18 mois : 80-100 + 18 mois : 80	100 g/UF	60 g par kg de lait à 4 p. 100 de matière grasse	Pour un travail fort à moyen 0,8 g par kg P.V. (besoin total)	Besoins totaux selon l'âge 80 à 120 g/UF
Vitamines	Vitamine A	20 000 UI/j par 100 kg P.V.	20 000 UI/j et par 100 kg P.V.	13 000 UI/j	30 000 UI/j 100 kg P.V.		
	Vitamine D		veaux : 880 UI/j jeunes : 220 UI/j	Pour 100 kg P.V. pour 100 kg P.V.	300 UI par 100 kg P.V.	800 à 1 000 UI	
	Pour les veaux — Vit. B1	3 mg/100 kg P.V.	4 à 5 mg/100 kg P.V.				
	Pour les veaux — Vit. B2	2 mg/100 kg P.V.	3 mg/100 kg P.V.				
Minéraux	Calcium	5 mg/100 kg P.V.	15 à 25 g/kg de gain	6 g/100 kg P.V.	3 g/kg lait		
	Phosphore	3 mg/100 kg P.V.	10 à 20 g/kg de gain	5,5 g/100 kg P.V.	1,5 g/kg lait		
	NaCl	5 mg/100 kg P.V.	2 g/kg de gain		2,0 g/kg lait		

Besoins déplacement :
• bovins : + 0,026 UF/km/100 kg de poids vif
• caprins : + 20 % besoins d'entretien pour grands déplacements (8 km/j)

P.V. : poids vif

OVINS		Entretien	Croissance	Engraissement	Lactation	Gestation
Energie (en UF)		10 kg : 0,26 20 kg : 0,38 30 kg : 0,47 40 kg : 0,53 50 kg : 0,58 60 kg : 0,64	Pour 100 g de gain (croissance moyenne) 1° mois : 0,16 2° mois : 0,21 3° mois : 0,27 + de 3 mois : 0,32	3° mois + 5 % 4° mois + 20 % 5° mois + 50 % des besoins d'entretien	0,6 UF par kg de lait à 8 p. 100 de matières grasses	0,40 à 0,55 pour 100 g de gain
Besoins protéiques (matières azotées digestibles MAD)		0,8 à 1,2 g/j et par kg P.V. chez l'adulte 2 à 3 g/j chez le jeune	Besoins totaux (entretien + croissance) exprimés en g/UF Jusqu'à 3 mois : 150 à 190 g de 3 à 5 mois : 135 g	Jusqu'à 3 mois : 0,8 g par kg P.V. Du 3° au 5° mois : 1,3 à 1,8 g par kg P.V.	110 g/litre de lait	Besoins totaux : 60 à 70 g/UF
Vitamines	Vitamine A	220 UI/j/kg P.V. par kg d'aliment		680 UI/kg P.V.	930 UII/kg P.V.	
	Vitamine D	1 000 à 1 500 UI par jour	250 à 300 UI/50 kg P.V.			
	Pour les agneaux — Vit. B	Besoins inconnus généralement couverts par les rations				
	Pour les agneaux — Vit. E					
Minéraux	Calcium	0,5 g/10 kg P.V.	1,8 à 7,5 g/j besoins totaux selon P.V. et gain	Besoins totaux 3,5 à 5 g	4 à 5 g/litre lait	
	Phosphore	0,3 g/10 kg P.V.	1,2 à 4,5 g/j	2,5 à 3,5 g	3 à 4 g/litre lait	
	NaCl	0,5 g/10 kg P.V.	5 g/kg de gain		2 g/litre de lait	

CAPRINS	Poids vif (kg)	Energie en UF		M.A.D.		Ca	P	Vit. A	Vit. D
Entretien	10 20 30 40 50 60	0,43/j 0,50 0,57 0,64 0,71 0,78		30 g/j 35 40 45 50 55		0,7 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0	0,5 0,6 0,9 1,2 1,5 1,8	200 UI/j et par kg de P.V.	6 UI/kg P.V.
Entretien et croissance (gain : 150 à 175 g/j)		UF/j	UF/kg gain	g/j	g/UF				
	3-5	0,50	1,5	85	170	2,0	1,3	220 UI/j et par kg P.V.	6 UI/j et par kg P.V.
	8-9	0,70	1,8	120	170	2,7	1,7		
	14-15	0,85	2,2	140	165	2,7	1,8		
	19-20	0,92	2,2	145	155	2,9	1,9		
	24-25	0,95	2,5	135	140	3,2	2,0		
	29-30	0,97	2,7	120	125	3,2	2,0		
	33-35	1,05	3,0	105	100	3,2	2,0		
Gestation 4° mois		Entretien + 0,25		Entretien + 20 g		Entretien + 1,5 g	Entretien + 1,8 g	début : 250 UI/kg P.V. fin : 700 UI/kg P.V.	
Lactation par kg lait									
3 % MG		0,32		50 g		4	3	600 UI/kg P.V.	
4 % MG		0,36		55		4	3		
5 % MG		0,40		60		4	3		

PORCINS

• Besoins énergétiques et azotés

	Besoins énergétiques						Besoins azotés	
	Age semaines	P.V. kg	Sevrage à 7 semaines EM/jour	Sevrage à 7 semaines UF/jour	Sevrage précoce à 7-15 j EM/jour	Sevrage précoce à 7-15 j UF/jour	Matières protéiques totales en % ration / en g MAD/UF	
Porcelets	1	1,5	730	0,23	730	0,23	25	180
	2	2,6	950	0,30	1 000	0,33	25	180
	3	4,0	1 180	0,38	1 400	0,45	25	180
	4	5,7	1 425	0,45	1 700	0,55	25	180
	5	7,5	1 620	0,52	2 150	0,70	22	170
	6	9,8	1 830	0,58	2 500	0,80	22	170
	7	12,2	2 050	0,65	2 800	0,90	18	160
	8	14,8			3 100	1,0	18	160
							(jusque 20 kg P.V.)	

	P.V. kg	gains moyens	UF/jour	EM/kg aliment		
Entretien Croissance Finition	20	500	1,15	3 000	17,5	155
	30	625	1,3	3 000	17	150
	40	750	1,6	3 000	16	140
	50	750	1,9	3 000	15	130
	60	775	2,2	3 000	14	120
	70	775	2,6	2 900	14	120
	80	800	2,8	2 900	13	110
	100	800	3,0	2 900	13	110

Reproducteurs		Entretien		Gestation		Lactation		Gest.	Lact.	Verrat
	PV kg	UF	EM	UF	EM (cal)	UF	EM (cal)	%	%	%
Truies	125 à 150	1,55	4 830	du début à la fin	5,2	16 350				
	160	1,75	5 450	0,10	300					
	180	1,90	5 950	à	à	5,6	17 750	12,5	14,0	
	200	2,10	6 500	0,25	800					
	225	2,25	7 000			6,1	19 200			
Verrats	150	2,5	7 850							15
	250	3,1	9 700							13

• Besoins vitaminiques et minéraux : quantités par kg de régime.

	PV kg	Carotène UI	Vit. A UI	Vit. D mg	Vit. B_1 mg	Vit. B_2 mg	Vit. PP mg	Vit. B_6 mg	Vit. B_{12} mg	Ac Pant g	Ca g	P g	Sel g	Autres minéraux mg	
Porcs en croissance	5-10	3,5	22 000	2 200	1,3	3,0	22,0	1,5	0,022	13,0	15	10	2,5		
	10-20	2,6	17 500	2 000	1,1	3,0	18,0	1,5	0,015	11,0	13	9	2,5	Fer	120
	20-35	2,6	13 000	2 000	1,1	2,6	14,0	1,1	0,011	11,0	11	8	2,5	Zinc	70
	35-60	2,6	13 000	1 250	1,1	2,2	10,0	-	0,011	11,0	10	7	2,5	Manganèse	50
	60-100	2,6	13 000	1 250	1,1	2,2	10,0	-	0,011	11,0	7	5	2,5	Cuivre	30
														Iode	0,2
Repro-ducteurs	Gest.	8,2	4 100	1 500	1,4	4,1	22,0	-	0,014	16,5	7	5	2,5	Idem	
	Lact.	6,6	3 300	2 200	1,1	3,3	17,6	-	0,011	13,2	7	5	2,5		
	Verrat	8,2	4 100	2 750	1,4	4,1	22,0	-	0,014	16,5	7	5	2,5		

Figure 225 : apports énergétiques recommandés (UFL/jour) pour des bovins tropicaux adultes attelés par paire et effectuant un travail régulier

Poids (kg)	Intensité du travail	Effort de traction (kg)	Vitesse (km/h)	Durée du travail		
				4 h	6 h	8 h
250	Très élevée	35	2,0	4,3	5,2	
	Elevée	30	2,0	4,2	4,8	
	Moyenne	25	2,5	4,0	4,6	5,2
	Légère		3,5	3,5	4,0	4,5
350	Très élevée	50	2,0	5,4	6,5	
	Elevée	42	2,5	5,3	6,1	
	Moyenne	35	2,5	5,1	5,8	6,5
	Légère		3,5	4,5	5,1	5,7
450	Très élevée	63	2,5	6,7	8,1	
	Elevée	54	2,5	6,5	7,6	
	Moyenne	45	3,0	6,3	7,1	8,1
	Légère		4,0	5,3	6,0	6,8

Tous les animaux de Jonas Alcinor sont à l'attache; les besoins estimés à l'aide des tables sont les suivants :

BESOINS EN ÉNERGIE

CAPRINS	POIDS	ENERGIE en UF par JOUR : PRODUCTION	ENTR.	PRODUCTION	TOTAL
N°1	25 kg	0.5 kg lait/j	0.54	0.36x0.5=0.18	0.72 UF
N°2	20 kg		0.50	_	0.50 UF
N°3	14 kg	40 g/j	0.46	2.2x0.04=0.09	0.55 UF
N°4	10 kg	50 g/j	0.43	1.8x0.05=0.09	0.52 UF
		TOTAL CAPRINS : 1.93 UF + 0.36 UF = 2.29 UF			

BOVINS	POIDS	ENERGIE en UF par JOUR : PRODUCTION	ENTR.	PRODUCTION	TOTAL
N°1	200 kg	3.5 kg lait/j	2	0.38x3.5=1.33	3,3 UF
N°2	200 kg	3.5 kg lait/j	2	0.38x3.5=1.33	3,3 UF
N°3	250 kg	Gestante (7ème mois)	2,3	0.2	2,5 UF
N°4	200 kg	Sèche	2	-	2 UF
N°5	100 kg	250 g/j	1,2	2.7x0.25=0.675	1,9 UF
N°6	300 kg	Reproduction	2,6	-	2,6 UF
		TOTAL BOVINS	**12,1 UF**	**+ 3.55 UF=**	**15,6 UF**
TOTAL BOVINS ET CAPRINS			**15,6 UF + 2,3 UF = 17,9 UF**		

BESOINS EN MATIÈRE AZOTÉE

Pour les animaux en croissance, les tables indiquent la Matière Azotée Digestible (entretien + croissance) en grammes par UF apporté. Par exemple dans le cas du bovin N°5, les besoins sont de 1.87 UF par jour. Les tables indiquent pour les bovins de plus de 18 mois des besoins équivalents à 80 g de MAD par kg d'UF apporté. Soit pour le bovin N°5 : 80 x 1.87 = 150 g.

			MAD en GRAMMES par JOUR		
	POIDS	PRODUCTION	ENTR.	PRODUCTION	TOTAL
CAPRINS					
N°1	25 kg	0.5 kg lait/j	37	27	64 g
N°2	20 kg	-	35	-	35 g
N°3	14 kg	40 g/j	165 g/UF x 0,55 UF		91 g
N°4	10 kg	50 g/j	170 g/UF x 0,52 UF		88 g
			TOTAL CAPRINS :		**278 g**
BOVINS					
N°1	200 kg	3.5 kg lait/j	120	210	330 g
N°2	200 kg	3.5 kg lait/j	120	210	330 g
N°3	250 kg	Gestante (6éme mois)	150	20	170 g
N°4	200 kg	Sèche	120	-	120 g
N°5	100 kg	250 g/j	100 g/UF x 1,9 UF		190 g
N°6	300 kg	Reproduction	180	-	180 g
			TOTAL BOVINS :		**1320 g**
		TOTAL BOVINS ET CAPRINS :	**1598 g**		

CAPACITÉ D'INGESTION

La capacité d'ingestion est la quantité maximale de matière sèche qu'un animal peut ingérer par jour volontairement. Elle est donnée en kg de matière sèche par 100 kg de poids vif.

Figure 226 : capacité d'ingestion (consommation volontaire) des ruminants domestiques

Animal	Entretien	Gestation	Lactation
Bovins	2,5 kg MS/100 kg PV	3 kg MS/100 kg PV	+ 280 g MS/kg lait prod. (en fin de lactation)
Ovins	2,5 kg MS/100 kg PV	3,5 kg MS/100 kg PV	5 kg MS/100 kg PV en début de lactation
Caprins	2,5 kg MS/100 kg PV	3 kg MS/100 kg PV	4,5 - 5 kg MS/100 kg PV en début de lactation

L'élevage de Jonas Alcinor

	POIDS	CAPACITE D'INGESTION en kg de Matière Sèche		
		ENTRETIEN	PRODUCTION	TOTAL
CAPRINS				
N°1	25 kg	0.625	4.5x0.25=1.125	1.75 kg MS
N°2	20 kg	0.5	-	0.5 kg MS
N°3	14 kg	0.35	-	0.35 kg MS
N°4	10 kg	0.25	-	0.25 kg MS
			TOTAL CAPRINS :	**2.85 kg MS**
BOVINS				
N°1	200 kg	5	3.5x0.28=6	11 kg MS
N°2	200 kg	5	1	11 kg MS
N°3	250 kg	6.2	6	12,2 kg MS
N°4	200 kg	5	-	5 kg MS
N°5	100 kg	2.5	-	2.5 kg MS
N°6	300 kg	7.5	-	7.5 kg MS
			TOTAL BOVINS :	**49,2 kg MS**
		TOTAL BOVINS ET CAPRINS : 52 kg MS		

Besoins totaux de l'ensemble des animaux de Jonas Alcinor

	Caprins	Bovins	Total
Energie	2,3 UF	15,6 UF	17,9 UF
Matière azotée	278 g	1320 g	1598 g
Capacité d'ingest.	3 kg MS	49 kg MS	52 kg MS

Jonas Alcinor doit donc apporter à ses animaux, tout les jours, un maximum 52 kg de matière sèche totalisant 18 UF et 1600 g de matière azotée.

Si la situation de son troupeau change (achat de nouveaux animaux, changement du type de production), Jonas Alcinor doit calculer les nouveaux besoins.
Certains animaux changent de production au cours de l'année (tarissement, gestation,...), leurs besoins varient donc. Il est nécessaire de les recalculer à intervalles réguliers pour réaménager la ration issue du premier calcul et d'établir ainsi un **calendrier des besoins** qui sera comparé au **calendrier des ressources**.

LES BESOINS EN MINÉRAUX

Les fourrages des pays tropicaux sont souvent déficitaires en phosphore (P), soufre (S) et parfois en sodium (Na).

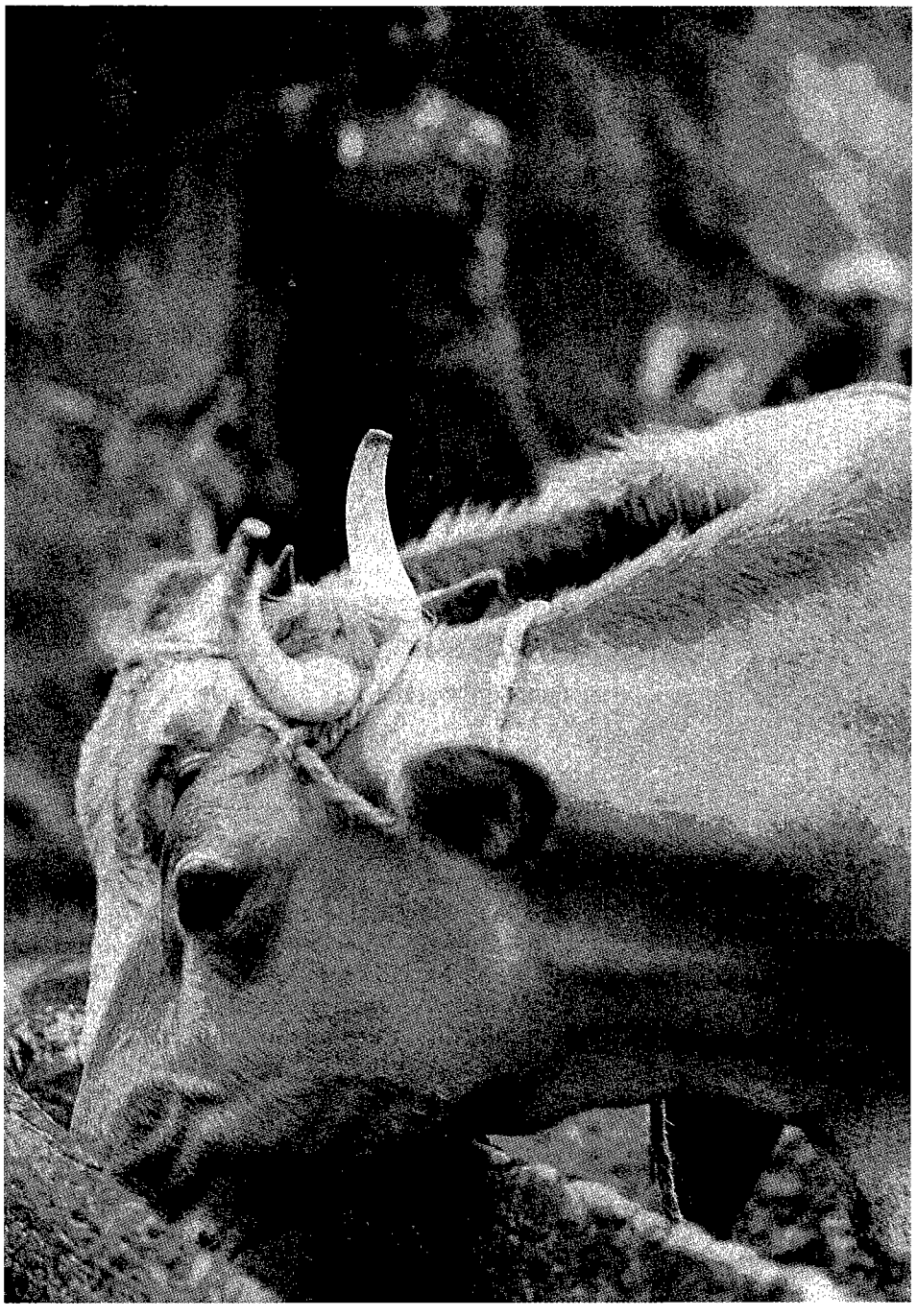
Les autres minéraux sont présents en quantité suffisante dans les fourrages (surtout quand ceux-ci sont variés) pour ne pas nécessiter un bilan précis des besoins et des apports.

LES BESOINS EN EAU

L'eau indispensable à l'animal est apportée par les aliments lorsque ceux-ci sont riches en eau (fourrages verts pendant la saison des pluies). Quand les aliments sont pauvres en eau (fourrages séchés, graines, aliments concentrés), l'eau doit être apportée par l'**abreuvement**.

Figure 227 : quantités d'eau nécessaires à l'entretien et à la production (en litres)

	Bovins	Ovins-caprins	Porcins	Chevaux
Adultes non allaitantes	30 à 40	3,5	5	30
Femelles allaitantes	40 à 50	4,5	10 à 15	40



Vache s'abreuvant (photo G. de Laubier)..

Les besoins en eau varient selon :

• les **espèces, l'âge** et le **poids**. Les porcs sont très sensibles au manque d'eau quand ils sont alimentés avec des aliments secs ou faiblement humides. Ils présentent alors des troubles de l'appareil urinaire qui vont pénaliser toutes les productions : reproduction, engraissement etc...

• le **stade physiologique** : les besoins en eau augmentent considérablement pour les femelles en lactation,

• la **saison** : pendant la saison des pluies, l'eau présente dans les fourrages couvre la plupart des besoins des animaux. Les besoins sont très élevés en saison chaude (faible teneur en eau des aliments, transpiration importante des animaux du fait de la chaleur, etc.) et doivent être couvert par un abreuvement quotidien.

Les animaux ne peuvent supporter que quelques jours la privation d'eau : 4 à 5 jours pour le mouton, 2 à 3 jours pour les bovins. Dans un premier temps, les animaux puisent dans leur réserve corporelle, ce qui va entraîner une perte de poids. Si la privation d'eau est prolongée, la déshydratation entraîne des lésions irréversibles et aboutit à la mort de l'animal (7 jours pour un mouton, 4 jours pour un bovin).

La déshydratation reste tolérable tant qu'elle peut être rétablie par un seul abreuvement.

BESOINS QUALITATIFS

Dans certaines conditions d'environnement et de production, l'alimentation, bien que distribuée en quantité suffisante, peut être trop pauvre en éléments indispensables ou ne pas présenter les qualités nécessaires au bon déroulement de la digestion : l'alimentation est **déséquilibrée**. Cela peut avoir plusieurs conséquences :

• apparition de **carences** qui se traduiront par une fragilisation des animaux et dans certains cas par des maladies (carences en vitamine, en acides aminés indispensables, en minéraux, en oligo-éléments...). Une alimentation monotone, composée d'un nombre réduit d'aliments augmente les risques d'apparition de carences ;

• une mauvaise utilisation des composants de la ration présents pourtant en quantité suffisante. Par exemple, chez les ruminants, un déficit en fourrage grossier entraîne une perturbation des micro-organismes du rumen, l'énergie et les protéines apportées par ailleurs ne sont donc pas utilisées de manière optimale ;

• certains aliments de la ration peuvent être antagonistes; la présence de l'un entraînant une mauvaise utilisation d'un ou des autres.

LES ÉLÉMENTS INDISPENSABLES DE LA RATION

Les éléments indispensables d'une ration sont les nutriments qui ne sont pas produits directement par l'animal ou indirectement par les bactéries présentes dans son tube digestif.

Pour les ruminants, ce sont principalement des minéraux (oligo-éléments) et certaines vitamines qui ne sont pas synthétisées par le rumen.

Le porc, outre les oligo-éléments et les vitamines, a besoin dans son alimentation de certains acides aminés indispensables que son organisme ne synthétise pas. L'acide aminé indispensable le plus important est la **lysine**. La lysine doit donc être apportée par l'alimentation.

Certaines carences peuvent être mises en évidence par une observation attentive des animaux : rachitisme des porcelets indicateur d'une carence en vitamine D, décoloration des poils (oligo-éléments), etc.

La meilleure manière de lutter contre les carences est de distribuer une alimentation variée tout au long de l'année.

Il est aussi possible de distribuer dans l'alimentation (ou d'injecter) des compléments minéraux et vitaminiques achetés dans le commerce.

Certains éléments indispensables, en particulier les oligo-éléments, peuvent devenir **toxiques** s'ils sont ajoutés (ou présents) en trop grande quantité dans la ration.

Figure 228 : symptômes de carence pour les principaux éléments minéraux et prophylaxie

Elément	Animal	Trouble de croissance	Troubles osseux	Inappétance	Troubles cardiaques	Troubles de fertilité	Fièvre de lait	Troubles de l'appétit	Paralysies	Source d'élément et prophylaxie
Calcium	Jeunes Adultes Poules Femelle allaitante	• •	• • •				•			Lait. Fourrages verts. Farines de poisson et de viande. Calcaire broyé. Farine d'os cuit à la vapeur. Injection intraveineuse de glucen de calcium.
Phosphore	Jeune Adulte	• •	• •			• •		• •		Lait. Graines de céréales Farbes de poisson et de viandes phosphates de calcique. Phosphates naturels.
Potassium	Tous animaux Veaux nourris au lait artificiel Poulets	•	Très rare		• •				•	Fourrages verts
Sodium	Tous animaux Poules	• •								Farines de viande et poissons. Sel ordinaire
Chlore	Tous animaux Poules	•		•				• •		Comme pour le sodium
Soufre	Tous animaux	•								Aliments protéiques Sulfate de sodium
Magnés.	Veaux Ruminants				• •					Son de blé. Tourteau de coton, de lin, injection de sulfate de magn., chlorure de magnésium.

LES INTERACTIONS ENTRE ALIMENTS CONCENTRÉS ET FOURRAGES

Les **aliments concentrés** apportent beaucoup d'éléments nutritifs avec un faible encombrement. Ils se distinguent des fourrages par leur concentration élevée en **amidon** et en **protéines** et par une faible teneur en **éléments fibreux**. Certains sont surtout énergétiques (céréales), d'autres sont énergétiques et protéiques (légumineuses, tourteaux, farines de poissons). Ils sont souvent broyés et conditionnés sous forme de granulés pour faciliter leur manipulation et leur transport.

Les disponibilités locales et leur prix élevé sur le marché haïtien limitent leur emploi aux périodes de soudure en fin de saison sèche ou pour l'engraissement d'un animal. En aucun cas ils ne seront distribués seuls chez les ruminants : ce sont des aliments complémentaires.

Les aliments concentrés nécessitent un temps court de mastication. Ils sont peu encombrants et ne provoquent pas, quand ils sont distribués en petite quantité, une diminution sensible de l'ingestion des fourrages.

Les concentrés sont attaqués prioritairement par les bactéries du rumen et transformés rapidement en acides gras volatils. Trop de concentrés entraîne une digestion moins rapide et moins complète des fourrages. Cette perte de digestibilité perturbe la flore bactérienne du rumen et entraîne une moins bonne valorisation des fourrages et une augmentation de l'encombrement de la ration.

A l'inverse une quantité raisonnable d'aliment concentré donne de l'énergie aux bactéries du rumen qui sont alors plus efficaces pour dégrader des végétaux peu digestibles. Cette particularité est surtout intéressante pour les fourrages tropicaux riches en lignine. L'adjonction en quantité raisonnable de concentré apporte la matière azotée nécessaire à la production dont ces fourrages sont souvent pauvres.

LES ANTAGONISMES

Certains composants de la ration peuvent avoir des actions contraires. Par exemple, les fourrages tropicaux sont souvent très riches en fer et en aluminium. Ces deux éléments vont s'associer dans la panse avec le phosphore et réduire son absorption par l'organisme.

LA QUALITÉ DE L'EAU

Les animaux, comme l'homme, ont besoin d'une eau de bonne **qualité**. L'eau en milieu tropical est l'un des principaux vecteurs des maladies (maladies digestives, hépatites, parasites..).

L'eau pour être potable doit présenter de bonnes qualités bactériologiques et chimiques.

• Les eaux chargées de matières organiques et, en particulier les eaux stagnantes, sont souvent très riches en microbes et parasites (douves, ténias, entéro-bactéries,etc.). Il faut donc éviter de distribuer de l'eau souillée par des déjections, ou contaminées par des infiltrations de déjections humaines ou animales. L'entretien et la surveillance des points d'eau sont essentiels au bon état sanitaire d'un troupeau.

• De nombreuses sources, particulièrement en zone sèche, sont très riches en sels minéraux ou en sel. Elles ne sont pas potables et entraînent de sérieux troubles digestifs.

Les jeunes animaux sont très sensibles à une mauvaise qualité bactériologique et chimique de l'eau. L'eau non potable est responsable d'une grande partie de la mortalité des jeunes animaux.

Enfin l'eau est souvent l'intermédiaire par lequel des maladies vont circuler entre l'homme et l'animal (zoonoses). La séparation entre les points d'abreuvement des animaux et les zones de captation de l'eau destinée à la consommation humaine doit être la règle. A défaut, des règles d'hygiène très strictes d'utilisation et de gestion des points d'eau doivent être appliquées pour éviter la propagation de ces maladies.

Les ressources disponibles

Un terroir dispose d'un ensemble de ressourses alimentaires pour les animaux domestiques. La nature et l'importance de ces ressources dépendent des conditions écologiques de la région et des modes d'exploitation des écosytèmes par les paysans. Dans une région à forte pression démographique, où les surfaces non cultivées sont rares, la disponibilité en fourrage dépend totalement des systèmes de culture. En revanche, dans les régions à faible pression démographique, les surfaces non cultivées (savanes, racks) représentent des ressources fourragères importantes.

Pour certaines productions animales (élevage hors sol) ou à certaines périodes (saison sèche), des aliments produits ou non dans la région peuvent être achetés.

L'éleveur cherche en général à utiliser au mieux les ressources disponibles sur son exploitation. Leur utilisation doit ausi permettre leur reproduction.
Ces ressources varient en quantité et en qualité au cours de l'année et il est intéressant d'essayer de les faire coïncider aux besoins du troupeau (culture de certaines espèces, choix des dates de mise-bas, stockage de fourrages).

Au niveau d'une région, il faut dans un premier temps faire l'**inventaire** des ressources disponibles, puis connaître leur valeur alimentaire et surtout les variations de cette valeur dans l'espace et dans le temps. En effet, la qualité d'un fourrage varie fortement suivant son lieu de récolte mais aussi suivant son stade de développement végétatif.

Les produits végétaux qui sont à la base de l'alimentation des ruminants se subdivisent en quatre catégories :
- **la végétation spontanée des espaces non cultivés,**
- **les fourrages cultivés pour l'alimentation animale,**
- **les sous-produits des végétaux destinés à l'alimentation humaine,**
- **les sous-produits de l'industrie agro-alimentaire.**

Lors de l'inventaire des ressources, une attention particulière sera portée aux besoins en eau.

LA VÉGÉTATION SPONTANÉE DES ESPACES NON CULTIVÉS

La végétation spontanée des espaces non cultivés constitue l'essentiel de l'alimentation de la majorité des animaux haïtiens. Les espaces concernés sont : les jachères, les parcours (racks, savanes...), les bordures de chemins, etc.

Ce type de végétation et sa productivité dépendent des facteurs climatiques et principalement du régime des pluies. On distingue plusieurs strates parmi ces espèces végétales :
- la strate herbacée,
- les buissons et les cactées surtout en zone sèche,
- les arbustes et les arbres en zone plus humide.

LES PLANTES HERBACÉES

Les plantes herbacées appartiennent à de nombreuses familles botaniques.

Les graminées

Elles constituent l'essentiel de la strate herbacée.
Les graminées ont un enracinement important et ont la faculté de taller à partir d'un plateau de tallage situé à quelques centimètres du sol : une tige principale forme plusieurs tiges secondaires, portant chacune un épi.
Quand elle est coupée au dessus de ce plateau de tallage, la graminée repousse.

Figure 229 : graminées spontanées recensées au cours d'études sur le terrain.

Nom latin	Nom vernaculaire Créole/Français	Lieu	Animal
Axonopus compressus	Zeb si	Moneyron - jachère Changieux - jachère	Bovins - Equins Bovins - Equins
Anatherum sp	Jonc	Jachère	Caprins
Brachiaria reptans	Zeb si	Treme - Jachère	Bovins - Equins
Chloris sp	Zeb pié-poul Corde à graine Zeb si	Plaine Port à Piment Plateau central Treme - Jachère	Caprins - Anes Bovins - Equins
Cynodon dactylon	Chiendent	Moneyron - Jachère Racks	Bovins - Equins Caprins
Dichantium eschaenum	Zeb si	Treme - Jachère	Bovins - Equins
Digitaria sp	Zeb fine	Plateau central - Jachère Moneyron - Jachère	 Bovins - Equins
Eleusine indicata	Pied Poule	Moneyron - Jachère	Bovins - Equins
Paspalum • breve • ciliatifolium • conjugatum • fimbriatum		Jachère Moneyron - Jachère " " "	Caprins Bovins - Equins " " "
Setaria sp	Jonk madidak	Jachère Racks Moneyron - Jachère	Caprins Caprins Bovins - Equins
Schizachyrium		Jachère	Caprins
Sporolobus indicus	Zeb fin	Moneyron - Jachère Plaine Port à Piment	Bovins - Equins Caprins - Anes
Themeda quadrivalvis	Madame Michel	Plateau central - Jachère	

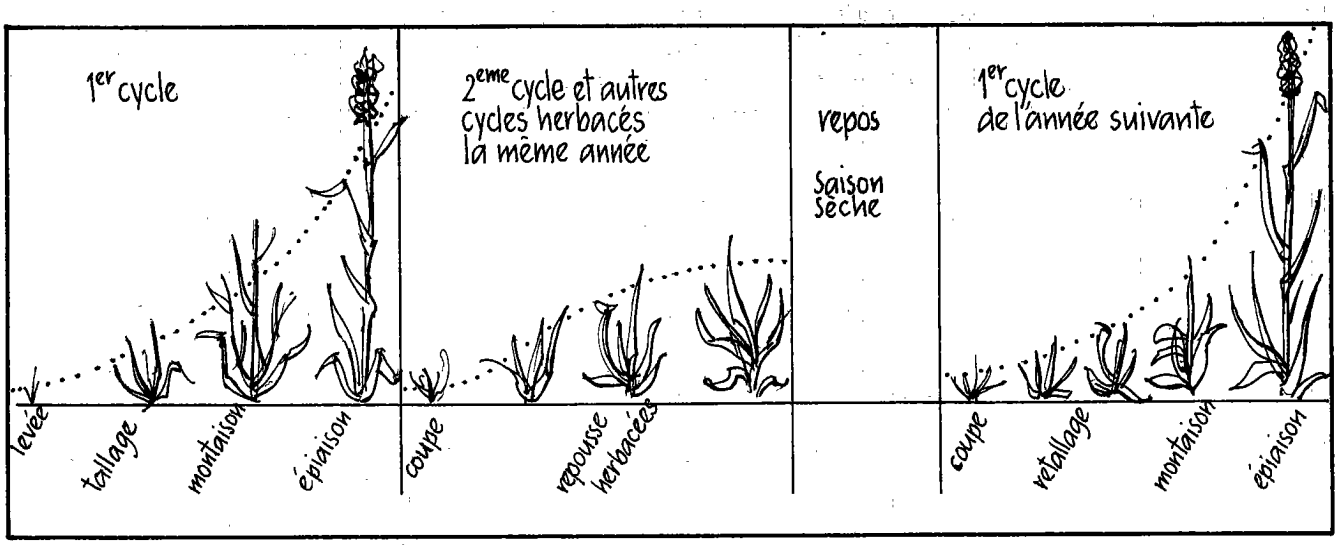
Il existe deux types de graminées :

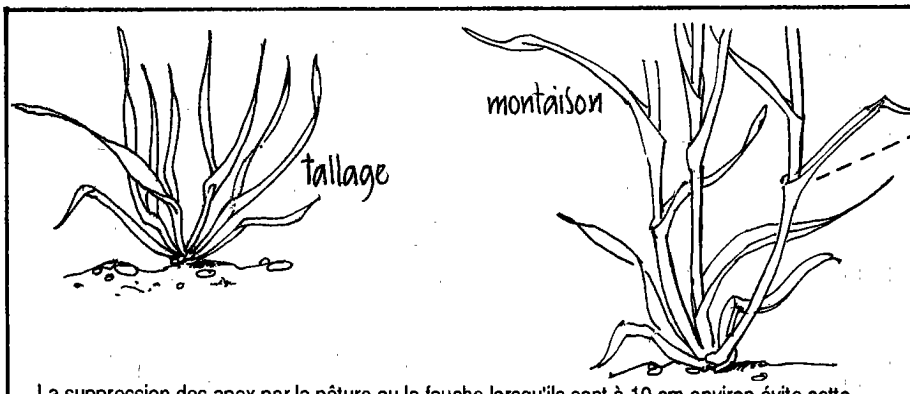
• **les graminées annuelles** dont le cycle de végétation est très court : intervalle entre la levée et l'épiaison de 60 à 100 jours. Ces graminées sont à consommer dans la courte période où elles existent. Elles se retrouvent plutôt en zone sèche (racks des plaines sèches, savanes du plateau central),

• **les graminées vivaces** qui peuvent repousser plusieurs fois au cours d'une même saison si on les coupe ou les pâture :
- **un déprimage** est un pâturage en début de saison humide, lorsque les apex reproducteurs sont situés très près du sol; ils ne sont donc pas atteints par les dents des animaux. Après un déprimage, les tiges continuent leur croissance et forment des épis. Cette méthode d'exploitation augmente la **digestibilité** du cycle ultérieur

Figure 230 : les cycles végétatifs d'une graminée vivace.

Figure 231 : le rôle des apex chez les graminées.





La suppression des apex par la pâture ou la fauche lorsqu'ils sont à 10 cm environ évite cette régression et fait redémarrer la production des talles feuillées : la production en est régularisée et le nombre de coupes annuelles peut être augmenté.

Les apex, qui s'élèvent grâce à l'allongement des entre-nœuds exercent une double action :

- ils inhibent (empêchent) l'émission de nouvelles talles ;
- ils entraînent la régression des talles herbacées en surnombre, et utilisent leurs substances nutritives.

de la graminée. Il peut cependant diminuer le rendement global annuel en matière sèche,

- **un étêtage** est une coupe au-dessous de l'apex. Il entraîne une repousse des feuilles uniquement. Les graminées vivaces doivent être consommées avant leur floraison pour favoriser les repousses. Mais un surpâturage est dangereux car il épuise les réserves de la plante qui devient alors incapable de survivre pendant la saison sèche.

La valeur alimentaire des graminées dépend du stade végétatif et de la partie consommée (cf fig. 232).

En début de végétation, elles sont riches en énergie et en protéines. Elles s'appauvrissent après la floraison car les éléments nutritifs (sucres) migrent dans les organes de réserve; les tiges s'épaississent et se lignifient d'où une diminution de la digestibilité. Ensuite elles se dessèchent et se transforment très vite en pailles de faible valeur nutritive.



Deux plantes herbacées réservées à l'alimentation des porcs : la verveine et la moutarde (photos G. de Laubier).

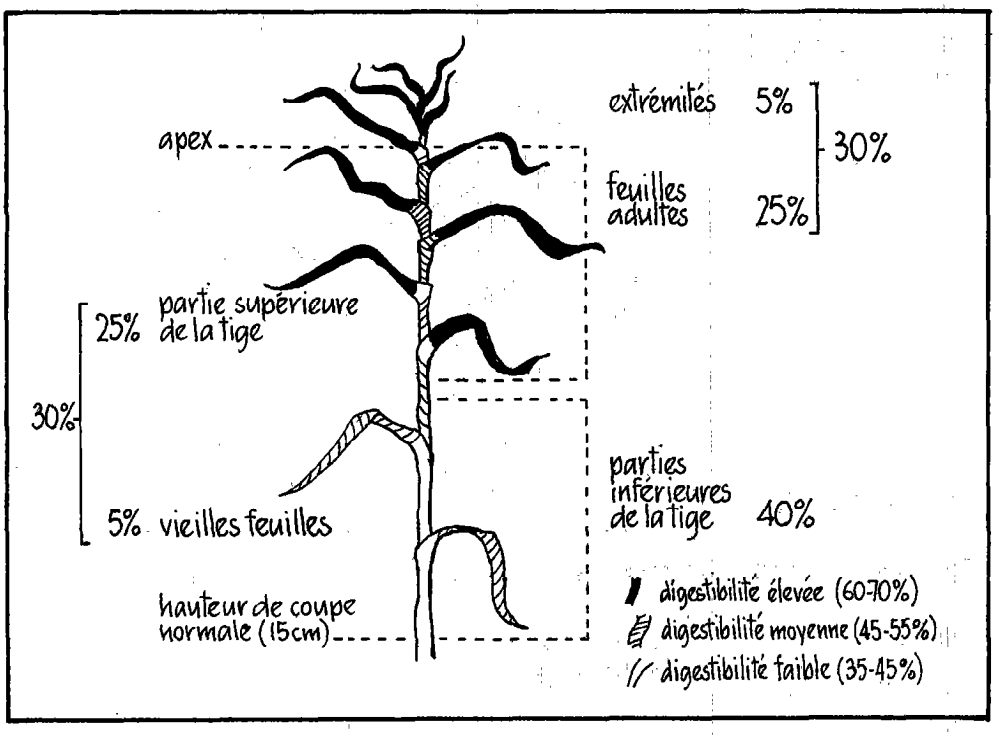


Figure 232 : digestibilité des différentes parties d'une graminée tropicale.

Figure 233 : évolution de la composition d'une graminée annuelle (*chloris prieurii*).

	Matière sèche %	Cellulose % de MS	UF par kg de MS	MAD % de MS
Stade végétatif	22,4	26,1	0,80	9,4
Repousse après pâture floraison	57,2	33,3	0,58	4,2
Pailles	94,8	35,9	0,47	0,6

Les légumineuses herbacées

Les feuilles de légumineuses sont particulièrement riches en matières azotées. La quantité moyenne de M.A.D par kilo d'aliment présente dans les légumineuses tropicales s'élève à 120g, contre 37g dans les graminées tropicales.

Elles sont également plus riches en éléments minéraux et, en particulier, en calcium (Ca) et en magnésium (Mg).

Leur digestibilité est variable : une part plus ou moins importante des matières azotées présente dans la plante est peu soluble. Elle dépend des espèces mais aussi de la richesse du sol, et surtout du stade de développement de la feuille : les jeunes feuilles sont beaucoup plus digestes.

Figure 234 : les légumineuses herbacées spontanées recensées au cours d'études sur le terrain.

Nom latin	Nom vernaculaire Créole/Français	Lieu	Animal
Cassia chamaechristia		Moneyron - Jachère	Bovins - Equins
Desmodium sp. ascendens tortuosum	 Cole-cole	Jachère Changieux - Jachère Treme - Jachère	Caprins Bovins - Equins
Rhynchosia minima	Pistache marron	Treme - Jachère	Bovins - Equins



Figure 235 : *desmodium tortuosum;* plantule, port et graine (x 0,5), gousse (x 0,25) et fleur (x 2,5).

Les autres familles

Figure236 : Autres espèces herbacées spontanées recensées au cours d'études sur le terrain.

Nom latin	Nom vernaculaire Créole/Français	Famille	Lieu	Animal
Asclepias		Apocynées	Jachère	Caprins
Bidens pilosa	pied poule zégui	Composées	Moneyron - Jachère Changieux - Jachère	Bovins - Equins
Boreria laevis	Koupé kolonn		Changieux - Jachère	Bovins - Equins
Brassica sp.	Moutarde jaune	Crucifères	Moneyron - Jachère	Bovins - Equins
Callisia rotondus	Zeb dio	Comenilacées	Changieux - Jachère Racks	Bovins - Equins Caprins
Cyperus rontondus	Zeb si Afio	Cypéracées	Treme - Jachère Port à Piment	Bovins - Equins Caprins - Anes
Euphorbia sp.	Boua let	Euphorbiacées	Changieux - Jachère	Bovins - Equins
Malvastrum americanum Malvastrum corchorifolium	Zeb balé	Malvacées	Treme - Jachère	Bovins - Equins
Pilea		Urticacées	Jachère	Caprins
Pteris		Fougères	Jachère	Caprins
Sida acuta Sida spinosa	Balai	Malvacées	Moneyron - Jachère Treme - Jachère	Bovins - Equins Bovins - Equins
Stachytarpheta cayennensis		Verbenacées	Changieux - Jachère	Bovins - Equins
Stellaria		Caryophyllées	Jachère	Caprins

Figure 237 : légumineuses arborées ou arbustives consommées par les animaux domestiques.

Nom latin	Nom vernaculaire Créole/Français	Lieu	Animal
Acacia	Acacia	Ticoma - Plaine d'Aquin	Bovins - Equins
	Bois Gabriel	Port à Piment - Racks	Caprins - Anes
Centrosema virginipanum	Campêche	Plateau central : jachères buissonnantes - Racks Moneyron - Jachères	Caprins Bovins - Equins
Prosopis (1)	Bayaonde	Port à Piment Plateau central (Racks) (jachères buissonnantes) Plaine d'Aquin	Caprins - Anes Caprins Bovins - Equins

Figure 238 : autres exemples d'arbres fourragers couramment utilisés en Haïti

Nom latin	Nom vernaculaire Créole/Français	Famille	Lieu	Animal
	Candelabre Raquette	Cactées	Racks	Caprins
Calotropis procera	Coton soie	Asclepiadées	Port à Piment	Caprins - Anes
Capparis sp.	Moutard	Capparidacées	Racks	Caprins
	Cannori		Racks	Caprins
Crescentia	Calebassier	Bignoniacées	Plaines alluviales	Caprins
Eupatorium odoratum	Langui-chatte	Asteracées	Jachères	Caprins
Guazuma ulmifolia	Bois d'orme	Sterculiacées	Plateau central Treme	Bovins
Lantana sp.	ti chic-chic	Verbenacées	Racks	Caprins
	Iomarin	Capparidacées	Racks	Caprins
Mangifera	Manguier	Anacardiacées	Plaines alluviales Plateau central	Caprins Bovins
Ocenium ninanthum	Basilic marron	Lamiacées	Racks	Caprins
Persea americana	Avocatier	Lauracées	Racks	Caprins
Pisonia sp.	cossé zo, croc chien	Nyctagynacées	Racks	Caprins
Ruellia tuberosa	pet pet	Acnathacées	Racks	Caprins
Spondias purpurea	Sirouel	Anacardiacées	Plateau central	Bovins
	Ti sézi		Racks	Caprins
Tournefortia	chic chic marron	Boraginacées	Racks	Caprins
	Gommier	Burcéracées	Plateau central	Bovins
	Goyavier sauvage	Hyrtacées	Plateau central (jachères buisson-nantes, racks)	Caprins

LES PLANTES LIGNEUSES

Les plantes ligneuses regroupent les buissons, les cactées, les arbustes et les arbres.

Aux espèces spontanées des espaces non cultivés nous pouvons ajouter les arbres et arbustes plantés dans les jardins «*pré-kaye*» et dans les haies.

• Un feuillage à grande valeur alimentaire

De nombreux arbres sont des légumineuses (cf fig. 234). Ces **arbres fourragers** sont riches en azote.

Les feuilles d'arbre contiennent parfois des teneurs élevées en minéraux : par exemple, la teneur en calcium des feuilles de l'acacia est supérieure à 1 % de la matière sèche.
Les cactées accumulent des réserves dans les feuilles (raquettes), principalement des sucres (apport énergétique) et des vitamines.

• Une digestibilité variable :

. les feuilles contiennent des tanins qui sont des substances indigestes,
. une grande partie de l'azote est liée aux constituants des parois cellulaires qui sont peu digestibles car plus riches en cellulose que l'intérieur des cellules,
. les plantes ligneuses ont, par définition, des teneurs en lignine supérieures à celles des fourrages herbacées (la teneur en lignine peut dépasser les 20 % de M.S.).

Les buissons et les arbustes ont généralement une plus grande digestibilité que les arbres qui poussent sur les mêmes sols.

• Une réserve fourragère sur pied

La chute des feuilles (défeuillaison) survient bien après la fin des pluies à une date qui dépend des espèces. Un parc arboré comprenant des espèces variées peut ainsi fournir des feuilles pendant une grande partie de l'intersaison.
La feuillaison commence avant les premières pluies, en fin de saison sèche. A ce moment de l'année, les autres fourrages ont complètement disparu, et les animaux affaiblis par un long jeûne apprécient beaucoup cette nourriture.
Les gousses de légumineuses, par exemple les gousses de «*bayaondes*» (*Prosopis juliflora*) restent sur les arbres après la chute des feuilles, et sont à la disposition des animaux en période de soudure.
On peut prélever chaque année 25 à 30% de la couronne de l'arbre sans l'affaiblir, mais des prélèvements plus importants ralentiraient sa croissance.



Récolte de feuilles de bois d'orme, arbre fourrager des plaines sèches (photo G. de Laubier).

• Une part souvent importante de la ration

Les arbres et les buissons constituent :
• un aliment complémentaire pendant la saison humide. Leur richesse en matières azotées et en éléments minéraux en font d'excellents compléments aux fourrages de graminées abondants, mais souvent carencés. Ceci explique pourquoi les animaux ne semblent pas manquer de matières azotées,
• une ressource essentielle permettant la survie de nombreux animaux pendant la saison sèche, en particulier dans les régions arides.

Sur le plateau central, le «Bois d'Orme» (*Guazuma ulmifolia*), le «gommier» et le «sirouel» (*Spondias purpurea*) fournissent en période de sécheresse de 5 à 15 % des U.F. de la ration.

Adaptation du prosopis aux zones arides et salines

Les espèces du genre *Prosopis* sont des arbustes de taille moyenne ou des arbres pouvant atteindre une hauteur de 20 mètres, avec un fût de plus d'un mètre de diamètre. Les rameaux de la plupart des espèces sont épineux, et les feuilles, comme chez beaucoup d'autres arbres de la famille des légumineuses, sont composées de nombreuses folioles disposées comme les barbes d'une plume. Les fleurs sont petites, généralement groupées en inflorescences sphériques ou allongées.

Bien que poussant également à proximité de l'eau, les diverses espèces de *Proposis* se rencontrent dans des endroits secs où d'autres plantes ont du mal à survivre. Elles tolèrent les sols salins ou peu fertiles, et peuvent même y pousser rapidement. En général, une pluviométrie annuelle de 250 mm leur suffit, mais certaines espèces s'adaptent à des zones où elle est encore inférieure. Elles supportent aisément de longues périodes de sécheresse tout en produisant des gousses en abondance.

Les gousses de *Prosopis* sont longues de 3 à 20 cm, plates et enroulées en spirale. Elles renferment plusieurs graines enrobées dans une pulpe douce ou sèche de couleur jaune. A maturité elles tombent au sol sans s'ouvrir. De cette façon, elles ne perdent ni leur pulpe, ni leurs graines. Elles peuvent être consommées directement par pâturage ou emmagasinées pour être utilisées ultérieurement. Leur valeur nutritive peut se comparer à celle de l'orge ou du maïs.

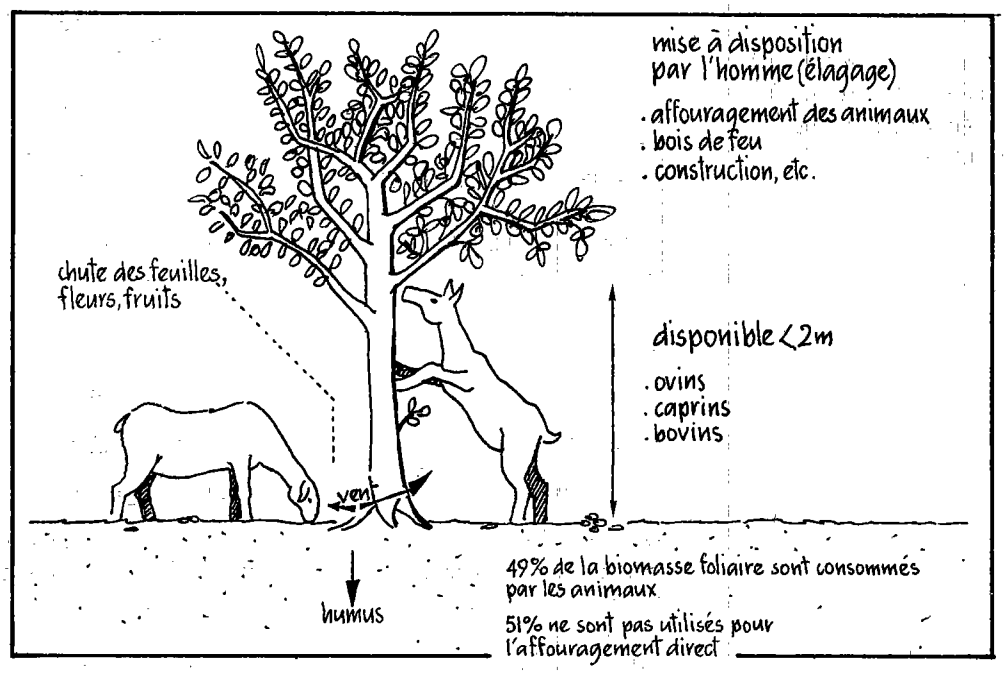


Figure 239 : utilisations de la biomasse produite par les arbres fourragers (d'après Piot et al. 1980).

LES FOURRAGES CULTIVES

En Haïti, la surface moyenne cultivée par exploitation est très faible (0,5 à 2 carreaux) et la priorité est donnée aux cultures vivrières. L'alimentation des herbivores se base essentiellement sur l'exploitation des espaces non cultivés et des sous-produits des cultures.
Mais la déforestation, l'érosion et la dégradation des jachères diminuent de plus en plus les ressources fourragères.
Pour remédier à cette situation, dans certaines régions (Plaine du Cul-de-sac, Plaine d'Aquin...), les paysans commencent à cultiver quelques espèces fourragères, comme l'**herbe de guinée** (*Panicum maximum*). Ces graminées sont implantées par touffes éparses au milieu d'autres cultures (maïs, sorgho) ou en bordure de chemin. Elles sont ensuite coupées et distribuées aux animaux.

De nombreuses espèces fourragères cultivées dans les pays de la Caraïbe ont été introduites en Haïti par des projets de développement. Des expérimentations devraient permettre d'évaluer leur intérêt : vitesse de croissance, valeur alimentaire, adaptation aux conditions locales et aux systèmes de culture.

Les plus connues en Haïti sont :

• **Herbe de Guinée** (*Panicum maximum*)
L'herbe de Guinée est l'espèce fourragère cultivée la plus répandue en Haïti. C'est une graminée vivace, en touffes dressées, pouvant atteindre un mètre de hauteur. Ses rendements varient avec la nature du sol, les conditions climatiques, ses modes de culture et d'exploitation.
La sélection génétique a abouti à des variétés pouvant produire 25 t de M.S/ha. Les variétés locales mises en place en Haïti sont moins performantes : de 0,9 à 7,3 t de M.S/ha à la Vallée de Jacmel.

Figure 240 : rendements en tonnes de matières sèches à l'ha de *Panicum maximum* à la vallée de Jacmel (Pluviométrie 1495 mm/an. Température moyenne : 22°C).

Localité	Coupe à 6 semaines	Coupe à 8 semaines	Coupe à 10 semaines
Ternier	2,5	5,2	7,3
Lavial	0,9	1,3	1,7

Figure 241 valeur alimentaire de *Panicum maximum* à la vallée de Jacmel (coupe à 8 semaines)

Localité	MS p. 100	Par kg de MS		Par kg de fourrage	
		UF	g MAD	UF	g MAD
Ternier	26,83	0,59	42,6	0,16	11,43
Lavial	33,26	0,62	22,9	0,20	7,62

• **Herbe à éléphant** (*Pennisetum purpureum*, graminée)

• **Herbe du Guatemala** (*Tripsaxum laxum*, graminée)

• **Velvet bean** (*Stilozobium atterrimum ou Mucuna puriens*, légumineuse)

• **Sirato** (*Macroptilium atropurpureum*, légumineuse)

Un apport supplémentaire d'éléments fertilisants (minéraux ou organiques) peut permettre un accroissement important des rendements des cultures fourragères. L'augmentation du rendement s'accompagne de modifications des teneurs en éléments minéraux. Mais la rentabilité de la fertilisation minérale des fourrages est plus difficile à évaluer que pour les cultures vivrières, sauf dans le cas où la récolte est vendue.

Figure 242 : rendements en Matière Verte de l'herbe de Guinée avec apports de différents doses de P et K sur rendzine (d'après N. Dauphin, Plateau des Rochelois, 1985).

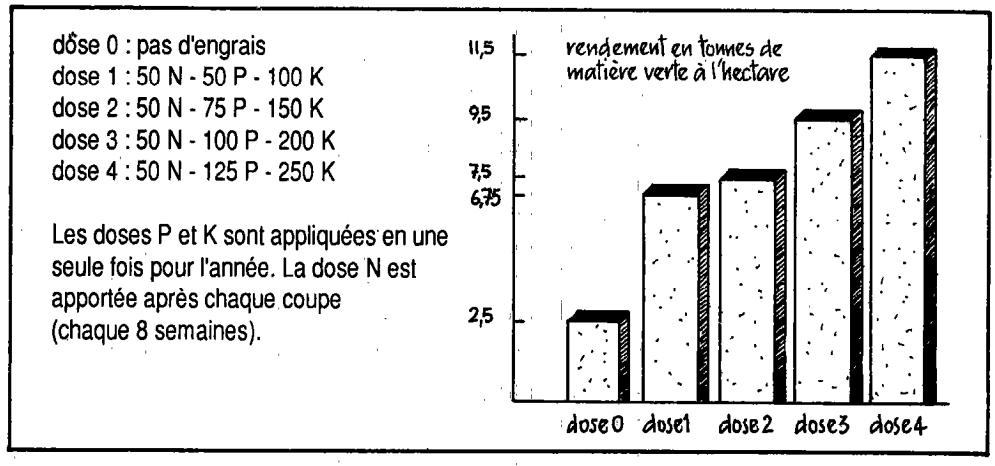


Figure 243 : valeurs énergétiques et azotées de quelques espèces fourragères cultivées dans la zone caraïbe.

Fertilisation azotée : 30 unités N/ha pour les graminées et le Dolichos	UFL (*) /kg MS	MAD (*) g/kg MS
(G) Brachiaria decumbens	0,68 à 0,70	16,1 à 133
(G) Digitaria decumbens	0,71 à 0,79	36,6 à 48,9
(G) Digitaria swazilandensis	0,76	87,3
(G) Digitaria trasvola	0,62 à 0,78	27,4 à 96,8
(G) Cynodon dactylon (chiendent)	0,63 à 0,81	30,9 à 69,7
(L) St Clozobium	0,83	124,6
(L) Dolichos lablab (dolique)	0,82	117,6
(L) Leucaena (leucocéphale)	0,70	136,5
(L) Stylosanthes (guyanensio)	0,53 à 0,73	32,9 à 112,5
(G) Panicum maximum	0,51 à 0,81	17,8 à 120,9

* Les écarts sont dus à des choix différents de variétés et de dates de coupe (âge de la plante et saison).

LES SOUS-PRODUITS AGRICOLES ET AGRO-INDUSTRIELS

L'activité agricole crée beaucoup de sous-produits qui ont pour les animaux domestiques une valeur alimentaire variable.

LES RÉSIDUS DE CULTURE

Les résidus de culture occupent une place importante dans l'alimentation des porcs mais aussi des ruminants.
Ils complètent la ration fournie par les pâturages herbacés (sauvages ou cultivés). En cas de déficit fourrager, ils peuvent même constituer l'aliment de base de la ration. Cette situation se retrouve à la fin de la saison sèche, après les récoltes. Les parcelles sont alors mises à la libre disposition des animaux qui profitent des résidus et des repousses (pâture ou apports) tout en fertilisant par leurs excréments.

• **Les pailles de céréales** (sorgho, mil, maïs, riz) sont constituées par les tiges et les feuilles restant après la récolte des grains et habituellement laissées sur le champ.

Elles représentent des tonnages importants mais ce sont des aliments très pauvres.
Les pailles ont de très faibles teneurs en matières azotées, en glucides solubles et en minéraux essentiels. De plus les fortes teneurs en cellulose, en lignine et souvent en silice (jusqu'à 10 % dans la paille de riz) diminuent leur digestibilité.

Néanmoins, distribuées à volonté, elles peuvent couvrir une bonne partie des besoins énergétiques d'entretien des animaux. Ce sont des aliments grossiers et très fibreux avec un coefficient d'encombrement élevé (2,5 à 5). Elles constituent un excellent aliment de «lest».

La paille de riz a une teneur en cellulose inférieure à celle des autres pailles ce qui lui confère une valeur énergétique supérieure à 0,4 UF/kg de M.S.

Le broyage des pailles limite l'encombrement et assure une meilleure attaque des bactéries du rumen. Associé à une complémentation équilibrée (légumineuses, mélasse, urée...), le broyage améliore leur utilisation et la qualité de la ration. Si de tels procédés se révèlent efficaces techniquement, il faut encore juger de leur rentabilité économique et tenir compte des investissements en main d'oeuvre.

Figure 244 : composition et valeur alimentaire des pailles de céréales.

Pailles	MS %	Cellu-lose % MS	Matière minérale (% MS)	Ca % MS	P % MS	Mg % MS	K % MS	MAD % MS	TDN % MS	UF /kg MS
Maïs	85,9	38,6	4,3	0,2	0,12	0,11	0,17	1,4	41,3	0,27
Mil	85	41,4	7,4					1,9	46,2	0,36
Riz	92,3	38	17,7	0,19	0,08	0,12	2,07		50,1	0,42
Sorgho	77,4	40,3	9	0,48	0,10	0,30	1,23	0	42,7	0,30

• **Les fanes et cosses de haricots** : les fanes constituent un fourrage de qualité surtout lorsqu'elles sont récoltées vertes; elles sont riches en matières azotées. Les cosses (écossage des gousses) contiennent beaucoup de cellulose mais apportent aussi une quantité appréciable d'azote.

• **Les résidus de cultures de tubercules** (fanes, épluchures) sont généralement réservés aux porcs. Cependant ils peuvent compléter une ration à base de pailles de céréales pour les ruminants. Les tubercules sont des aliments énergétiques (amidon).

Pâturage des résidus d'une culture de canne à sucre après la récolte (photo G. de Laubier).



Charge de bois patate (photo G. de Laubier).



• **Les adventices et les pieds de maïs ou de sorgho** résultant du démariage et du sarclage des cultures, sont transportées et distribués aux animaux attachés au bord des parcelles ou nourris au «jouk». Ces ressources fourragères sont particulièrement importantes pour les jeunes éleveurs sans terres qui pratiquent le gardiennage. De plus, elles sont disponibles pendant une période déficitaire (emblavement maximum des parcelles).

• **Les fruits** : dans les élevages familiaux, les fruits jouent un rôle important dans la ration des petits ruminants et des porcs. Ce sont : les goyaves, les avocats immatures, les graines de palmier royal (palmiste) et surtout les mangues.

LES ISSUES DE CÉRÉALES

Les graines de céréales sont riches en amidon, et constituent une source d'énergie très importante. Il est souvent nécessaire de les broyer et d'en faire une bouillie pour en alimenter les mammifères qui ne disposent pas, comme les oiseaux, d'un gésier pour les broyer.

Les céréales sont en priorité destinées à l'alimentation humaine. Seuls les déchets sont généralement disponibles pour les animaux.

Les enveloppes (sons) issues du décorticage et du broyage des grains sont pauvres en matières azotées mais riches en énergie et en minéraux.
Les sons de riz de bonne qualité peuvent être distribués aux ruminants. En revanche, les sons mélangés avec les balles ont une moins bonne valeur alimentaire.: Si le riz est broyé au pilon ou traité dans les petits décortiqueurs de village, les issues sont toutes mélangées, toujours très riches en cellulose et en silice. Leur

digestibilité et leur valeur énergétique est beaucoup plus faible que celle du son pur.

LES SOUS-PRODUITS DE DISTILLERIE (DANS LES RÉGIONS SUCRIÈRES)

La culture et la transformation de la canne à sucre produisent beaucoup de sous-produits qui peuvent être utilisés comme aliments pour le bétail :

• les têtes de cannes sont coupées avant la récolte et servent de fourrage en vert pour les animaux (souvent les animaux de trait),

• la bagasse, résidu de canne broyée et lavé de son sucre, est riche en fibre et très peu digestible. La digestion de la bagasse en l'état consomme plus d'énergie qu'elle n'en fournit. Le broyage et l'addition de mélasse améliorent sa digestibilité,

• la mélasse est le sous-produit final d'extraction du sucre. C'est un aliment très énergétique, mais pauvre en matière azotée. La mélasse est souvent sous-utilisée, pourtant sa grande richesse en énergie associée à un apport de matière azotée peut en faire un des élément de base d'une ration alimentaire (en particulier pour l'engraissement).

LES DRÊCHES

Les sous-produits de brasserie, les drêches, issues de la fermentation de l'orge, sont des aliments peu fibreux et peu énergétiques. Elles peuvent être consommées fraîches ou ensilées. Les drêches contiennent plus de 20% de MAD.

LES TOURTEAUX D'OLÉAGINEUX

Les tourteaux sont les résidus de l'extraction de l'huile contenue dans les fruits et les graines des plantes oléagineuses : arachide, coton, palmier à huile, cocotier (coprah), avocat, soja...

Dans les pays indutrialisés, ils entrent dans la fabrication des aliments concentrés pour toutes les espèces d'animaux d'élevage. A ce titre, ils font l'objet d'un commerce international très important.

Ils sont très riches en MAD (principalement en protéines) : 20 à 30 % pour les tourteaux d'arachide, 30 % pour le kapokier, et jusqu'à 50 % pour le soja. Ce sont des protéines très solubles, avec une digestibilité très élevée : 80 à 90 %.
• Utilisés à 20 % de la ration, ils sont les compléments les plus adaptés à un régime à base de paille chez les ruminants.
• Chez des monogastriques, ils peuvent constituer l'essentiel des apports azotés.

Les tourteaux peuvent rancir (oxydation des matières grasses), particulièrement les tourteaux riches en huile, quand ils sont conservés trop longtemps, ou dans de mauvaises conditions. Certains peuvent contenir des produits très toxiques (aflatoxines dans les tourteaux d'arachide par exemple).

Les tourteaux d'oléagineux servent à la constitution de concentrés à certaines périodes de l'année (période de soudure) ou pour des productions intensifiées (engraissement, lactation).

LES SOUS-PRODUITS D'ORIGINE ANIMALE

Les aliments d'origine animale sont riches en azote, en acides aminés essentiels et en vitamines (comme les vitamines B). Ce sont des compléments particulièrement intéressants pour les monogastriques, dont les rations à base de végétaux arrivent difficilement à satisfaire les besoins. Des petites doses suffisent à apporter les acides aminés et les vitamines nécessaires.

• Les sous-produits d'abattoir peuvent transmettre certaines maladies s'ils sont distribués sans précaution. Ce sont également de très bons engrais azotés, très utilisés en agriculture.

• Les farines de poisson sont particulièrement riches en matières azotées. Leur fabrication est généralement industrielle, mais il est possible de mettre en place des unités artisanales.

• L'ensilage de déchets de poisson, soit en présence de sons de céréales ou de mélasses, soit par addition d'acide (ensilage acide), donne un aliment pour le bétail peu coûteux.

• Les sous-produits de laiterie, le lactosérum, le petit lait et le babeurre sont des aliments énergétiques qui conviennent pour les ruminants et pour les monogastriques.

Composition de quelques produits distribués aux porcs

Memento de l'Agronome 1984

Abréviations : la composition est donnée en pourcentage de la matière sèche et la valeur énergétique est celle qui est contenue dans un kg de matière sèche.
MS : matière sèche
MPB : matières protéiques brutes
Cell : cellulose brute
MG : matière grasse
ENA : extractif non azoté
MM : matières minérales, cendres
EM : énergie métabolisable
UF : unité fourragère

	MS	MPB	Cell	MG	ENA	MM	Ca	P	MAD g/kg MS	UF /kg MS
Fruits										
• Mangue : verte, pulpe	14,5	2,1	4,1	5,5	85,8	2,5	0,14	0,07		
• Banane plantain, entière, trop mûre	19,8	5,6	6,2	1,4	80,9	5,6	0,03	0,14		
Céréales et dérivés										
• Maïs grains pays humides)	86,2	9,8	2,4	4,5	81,6	1,7	0,05	0,32	75	1,25
• Sorgho	90,8	10,2	3,0	3,8	80,7	2,3	0,03	0,38	72	1,20
• Son de maïs	86,5	13,1	9,8	10,1	61,7	5,3	0,04	0,90	90	0,35
• Rafle de maïs	87,4	1,9	46	0,3	50,5	0,3	0,02	0,04		
• Son de sorgho	90,7	10,5	7,9	8,7	64,4	8,5	0,09	0,71	65	0,83
• Son de blé (son moyen)	88,9	15,9	14,3	3,8	59,4	7,0	0,15	1,44	102	0,58
Racines et tubercules										
• Igname										
- tubercules frais	29,4	5,5	3,1	0,3	87,7	3,4	0,17	0,14	25	1,17
- tubercules secs, cossettes	89,2	5,6	2,5	0,4	88,1	3,4	0,05	0,13	25	1,21
• Manioc										
- tubercules frais	39,9	2,9	2,9	0,8	91,1	2,4	0,14	0,12	6	1,20
- cossettes	88,9	2,0	3,0	0,9	91,9	2,8	0,14	0,12	4	1,13
• Patate douce										
- tubercules frais	33,7	3,1	3,3	1,5	88,5	3,6	0,13	0,19	8	1,12
- cossettes	86,2	3,6	2,4	0,6	90,8	2,6	0,06	0,17	5	1,14
Espèces fourragères										
• Herbe de Guinée (Panicum maximum)										
4 semaines	17,4	15,5	32,8	2,5	40,4	9,2	0,79	0,39		
5 semaines	18,9	13,6	33,8	2,0	39,8	10,8	0,64	0,31		
6 semaines	20,0	10,2	36,2	1,7	41,5	10,4	0,51	0,29		
8 semaines	23,8	8,4	37,0	1,5	43,2	9,9	0,33	0,22		
12 semaines	27,8	3,7	40,1	0,9	45,5	9,8	0,30	0,09		

L'EAU

L'eau en qualité et en quantité est la condition nécessaire à la vie des animaux domestiques. Dans beaucoup de régions (en particulier dans les zones sèches), l'eau est le facteur limitant au développement de l'élevage : absence de points d'eau accessibles, transport de l'eau ou déplacements des animaux demandant une main d'oeuvre importante. Les ressources en eau dans la zone d'alimentation doivent être déterminées avec précision surtout pour les pâturages libres (rack, savane). Il faudra être particulièrement attentif aux disponibilités en eau en fin de saison sèche et à sa qualité.

Confronter besoins et ressources

LES CALENDRIERS FOURRAGERS

Les ressources alimentaires présentes sur et autour d'une exploitation sont souvent nombreuses mais leurs valeurs alimentaires sont très variables. Il n'existe pas d'aliment unique qui permet de satisfaire les besoins d'entretien et de production des animaux domestiques. Il faut toujours en associer plusieurs dans la ration pour obtenir une **alimentation équilibrée** en qualité et jamais insuffisante en quantité.

L'association de plusieurs aliments dans la ration journalière permet de plus de limiter les risques associés à l'indisponibilité soudaine d'un fourrage ou à sa qualité défectueuse.

Etablir un calendrier fourrager, consiste à visualiser la répartition sur l'année des différentes ressources fourragères disponibles pour l'alimentation du bétail. Cela permet de repérer les périodes où les aliments à disposition seront en quantité insuffisante pour satisfaire les besoins d'entretien et de production des animaux (périodes critiques) et les périodes excédentaires.

Le calendrier fourrager doit présenter la meilleure adéquation entre les besoins des animaux et les apports. La connaissance des ressources alimentaires disponibles à un moment donné et de leur évolution au cours du temps détermine les objectifs de production compatibles avec ces ressources ou les aliments complémentaires à acheter.

Dans une même exploitation, les régimes alimentaires peuvent être variés : présence de plusieurs espèces, productions différentes pour une même espèce (lait, engraissement, travail), âges variables, etc. Dans ce cas, plusieurs calendriers fourragers sont réalisés.

Le calendrier fourrager est souvent dépendant du calendrier cultural. Tout deux sont fonction du rythme des saisons et peuvent varier d'une année à l'autre.

Le calendrier fourrager n'est pas identique pour toutes les exploitations d'une même région. Il est soumis aux disponibilités foncières et aux systèmes de culture :
- possibilités d'accès aux zones non cultivées,
- importance des jachères,
- présence de cultures fourragères dans l'assolement,
- importance des résidus de cultures,
- disponibilité financière pour l'achat d'aliments.

Dans une même région, à une même époque certaines exploitations enregistreront un déficit fourrager et d'autres pas.

Dans une première approche, le calendrier fourrager sera qualitatif. Il définira les types d'aliments disponibles pour les animaux tout au long de l'année. Cet inventaire se fera par zones écologiques et foncières homogènes : jardins, parcours en propriété, libre pâture sur territoires collectifs, etc.

Calendrier fourrager dans la basse-plaine de Port à Piment (Nord-Ouest de Gonaïves)

Calendrier fourrager pour caprins, d'août à septembre 1984.

"Bourriques" et "cabrits" en difficulté dans la basse plaine de Port à Piment (source : T. Lassalle, 1985).

L'importance et la régularité des pluies vont déterminer la situation alimentaire des animaux. La période étudiée se situe théoriquement à cheval sur la saison sèche de juillet-août, la saison des pluies de septembre-octobre et la grande saison sèche de octobre à mars.

Le deuxième semestre 1984, marqué par la sécheresse se divise, au niveau conduite de l'alimentation, en trois périodes :

• La période déficitaire des mois d'août et septembre

La faiblesse des précipitations du mois de juin fait des mois d'août et surtout de septembre des mois de pénurie alimentaire. Il est nécessaire de distinguer les jardins verts (en amont de Colombier) des autres.

Les premiers grâce aux crues de juin, assurent une production de céréales dès la mi-août et jusqu'à septembre ; de même, tous les canaux recouverts d'herbes ainsi que les herbes de sarclage font de ces parcelles des zones privilégiées par rapport à Ti Carénage et Porc-Melon.

Les jardins non irrigués par les crues de juin donnent naissance à du mil qui, faute d'eau, avorte dès fin juillet. ces jardins procurent alors une céréale morte, sèche et peu appétente. de même, dans ces jardins ou dans le rak, la végétation herbacée est vite sèche.

Durant de telles périodes difficiles, l'origine et la nature des fourrages varient presque d'un jour à l'autre et d'un élevage à l'autre. Ces variations prouvent la difficulté durant ces périodes à nourrir les animaux ; chaque formule permettant de satisfaire les animaux pour quelques jours seulement voire un seul.

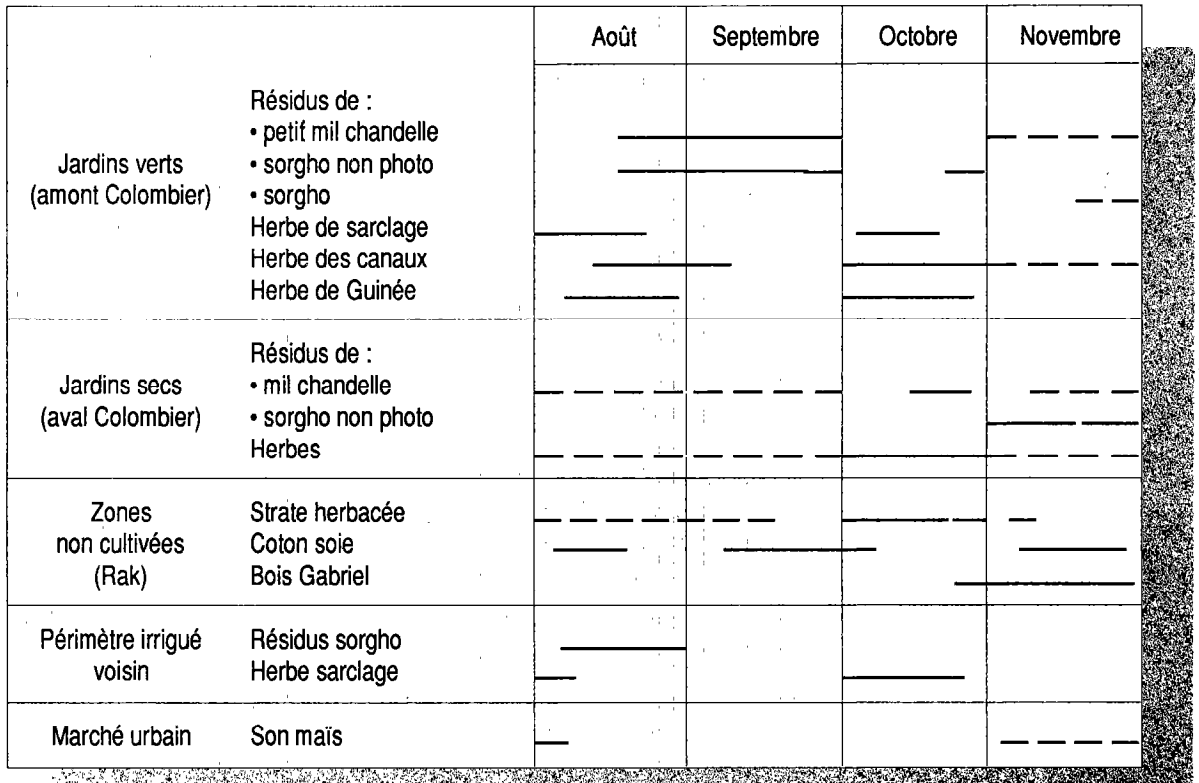
• Les pluies de fin septembre

La situation commence à se redresser suite aux pluies de fin septembre. Savane et jardins se couvrent d'herbes en quelques jours. Les animaux recoivent alors de meilleurs fourrages. Le régime quasiment unique est à base d'herbes fraichement poussées et très appétentes.

• L'épuisement progressif des ressources fourragères en novembre

Faute de pluie, la production fourragère décline durant tout le mois de novembre. 'herbe sortie en octobre, loin d'être toute exploitée, devient vite dure et impropre à la consommation.

La situation rejoint celle des mois d'août et septembre. Seules sont disponibles des céréales sèches, "resserrées" après la pluie puis de nouveau desséchées et quelques graminées sèches également.



Dans un deuxième temps, le calendrier fourrager doit permettre, quand cela est possible, d'apprécier les quantités d'aliments et de fourrages qui pourront être mises à disposition des animaux. Ces quantités sont difficilement appréciables pour les parcours en zones non cultivées (rack). Pour les fourrages cultivés et les résidus de récolte, le calendrier devra indiquer les quantités attendues en référence aux moyennes des années précédentes dans les mêmes conditions de culture.

Pour les aliments du commerce, le calendrier devra indiquer leurs prix d'achat en plus des périodes de disponibilité sur le marché.

La plus grande partie des aliments du bétail sont, en général, produits sur l'exploitation : fourrages spontanés ou cultivés, résidus de culture. Leur production et leur utilisation ne demande que peu d'investissements financiers (sauf si il y a stockage). En revanche, l'alimentation des animaux domestiques requiert souvent une main d'oeuvre importante : gardiennage, coupe et affouragement à l'auge ou au piquet.

L'introduction de cultures fourragères dans les systèmes de culture augmente les ressources disponibles sur l'exploitation en quantité et en qualité. En Haïti, elle se heurte à diverses contraintes :
• exiguïté des surfaces et priorité donnée aux cultures vivrières ou d'exportation,
• location, mise à disposition ou utilisation pour l'alimentation des animaux d'espaces dont l'éleveur n'est pas propriétaire. Dans ce cas l'investissement financier ou en main d'oeuvre nécessaire pour l'amélioration des pâturages risque d'être limité.

Enfin, les aliments achetés (sons, mélasses, tourteaux, etc) permettent de combler les périodes de déficit du calendrier fourrager. Leurs prix souvent élevés quand il s'agit d'aliments importés limitent leur emploi. Leur utilisation est raisonnée en fonction des contraintes (climatiques, financières, techniques...) et des objectifs (production, capitalisation, autoconsommation,..) de l'éleveur.

Sauf pour quelques productions (lait), la rentabilité des achats alimentaires est rarement immédiate. Les effets d'une alimentation suffisante et équilibrée ne sont perceptibles qu'au bout d'un certain temps. Certains paysans peuvent être découragés par le peu d'amélioration à court terme engendré par des investissements importants en aliments extérieurs à l'exploitation.

LES SYSTÈMES D'ALIMENTATION

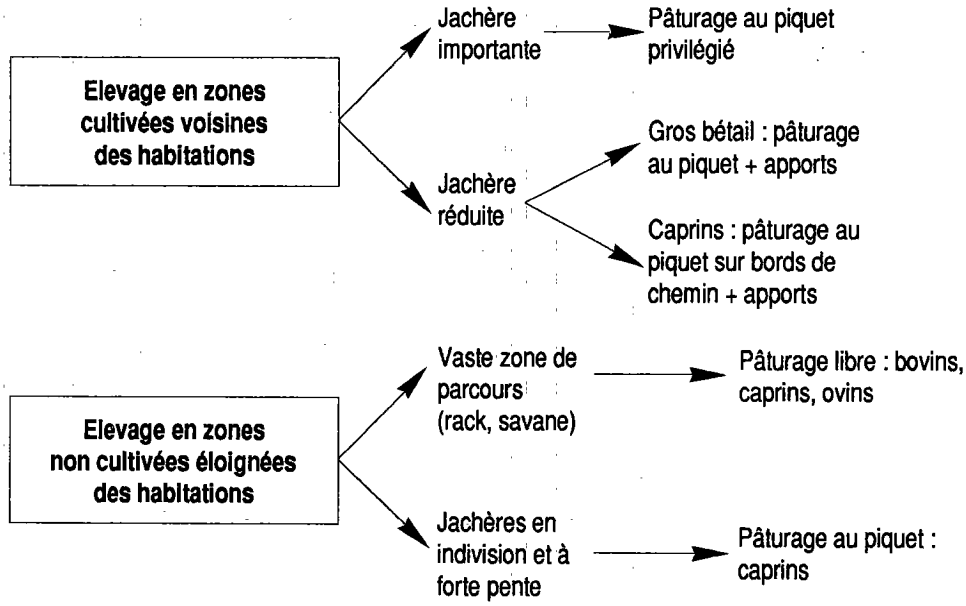
La conduite alimentaire d'un cheptel doit tenir compte :
• des caractéristiques physiologiques des animaux ,
• des ressources potentielles (qualitatives et quantitatives) offertes par le terroir,
• de l'ensemble des contraintes socio-économiques (foncier, marché, compétition alimentaire entre l'homme et l'animal, etc),
• de la finalité de la production (production principale ou secondaire, autoconsommation, capitalisation,etc.),
• des objectifs économiques de l'éleveur (limitation des risques, optimisation des coûts).

Le système d'alimentation d'un troupeau est l'ensemble des techniques et des pratiques mis en oeuvre par un éleveur pour alimenter ses animaux dans des conditions compatibles avec ses objectifs et avec les contraintes de son environnement naturel, culturel, économique et social. Le mot système souligne la nécessité de prendre en compte tous les éléments de l'environnement d'un troupeau sans l'isoler des autre activités de l'exploitation.

Le système d'alimentation d'un troupeau est constitué d'un ou plusieurs modes de conduites d'alimentation, qui peuvent être associés ou se succéder au cours du temps, selon les types d'animaux présents et les disponibilités fourragères. Ils varient d'une région à l'autre et évoluent en fonction des systèmes agraires.

En Haïti, ces modes de conduite sont :
- le pâturage libre sur parcours,
- le pâturage au piquet sur les jachères ou les talus,
- l'apport au «jouk».

Figure 245 : les différents modes de conduite d'alimentation.



LE PÂTURAGE LIBRE SUR PARCOURS

La notion de parcours englobe :
- les espaces produisant spontanément du fourrage, utilisable pour l'alimentation animale, appelés localement racks ou savanes,
- les terres qui se sont végétalisées artificiellement pour fournir des fourrages.

Les savanes et les racks

• **Les savanes** sont des espaces ouverts que l'on trouve surtout sur le Plateau Central, la région la moins densément peuplée d'Haïti. Elles sont recouvertes par un tapis d'herbes spontanées ou dominent les graminées :

Corde à graines	*Chloris gayanai*
Zeb Mme Michéle	*Themeda quadrivalvis*
Jonc	*Digitaria*

Pour contrôler le développement de l'herbe madame Michéle qui a une très faible valeur fourragère, les éleveurs mettent régulièrement le feu sur les savanes.

• **Les racks** sont des savanes envahies par des espèces ligneuses xérophytes :

Bayaonde	*Prosopis juliflora* (légumineuse)
Goyavier	*Psidium guayava* (myrtacée)
Campêche	*Centrosema virginianum* (légumineuse)
Bois cabrit	*Cassia*
Gommier	*Bursera gummifera* (burceracèe)
Gaïac	*Guajacum officinale*

Dans ces espaces, le bétail est généralement en liberté; pendant la saison pluvieuse, l'élevage caprin y prédomine. Le recrû ligneux est régulièrement coupé pour la fabrication du charbon de bois, activité complémentaire très importante qui peut être en compétition avec l'élevage.

Bovin en parcours libre dans un rack (photo G. de Laubier).



En Haïti, les parcours correspondent souvent à des terres indivises qui ne font l'objet d'aucun investissement (financier et travail) de la part des co-propriétaires. Ceux-ci bénéficient du droit de vaine pâture, c'est-à-dire d'exercer sur les terres indivises le pâturage collectif de leurs troupeaux respectifs. Ce mode de tenure entraîne souvent du surpâturage et la dégradation de la végétation.

Les parcours peuvent s'étendre sur plusieurs centaines d'hectares sans que ne soient matérialisées les limites des parcelles en propriété ou en indivision.

Les parcours sont localisés dans les régions où le climat semi-aride limite les possibilités de mise en culture (pluviométrie inférieure à 800 mm par an) : Plateau Central, Nord-Ouest Basse Artibonite, Plaine du Cul-de-Sac, Belle-Anse, Côte de Fer.

Compte tenu de la faible densité de végétation, le pâturage est libre sur les parcours pour exploiter les plus grandes surfaces. Ce mode de conduite permet aux éleveurs d'entretenir un grand nombre d'animaux : jusqu'à 20 bovins, 10 équidés, 30 caprins par exploitation dans les racks de la Plaine d'Aquin.

Plusieurs espèces peuvent cohabiter : bovins, équidés, caprins et même ovins. Dans la Plaine d'Aquin, par exemple, les racks assurent les trois-quarts de l'alimentation des caprins, la moitié de celle des bovins et le dixième de celle des équidés.
Les chèvres et les moutons consomment les arbrisseaux refusés par le gros bétail. Le comportement de tri des chèvres est favorable sur les parcours. En effet, leur recherche continue des parties les plus nutritives des végétaux présents, leur goût pour les flores arborées et arbustives et leurs qualités de marcheuse et d'escaladeuse, leur permettent en général de mieux exploiter des parcours de qualité hétérogéne que les bovins et les ovins.

Les caprins broutent les branches les plus grosses des grands arbustes, principalement des légumineuses (Acacia, Prosopis). La strate herbacée est très convoitée par les bovins et les équidés.

Pour les chevaux et les ânes, le pâturage libre dans les racks est limité. En liberté, ils sont capables de parcourir de longues distances. Ils sont fréquemment sollicités pour le transport et il convient de les garder à proximité de la résidence.

Les données concernant les apports alimentaires fournis par les parcours sont très peu nombreuses. De même, il est très difficile d'apprécier la quantité et la qualité des aliments ingérés sur parcours par un animal.

Les systèmes d'alimentation qui cherchent à valoriser au mieux les parcours doivent faire appel au maximum à la capacité des animaux à stocker et à mobiliser leurs réserves corporelles. Le but sera de compenser une sous-alimentation en période sèche par une sur-alimentation en période d'abondance.

La stratégie de la complémentation du parcours devra, d'une part être raisonnée globalement sur l'année et d'autre part, tenir compte des stades physiologiques critiques pendant les périodes de sous-alimentation (mises-bas, saillies). On peut choisir les périodes de mises-bas en fonction des disponibilités fourragères.

Les animaux en parcours sont souvent très peu abreuvés : en saison humide, ils se contentent de l'eau contenue dans la végétation ou de l'eau des flaques formées par les cavités du terrain. En saison sèche, la priorité est donnée aux vaches et aux équidés regroupés. Ils sont conduits aux points d'eau les plus proches. Les petits ruminants sont plus rarement abreuvés.

La conduite du pâturage libre se heurte aux problèmes du vagabondage des animaux dans les parcelles cultivées en limite de parcours. Le vagabondage s'observe surtout en cas de surpâturage des parcours (nombre d'animaux par unité de surface supérieure à la capacité fourragère du parcours).

Les animaux en pâturage libre subissent les attaques nocturnes des chiens errants. Pour y remédier, plusieurs techniques sont adoptées par les paysans.

• **Les parcs pour la nuit** : il s'agit de petits enclos délimités par des palissades

de bois et situés sur la zone même du parcours. Ils sont réservés aux petits ruminants (caprins et ovins), souvent attaqués. Ils peuvent rassembler plusieurs troupeaux qui y sont enfermés pour la nuit.

• **Les parcs-lakou** : ces parcs sont édifiés dans l'enceinte même du lakou. Leurs superficies sont réduites (10 à 20 m²). Y sont enfermés les petits ruminants et quelquefois le gros bétail. Leur localisation exige une disponibilité en main d'oeuvre importante puisqu'il faut quotidiennement conduire les animaux aux pâturages puis les rentrer pour la nuit. Mais les parcs-lakou permettent une meilleure protection contre les attaques des chiens errants.

• **L'entrave** : la méthode consiste à limiter les mouvements de l'animal au moyen d'une tringle de bois fixée à l'encolure. Les animaux restent à proximité de la résidence et sont rentrés rapidement dans le lakou pour la nuit.



Porcs entravés pour limiter leurs déplacements (photo G. de Laubier).

• **L'enclos** : l'espace paturé est fermé par une clôture (enclos de 1000 à 2000 m²). Le procédé est coûteux (bois et installation des palissades). L'utilisation des enclos nécessite souvent une gestion collective avec rotation sur plusieurs enclos pour éviter l'épuisement de la végétation.

LE PÂTURAGE AU PIQUET

Le pâturage au piquet se pratique sur les jachères, les bords de chemin ou dans les jardins après récolte.
Lorsque la pression démographique est faible, le paysan peut laisser chaque année en jachère une proportion importante des terres travaillées (jusqu'à 50%).

Les jachères sont valorisées par les animaux qui les pâturent. La priorité est donnée aux bovins et aux équidés. Les caprins valorisent mieux les zones marginales (forte pente, végétation buissonnante).

Pour éviter que les animaux abîment les jardins cultivés voisins, ils sont attachés à un piquet et sont régulièrement déplacés.

L'éleveur joue sur la longueur de corde en fonction des disponibilités du moment : allongement de la corde au fur et à mesure que la végétation diminue. Inversement, la corde est très courte lorsque la végétation est plus abondante et diversifiée, plus appétante et plus digestible (saison humide).

La composition floristique des jachères évolue au cours du temps et des rythmes d'exploitation :
• les jachères courtes (de moins d'un an) sont les plus courantes. Les espèces

herbacées rencontrées ont souvent plusieurs cycles (vivaces). Entre deux cycles de végétation (saison sèche) la jachère n'est guère utilisable,
• les jachères longues (plus d'un an) ont une composition floristique stable. Les espèces herbacées sont annuelles et ont un recouvrement important (Axonopus par exemple) tout au long de l'année.

Si la ration fournie par le pâturage est insuffisante, l'éleveur complémente par des apports : résidus de culture, herbe coupée, etc.

L'APPORT AU JOUK

L'apport au jouk est surtout pratiqué lorsque la superficie disponible pour les animaux (parcours ou jachère) est réduite. Les animaux sont attachés en permanence sous un arbre et nourris d'apports de résidus de culture, adventices, herbes coupées, feuilles d'arbres, arbustes de clôture, stipes de bananiers, éventuellement sons achetés...

Ce mode de conduite demande une grande disponibilité en main d'oeuvre. En période difficile (faible productivité des pâturages, peu de jachère), les animaux sont exclusivement nourris de cette manière.



Bovin au piquet sur des terres indivises (photo G. de Laubier).



Apports au jouk de canne de maïs à un cochon créole (photo G. de Laubier).

A CHACUN SON SYSTÈME

Les modes de conduite alimentaire sont déterminés par les disponibilités offertes par le système agraire.
Dans une exploitation, différents modes d'alimentation peuvent se superposer ou se succéder au cours du temps :
• les conduites peuvent être différentes suivant les espèces : caprins en parcours, bovins au piquet, chevaux au jouk, etc.
• les modes de conduite alimentaire peuvent varier au cours des saisons : parcours en pente pour les caprins et pâturages herbacés pour les bovins en saison des pluies, conduite au jouk ou au piquet pour tous les animaux en saison sèche.
• la finalité de la production influe sur la conduite retenue. Les animaux en engraissement seront conduits au jouk ou au piquet. Ainsi les aliments ingérés serviront pleinement à la croissance ou à l'engraissement et non à satisfaire des besoins d'entretien augmentés par le déplacement des animaux. Les animaux destinés à la reproduction pourront être conduits en libre pâturage à condition d'effectuer les apports nécessaires lors des phases physiologiques importantes (saillies, fin de gestation, particulièrement en saison sèche).

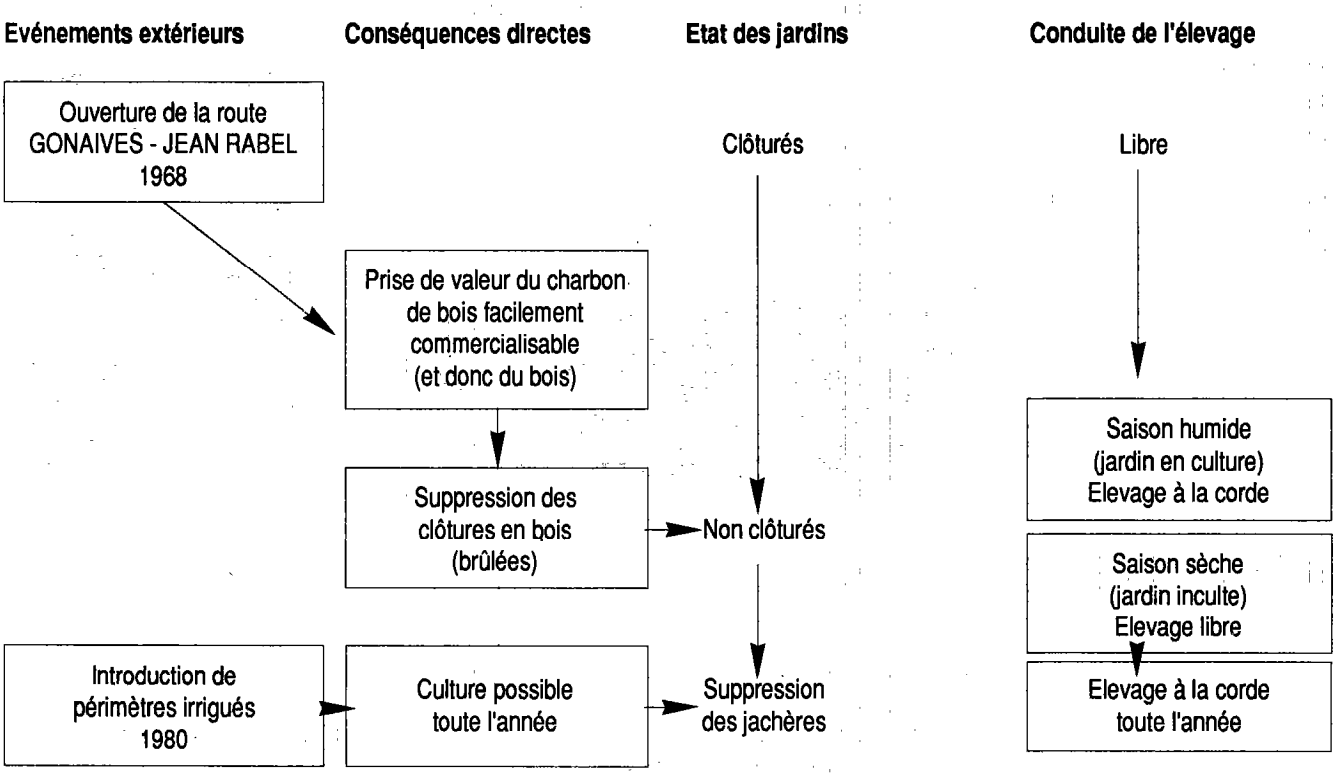
Evolution des modes de conduite d'alimentation à la Plaine de Larbre

Un système d'alimentation peut évoluer au cours des années avec l'environnement socio-économique, prenons l'exemple de la Plaine de Larbre.

Traditionnellement les animaux pâturaient librement les zones incultes, les jardins cultivés étant protégés par des clôtures. Deux évènements régionaux ont perturbé cette organisation :

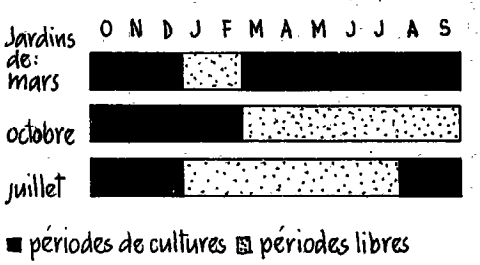
- l'ouverture de la route Gonaïves - Jean Rabel en 1968,
- l'introduction des périmètres irrigués en 1980.

- Avec la nouvelle route, les échanges avec le reste du pays s'intensifièrent, notamment ceux du charbon de bois. Arbustes, cactus (nourriture des animaux) mais aussi palissades en bois furent progressivement arrachées et transformées en charbon. Les clôtures supprimées, l'élevage libre a été aboli durant les saisons de culture.
- En 1980, l'introduction des périmètres irrigués a une nouvelle fois bouleversé la conduite de l'élevage en généralisant l'attache au piquet, les jardins étant désormais cultivés toute l'année.

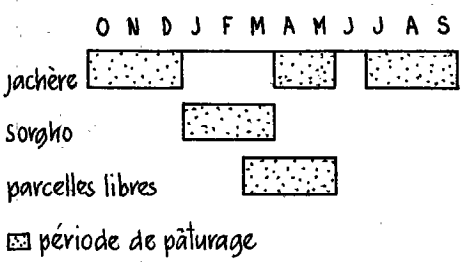


CALENDRIERS FOURRAGERS SIMPLIFIÉS CORRESPONDANT À TROIS SYSTÈMES D'ALIMENTATION DIFFÉRENTS

Sur le Plateau des Rochelois : une conduite au piquet en aire cultivée proche de la résidence. Les zones non-cultivées sont trop éloignées de la maison.



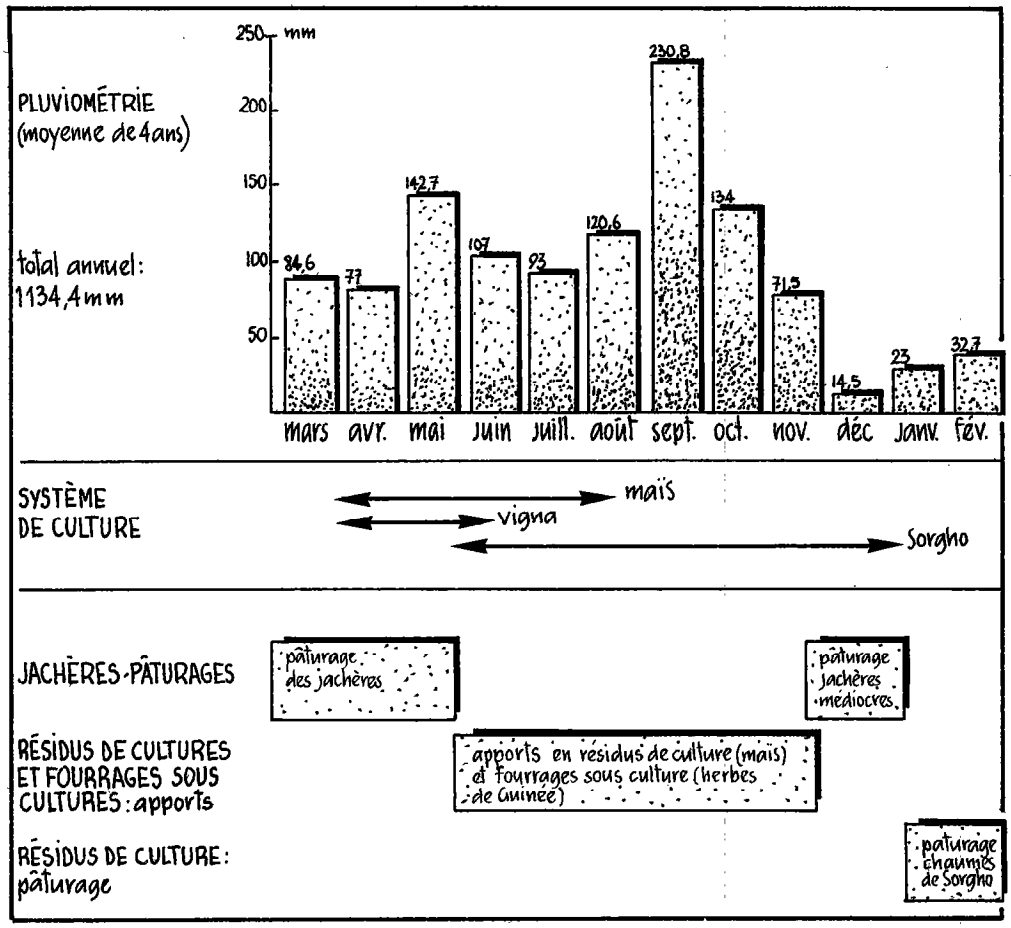
Changieux : périodes de disponibilité des parcelles cultivées.



Changieux : calendrier fourrager d'une exploitation d'altitude

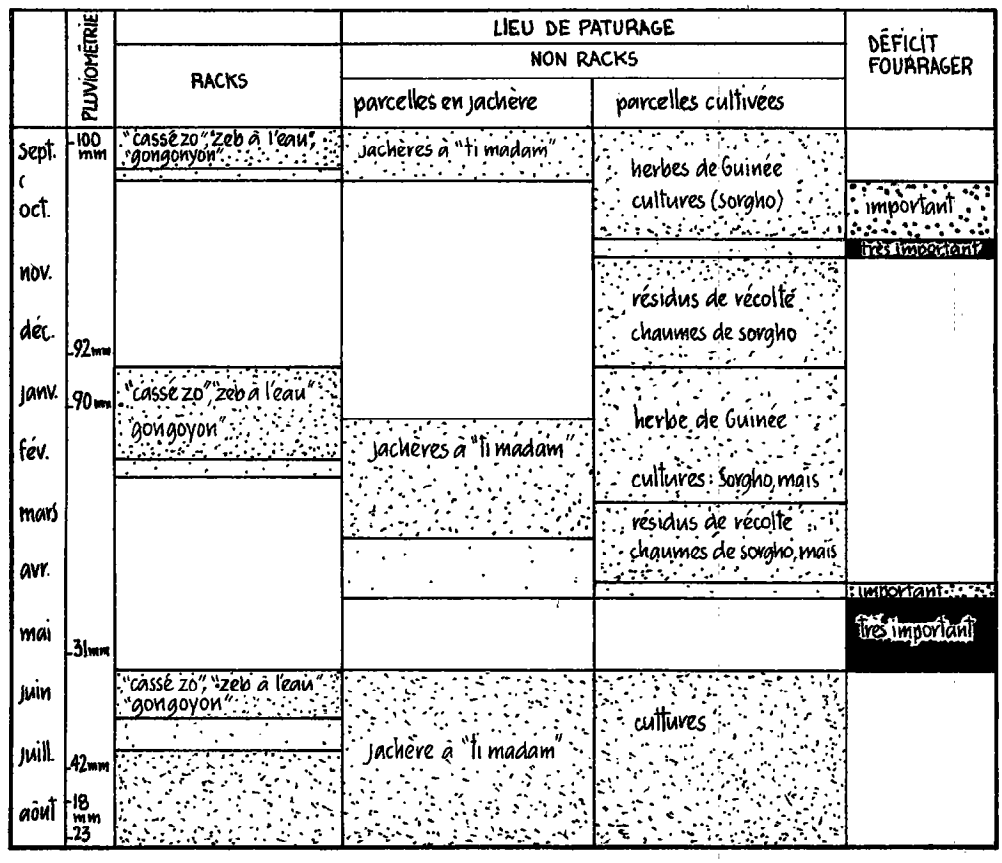
A Trémé, dans la Plaine d'Aquin, un système à jachères réduites et apports importants.

Figure 246 : Trémé, système de culture et calendrier fourrager.



A Ti Coma, dans la Plaine d'Aquin, un élevage libre dans les zones non cultivées et éloignées de la résidence.

Figure 247 : Ti Coma, disponibilité fourragère au cours de l'année d'étude.



La santé animale

La santé est le fruit d'un équilibre complexe entre un organisme vivant (l'animal), son environnement naturel (climat, sol, plante, microbisme,etc.) et son environnement technico-économique (conduite d'élevage, système d'alimentation, contraintes du marché, etc.). A l'inverse, la maladie résulte d'une rupture de cet équilibre.

Les différents types de maladie

La maladie est, la plupart du temps, la conséquence d'une combinaison de plusieurs facteurs :
• des facteurs déterminants ou déclenchants. Ce sont principalement des micro-organismes (bactéries, virus, parasites..) qui en se multipliant dans l'organisme de l'animal vont être à l'origine des différents symptômes observés.
• des facteurs favorisants qui fragilisent l'organisme et le rendent vulnérable aux agressions de l'extérieur. Par exemple, une alimentation mauvaise ou insuffisante prédispose l'animal aux maladies : le contact d'un animal avec un microbe pathogène n'aura pas les mêmes conséquences pour un animal affaibli que pour un animal bien nourri et plus résistant.

Quand la maladie est la conséquence d'une cause unique à la fois nécessaire et suffisante, on parle de maladie monofactorielle. C'est le cas des maladies infectieuses causées par un germe très pathogène (rage, fièvre aphteuse, peste porcine africaine).

Dans les autres cas où la maladie est la conséquence d'une combinaison de facteurs déclenchants et favorisants, la maladie est dite multifactorielle. C'est le cas des maladies respiratoires, des diarrhées, de la mortalité des jeunes et de la quasi-totalité des maladies non transmissibles.

La combinaison des facteurs favorisants et des facteurs déclenchants permet d'expliquer l'apparition et le niveau de gravité des maladies observées sur un animal ou dans un troupeau.

LES MALADIES TRANSMISSIBLES

Ce sont les maladies causées par des micro-organismes, êtres microscopiques invisibles à l'oeil nu qui se transmettent d'un animal sain à un animal malade selon divers processus. Ces agents infectieux peuvent être des bactéries, des virus, et des mycoplasmes à l'origine des maladies infectieuses ou des parasites à l'origine des maladies parasitaires.

Attention, tous les micro-organismes ne sont pas nuisibles. Un grand nombre vivent dans l'organisme des animaux sains et certains sont même indispensables à la bonne santé de l'animal. Par exemple, chez les ruminants, la digestion de la cellulose n'est possible que grâce à l'importante population microbienne de leur rumen.

Les micro-organismes à l'origine de maladies sont appelés pathogènes.

LES ESPÈCES SENSIBLES

Les agents infectieux présents dans un organisme entraînent des réactions variables suivant les espèces. Quand la présence du micro-organisme n'entraîne aucune réaction, l'espèce est dite résistante, dans le cas contraire elle est dite sensible.

Certaines maladies sont caractéristiques d'une seule espèce : peste porcine, péripneumonie bovine, etc. D'autres affectent plusieurs espèces :
- la brucellose et le botulisme sont communs à tous les mammifères,
- la fièvre aphteuse attaque sans discernement tous les animaux à onglons,
- la tuberculose touche toutes les espèces d'animaux domestiques et l'homme.

Quand une maladie est commune à l'homme et à une espèce animale au moins, on parle de zoonose.

Certains parasites doivent infecter successivement plusieurs espèces différentes pour pouvoir se reproduire. On parle alors de cycles parasitaires.

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

Les maladies transmissibles ont des répartitions géographiques variables. Certaines n'existent qu'en zone tropicale, d'autres sont universelles (rage, brucellose).

En milieu insulaire, la présence ou l'absence d'une maladie du bétail est presque toujours liée à l'introduction d'animaux provenant de régions infectées. De ce fait, la liste des maladies présentes dans une île est directement liée à l'historique de son cheptel et ne peut être déduite de celle existant dans des îles équivalentes. Par exemple, la peste porcine africaine est apparue en Haïti à la suite de l'introduction de porcs contaminés alors qu'elle est absente de nombreuses autres îles des Caraïbes.

De même, à l'intérieur d'un territoire géographique, la répartition d'une maladie est variable suivant l'écosystéme (régions sèches ou humides), les saisons et la répartition des espèces sensibles.

PÉNÉTRATION DE L'AGENT INFECTIEUX DANS L'ORGANISME

La pénétration d'un agent infectieux dans un organisme sain peut se faire par :
- la peau : en bonne santé, la peau constitue une barrière naturelle très efficace. Néanmoins la moindre lésion constitue une porte d'entrée pour beaucoup de micro-organismes tant qu'elle n'est pas cicatrisée. De même, beaucoup d'agents infectieux peuvent s'introduire dans un organisme lors de morsures (rage), de piqûres d'insectes ou d'une injection à l'aide d'une seringue mal stérilisée.
- les muqueuses sont plus perméables et offrent de nombreuses voies d'entrées : par les poumons (maladies respiratoires), par l'appareil digestif ou par l'appareil génital.

L'EXCRÉTION DE L'AGENT INFECTIEUX

La maladie transmissible résulte de la multiplication d'un agent infectieux dans un organisme sensible. Après s'être multiplié dans l'organisme, l'agent infectieux est rejeté dans le milieu extérieur par l'animal infecté où il va contaminer les animaux indemnes.

Les voies d'excrétion sont multiples et varient suivant les maladies :
- les excréments et l'urine sont les voies de dissémination les plus fréquentes (colibacilles, parasites intestinaux, etc.)
- la toux pour les maladies à tropisme respiratoire (tuberculose, pneumonie, etc.),
- la salive (rage),
- les sécrétions génitales et les enveloppes foetales (brucellose et maladies abortives),
- le sang (certaines maladies virales et parasitaires),
- les cadavres et en particulier les viscères qui peuvent contenir des bacilles mortels. C'est pourquoi, il ne faut jamais autopsier le cadavre d'un animal mort de façon suspecte sans prendre un minimum de précautions.

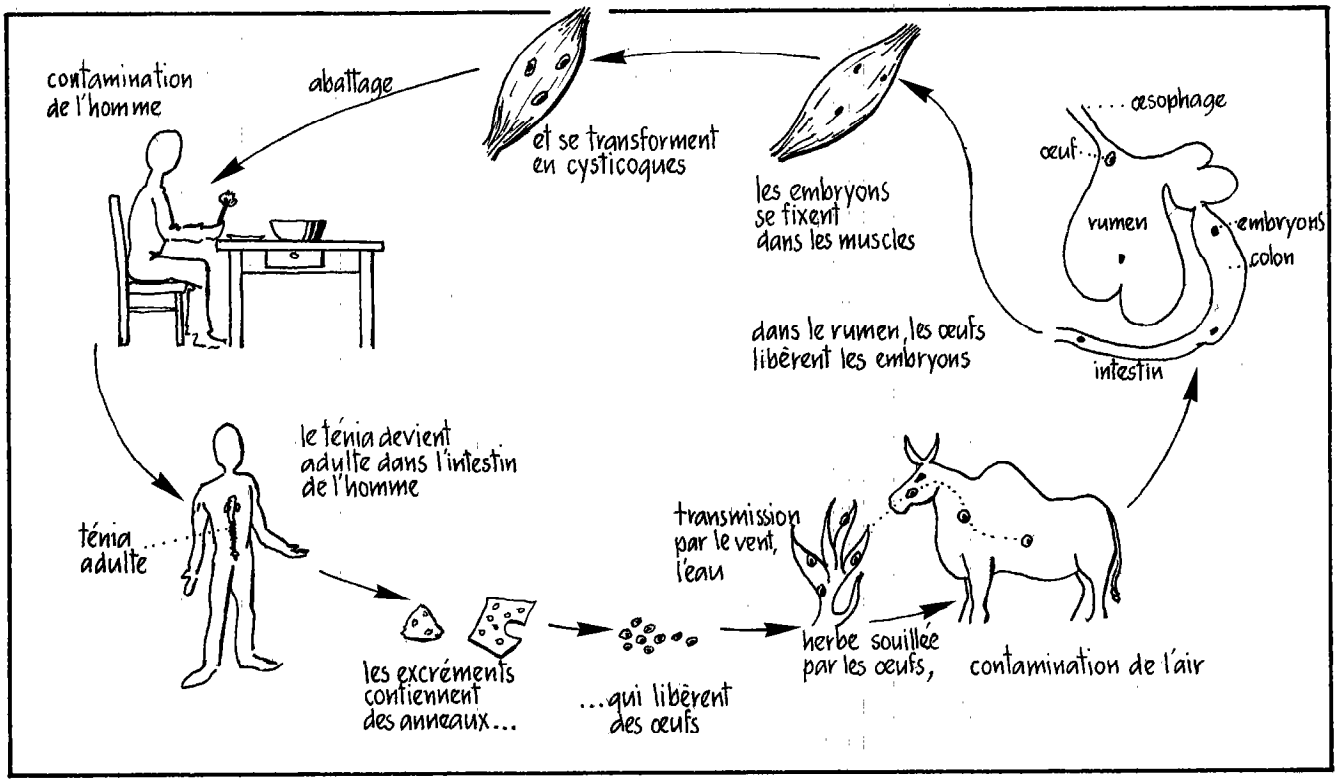
LA TRANSMISSION DE L'AGENT INFECTIEUX

Plus une maladie infectieuse se transmet facilement d'un animal malade à un animal sain, plus cette maladie est contagieuse. La fièvre aphteuse qui affecte très rapidement la totalité des animaux d'un troupeau est une maladie très contagieuse, à l'inverse, le tétanos n'est pas très contagieux.

La contagiosité d'une maladie infectieuse dépend tout particulièrement du mode de transmission de l'agent infectieux de l'animal contaminé vers l'animal indemne.

Cette transmission peut se faire par :
- contact direct entre un animal sain et un animal contaminé : léchage, accouplement, etc,

Figure 248 : un exemple de cycle parasitaire : le cycle du tenia (*taenia sagenatta*).



Les microbes pathogenes

Germe	Caractéristiques	Maladies provoquées
Virus	• êtres unicellulaires, d'un millième de micron invisibles au microscope ordinaire • ne peuvent se développer que dans les tissus vivants • ils sont détruits : - par des températures élevées (70-80°C), - par des antiseptiques : eau de javel, formol, cresyl, soude caustique...	Peste porcine, peste bovine, peste des petits ruminants (PPR), rage...
Mycoplasmes	• unicellulaires, visibles au microscope ordinaire, mais plus petits que les bactéries	Péripneumonie bovine, pleuropneumonie caprine, maladie respiratoire chronique des oiseaux.
Bactéries	• êtres unicellulaires visibles au microscope (0,2 à 0,3 micron) • selon la forme, on distingue : - les coques, de forme arrondie (staphylo-coques, streptocoques, méningocoques...) - les bacilles, en forme de bâtonnets (bacilles du charbon, de la tuberculose...) • mode de duplication : - par simple division cellulaire - par sporulation : spores = formes de survie en vie ralentie • vivent dans les tissus vivants ou morts, ou en milieu artificiel • action pathogène : - infection : multiplication des bactéries dans l'organisme - intoxication par sécrétion de toxines	Choléra, charbon bactéride, tuberculose, brucellose, botulisme...

Les parasites externes

Nom	Caractéristiques	Pathologie
Champignons (mycoses)	Champignons microscopiques s'attaquant à la peau et aux poils. Affections mineures	Teignes sur poils (hommes, mammifères domestiques). Blastomycoses sur peau
Tiques	• gros acariens parasites munis de pièces buccales piqueuses et suceuses • seules les femelles sont parasites • le cycle de développement est complexe : - les pontes ont lieu à terre, où les œufs éclosent - les jeunes larves se fixent sur un hôte intermédiaire - la dernière génération (les tiques adultes) se fixe sur un gros mammifère	double action : • directe : - affaiblissement par prélèvement de sang - empoisonnement par sécrétion de toxines (jaunisses) • transmission de maladies : piroplasmose, rickettsie, cowdriose, anaplasmose, streptothricose, maladie de Nairobi (moutons)
Gales	• maladies de la peau provoquées par des acariens microscopiques (les sarcoptes) • les femelles creusent des galeries dans l'épaisseur de l'épiderme où elles pondent	les parties atteintes de la peau se couvrent de pellicules, boutons et vésicules ; violentes démangeaisons ; l'animal dégage une odeur repoussante et finit par mourir
"Mouches"	• Insectes piqueurs et suceurs - taons (dans les zones humides) - stomoxes : mouches du fumier - glossines ou mouches tsé-tsé	action double : • affaiblissement et empoisonnement de l'animal • transmission de maladies : trypanosomose, onchocercose, anaplasmose, charbons...
Poux et puces	• insectes piqueurs • signes d'une hygiène négligée	provoquent des démangeaisons ne sont pas vecteurs de maladies

Les parasites internes

Nom	Caractéristiques	Pathologie
Helmintes "vers"	• les vers plats et annelés : plathelminthes ou castodes (exemple : tenia) • les vers ronds : nématodes (exemple : ascaris, strongyles • les vers plats sans anneaux : trématodes (exemple : douves)	affectent les différents organes : • tube digestif : spirur, ascaris, strongyla, tenia oxyure, trichure • foie et rein : grande et petite douves, cestodes • cœur et poumons : bilharzies • yeux et cerveau : tenia, thélazia • muscles, ligaments ou cysticerque, trichine, onchocerque
Protozoaires du système digestif	contaminations par l'eau et les aliments • coccidies, parasites intestinaux • amibes	hémorragies : "diarrhées rouges" caractéristiques accès de fièvre, amaigrissements parfois mortels
Protozoaires du sang	• toujours introduits par des vecteurs (glossines, tiques) • les trypanosomes : deux hôtes - hôte définitif : mammifères ; vivant dans le sang, la lymphe, le cœur et le système nerveux de leur hôte définitif - vecteur (hôte temporaire) : les glossines ; vivant dans le tractus digestif • les piroplasmoses : maladies transmises par les tiques : protozoaires qui parasitent les globules rouges du sang (babésioses, theilarioses, anaplasmoses)	fièvre, anémie, urines rouges, coloration jaune des muqueuses...
Champignons	• mycoses internes	aspergillose, lymphangi, épizootique...

Figure 249 : l'eau principale cause de dissémination des maladies infectieuses

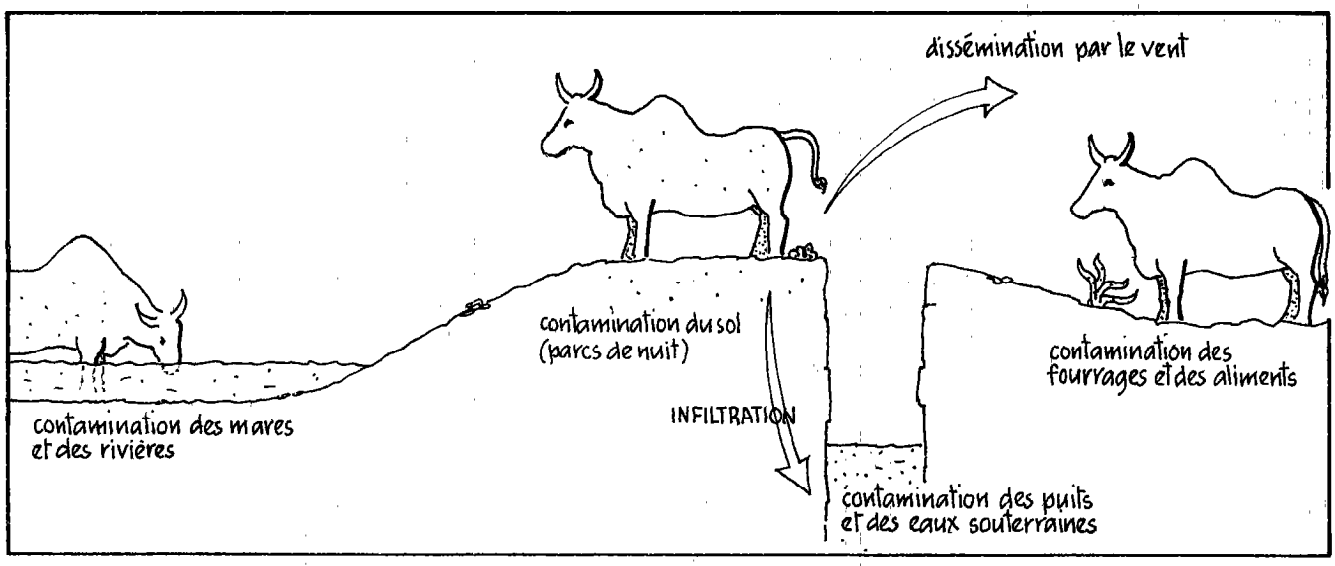


Figure 250 : symptômes des carences en oligo-éléments.

	Fer A. J.	Cuivre A. J.	Cobalt A. J.	Iode A. J.	Manganèse A. J.	Zinc A. J.	Sélénium A. J.
déficit de croiss. ou d'engraissemt	•	• •	• •	•	• •	• •	
chute production du lait		•	•	•		•	
inappétence	•	• •	• •	• •		• •	
pica		• •	• •				
cachexie		• •	★★			• •	
anémie	•	• •	• •				
défaut d'aplomb		• •			★★	• •	
fracture spontanée		• •					
boiterie		• •			• •	• •	•
troubles cardiaques		★★					•
dyspnée		• •					•
diarrhée		•	• •				
décoloration poils		★★					
poils piques		• •	★★	•		• •	
pelade				•		★★	
dermites						★★	
goitre				★★			
infécondités		•	•	•	•	•	
déformation sabots					•	•	
dégénérescence musculaire						★	

A : adultes - J : jeunes - ★ symptômes les plus spécifiques

• contact indirect par les objets de pansage, les harnachements, les injections,
• l'eau est le milieu de transmission idéal de nombreux agents infectieux (colibacilles, salmonelles) mais aussi de nombreux parasites. L'hygiène de l'abreuvement et la bonne gestion des pâturages humides doivent être respectées très scrupuleusement.
• l'air : le vent peut transporter très loin certains agents infectieux. C'est cependant un milieu très défavorable aux micro-organismes à cause de l'action stérilisante des rayons solaires et du dessèchement.
• le sol : seuls quelques micro-organismes possèdent la faculté se survivre dans le sol (charbon, tétanos).

La lutte contre les maladies transmissibles et leur prévention passe, dans un premier temps, par une bonne connaissance de la biologie des agents infectieux, des espèces sensibles, de leur répartition dans l'espace et dans le temps, des modes de transmission. L'ensemble de ces données permet de déterminer l'épidémiologie d'une maladie transmissible.

LES MALADIES NON TRANSMISSIBLES

Les principales maladies non transmissibles sont celles qui découlent d'une mauvaise alimentation, c'est-à-dire :
• la sous-alimentation, lorsque les besoins et plus particulièrement les besoins d'entretien ne sont pas satisfaits,
• une alimentation déséquilibrée : déséquilibre entre les apports azotés et énergétiques, carences en éléments minéraux ou en vitamines.

Cette mauvaise alimentation aura pour conséquences physiologiques:
• une mortalité néo-natale accrue,
• des troubles de la croissance chez le jeune : rachitisme, fragilisation des os,
• des troubles digestifs : douleurs abdominales, entérites des jeunes,
• des troubles de la reproduction : infertilité, mauvais retour en chaleur,
• des troubles de la vision et du système nerveux chez les jeunes animaux.

De plus, une alimentation défectueuse entraîne une sensibilité accrue de l'animal aux infections microbiennes et aux maladies parasitaires, liée à l'affaiblissement de l'organisme et à la réduction de ses capacités de défense. Par exemple, la tuberculose se développe particulièrement chez les animaux mal nourris et élevés dans de mauvaises conditions d'hygiéne.

Le diagnostic de la maladie

Le diagnostic vétérinaire permet de reconnaître une maladie sévissant sur un animal ou dans un troupeau.
Il se base sur l'examen clinique, l'interrogatoire de l'éleveur, la visite d'élevage et dans certains cas, sur l'autopsie d'un animal mort et les examens de laboratoire.

L'EXAMEN CLINIQUE

Devront être observés particulièrement :

• les symptômes externes :
- attitude de l'animal : prostré, agité, excité, raide, chancelant...,
- les perturbations de l'appétit : disparition de l'appétit (anorexie), baisse de l'appétit, comportement anormaux (tendance à lécher les murs, les pierres, ingurgitation des poils,...),
- l'état des muqueuses (bouche, yeux, muqueuses génitales): pâles (anémie), rouges (congestion), jaunes (atteintes du foie), présence d'aphtes ou d'ulcération.
- l'état de la peau et des poils : abcès, croûtes, aphtes, plaques, dépilations, poils secs et ternes, etc.

• le fonctionnement de l'organisme et des organes apprécié par :
- les variations anormales de la température interne (hausse ou baisse), observées grâce à un thermomètre placé dans l'anus,
- les variations de la fréquence du pouls,
- un rythme respiratoire modifié.

• le bon fonctionnement des organes profonds peut être vérifié par :
- la percussion avec les doigts ou un petit marteau.
- l'auscultation avec un stéthoscope.

L'INTERROGATOIRE DE L'ÉLEVEUR ET LA VISITE D'ÉLEVAGE

L'interrogatoire de l'éleveur complète l'examen clinique et permet d'obtenir des informations sur l'historique de la maladie (apparition, évolution), l'état habituel des animaux, les cas analogues survenus auparavant dans le troupeau ou dans le voisinage.

La visite d'élevage consiste à passer en revue de manière méthodique et systématique l'ensemble des composantes du système d'élevage afin de mettre en évidence les différents facteurs pouvant être impliqués dans l'apparition ou le développement de la pathologie observée.

En règle générale les chapitres suivants doivent être abordés :
• le troupeau : démographie (achats, ventes), races, état général, consanguinité, vaccinations, contacts avec d'autres troupeaux...

Figure 251 : températures rectales, fréquence du pouls et de la respiration chez les animaux domestiques en bonne santé.

Espèce	Température rectale normale °C	Pouls nbre de pulsations par minute	Respirations par minute
Cheval et âne	37,5 - 38	36 - 40	9 - 10
Bovins adultes • taurins (zone tempérée) • taurins (zone tropicale) • zébus	 38 - 39 40 - 41 38 - 39	50 - 60	15 - 18
Veaux	39 - 40	70 - 100	18 - 20
Dromadaires	37 (jusqu'à 40)		
Moutons et chèvres	39 - 40	50 - 60	15 - 18
Porcs	39 - 39,5	60 - 80	13 - 15
Chiens	38,5 - 39	90 - 100	16 - 18
Lapins	39,5		
Volailles	40,5 - 42,5	130 - 165	14 - 26

• l'alimentation : sous-alimentation, déséquilibres, carences, modes de distribution...
• le logement : parcours, abris, état des sols...
• la conduite d'élevage : conduite de la reproduction, traite, vente...
• l'hygiène : de l'exploitation, des points d'eau, des parcours et des pâturages...
• l'éleveur : formation, technicité, implication...

L'AUTOPSIE ET LES EXAMENS DE LABORATOIRE

Dans certains cas, le diagnostic de la maladie sévissant sur un animal ou dans un troupeau ne peut être posé qu'avec l'aide d'autopsies ou d'examens de laboratoire.

• **l'autopsie** : consiste à ouvrir un cadavre pour :
- rechercher les lésions caractéristiques de la maladie existant sur les organes internes,
- faire des prélèvements en vue d'examens de laboratoires extérieurs.

Elle doit être réalisée par un technicien vétérinaire compétent. Un certain nombre de précautions doivent être prises pour éviter une éventuelle contamination de l'homme ou des autres animaux du troupeau par des micro-organismes présents dans le cadavre :
• autopsie réalisée à l'écart des lieux de vie des hommes et des animaux,
• destruction complète du cadavre à l'issue de l'autopsie,
• port de gants en cas de suspicion d'une maladie transmissible à l'homme, etc.

• **Les examens de laboratoire** : permettant de confirmer un diagnostic clinique peuvent être réalisés sur des prélèvements de sang (recherches sérologiques), de fèces (examens coprologiques pour rechercher des parasites), de poils, de pus, d'organes internes après une autopsie,etc.

La nature et le mode de prélèvement dépendent de la maladie suspectée et des capacités d'analyse du laboratoire destinataire. Elles ne seront pas détaillées ici.

Dans tous les cas, les prélèvements en vue d'analyse doivent être réalisés par un personnel compétent et dans les conditions les plus aseptiques possibles. Tous les échantillons envoyés au laboratoire doivent être obligatoirement accompagnés d'une fiche d'explications décrivant les symptômes observés, l'animal malade, le lieu, etc.

POUR EN SAVOIR PLUS

CHAPITRE 1
CAMP LOUISE, PETITE REGION AGRICOLE DE LA PLAINE DU NORD

BEDU L. et al., Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement.- Montpellier, CIRAD-DSA, coll. Documents Systèmes Agraires n°8, 1987, 191 p.

COGNO R., COURCIER R., REGIS J.: Agricultures et paysans du Nord et du Nord-Est d'Haïti. Etude agro-économique de onze zones rurales.- Port-au Prince, ODN-FAC-IRAM, 1984.

GRAS R., ed., Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude.- Paris, INRA-L'Harmattan, 1989, 184p.

LIZET B., de RAVIGNAN F., Comprendre un paysage. Guide pratique de recherche.- Paris, INRA, 1987, 147 p.

de RAVIGNAN F., BARBEDETTE L., Découvrir une agriculture vivrière. Guide d'observation sur le terrain.- Paris, Maisonneuve et Larose, 1977, 115 p.

SEBILLOTTE M., Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome.- Paris, Cahiers ORSTOM, sér. Biologie, n°24, 1974, pp. 3-25.

CHAPITRE 2
LA GRANDE DIVERSITE DES CLIMATS HAITIENS

ANGLADE G., L'espace haïtien.- Montréal, Presses de l'Université du Québec, 1975.

ANGLADE G., Atlas critique d'Haïti.- Montréal, Presses de l'Université du Québec, 1982.

CENTRE D'ETUDES ET DE GEOGRAPHIE TROPICALES, Atlas d'Haïti.- Talence, CEGET, 1985.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome III: l'exploitation agricole.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

MORAL Paul, Le paysan haïtien.- Paris, Maisonneuve et Larose, 1961, reprod. 1978, 375 p.

PAGNEY P., Les climats de la terre.- Paris, Masson, 1976, 151p.

PAGNEY P., Etudes de climatologie tropicale.- Paris, Masson, 1986, 206p.

SOLTNER D., Les bases de la production végétale: le sol, le climat, la plante. Vol.II: le climat.- Angers, 1981, 307p.

CHAPITRE 3
NATURE ET DIVERSITE DES SOLS HAITIENS

AGROTECHNIQUE S.A., Etude pédologique du périmètre de St-Raphaël.- Cap-Haïtien, Office de Développement du Nord, 1982, 39 p. + carte.

ASSEMBLEE PERMANENTE DES CHAMBRES D'AGRICULTURE (APCA), Conseil en Agronomie.- Trie-Chateau, APCA, dossier de quatre documents, n.d.

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Mémento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

BLAIZE D., Guide des analyses courantes en pédologie.- Paris, INRA, 1988, 172 p.

BONHEUR J.L., Etude pédologique et suivi agronomique de trois sites de la plaine du Colombier (Haïti).- mémoire de D.E.A., Rennes, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 1984, 84 p.

BOULAINE J., Pédologie appliquée.- Paris, Masson, 1980, 220 p.

BOYER J., Les sols ferrallitiques. Tome X: facteurs de fertilité et utilisation des sols.- Paris, ORSTOM, 1982, 384 p.

CABIDOCHE Y.M., Reconnaissance pédologique dans le district de Jacmel.-Miméo, INRA-CRD La-Vallée-de-Jacmel, 1984.

DOMMERGUES Y., La biologie des sols.- Paris, P.U.F., 1968, 128 p.

DUCHAUFOUR P., Atlas écologique des sols du monde.- Paris, Masson, 1976, 179 p.

DUCHAUFOUR P., SOUCHIER B., Pédologie. Vol.I: Pédogénèse et classification ; vol.II : Constituants et propriétés du sol.- Paris, Masson, 1977-1979, 477 p. et 460 p.

DUCHAUFOUR P., Pédologie.- Paris, Masson, 1984, coll. Abrégés, 220 p.,

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol I: connaissance du milieu.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

GUIGOU B. et al., Pour valoriser les analyses de sols.- Purpan n°134, Toulouse, E.S.A.P., 1985, 88 p.

HENIN S., GRAS R., MONNIER G., Le profil cultural.- Paris, Masson, 1969, 332 p.

HENIN S., Cours de physique du sol. Tomes 1 et 2.- Paris, ORSTOM-Edisciences, 1977, 159 p. et 221 p.

LEO O., Carte de la zone du projet Plaine de l'Arbre et de ses bassins versants.- Paris, B.D.P.A., 1983.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome III: l'exploitation agricole.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

MAGNY J., BAUR J., Pour comprendre les analyses de terre.- Purpan n°41-42, Toulouse, E.S.A.P., n.d., 222 p.

SOLTNER D., Les bases de la production végétale: le sol, le climat, la plante. Vol.I: le sol.- Angers, 1977, 457p.

CHAPITRE 4
DEFINIR L'EXPLOITATION ET LA SITUER DANS SON ENVIRONNEMENT

ANS, A.M. d'Haïti. Paysage et société.- Paris, Karthala, 1987, 341 p.

BASTIEN R., Le paysan haïtien et sa famille.- Paris, Karthala, 1985, 219p.

BELLANDE A., Rationnalité socio-économique des systèmes de production en Haïti. Une étude de cas.- Thèse Ms. Sc., Montréal, Université Mac Gill, 1982.

COGNO R., COURCIER R., REGIS J., Agricultures et paysans du Nord et du Nord-Est d'Haïti. Etude agro-économique de onze zones rurales.- Port-au Prince, ODN-FAC-IRAM, 1984.

DEVERRE C., ed., Enjeux fonciers dans la Caraïbe.- Paris, INRA-Karthala, 1987, 230 p.

GIRAULT C., Le commerce du çafé en Haïti. Habitants, spéculateurs et exportateurs.- Paris, CNRS, 1981, 293p.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome II: stratégies et logiques sociales; les conditions économiques de la production agricole. Tome III: l'exploitation agricole.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

MORAL P., L'économie haïtienne.- Port-au-Prince, Imprimerie de l'Etat, 1959.

PILLOT D., Des jardins haïtiens aux marchés de Port-au-Prince.- Recherches Haitiennes n°2, Port-au-Prince, Institut Français d'Haïti, 1980, pp. 181-232.

CHAPITRE 5
DECRIRE LE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION ET MESURER LES RESULTATS ECONOMIQUES

BEDU L. et al., Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement.- Montpellier, CIRAD-DSA, coll. Documents Systèmes Agraires n°8, 1987, 191 p.

BELLANDE A., Rationnalité socio-économique des systèmes de production en Haïti. Une étude de cas.-Thèse Ms. Sc., Montréal, Université Mac Gill, 1982.

BOUCHET G. et coll., Systèmes de production à La-Vallée-de-Jacmel.- Miméo, Centre de Recherche-Développement de La-Vallée, 1983, 102p.

DEVELOPPEMENT AGRICOLE CARAIBE (DAC), Systèmes de production agricoles caribéens et alternatives de développement. Actes du colloque de Fort-de-France, 9-11 mai 1985.- Pointe-à-Pitre, Université Antilles-Guyane, 1985, 736 p.

GRAS R., ed., Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude.- Paris, INRA-L'Harmattan, 1989, 184p.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome III: l'exploitation agricole.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

OSTY P.L., L'exploitation agricole vue comme un système. Diffusion de l'innovation et contribution au développement.- Paris, Bull. Tech. Inf. Min. Agr. n°326, 1978, pp.43-49.

PIERRE-JEAN L., Diagnostic de deux exploitations agricoles de La-Vallée-de-Jacmel. Document de synthèse. Miméo, Centre de Recherche-Développement de La-Vallée, 1982.

CHAPITRE 6
ETUDE REGIONALE, LA CANNE A SUCRE DANS LA PLAINE DU NORD

AGRICORP-IRAM: La canne-à-sucre et les possibilités de développement d'autres cultures dans la plaine du Nord en Haïti.- Miméo, Port-au-Prince, Agricorp, 1988.

ANCEY G., Evaluation du développement rural.- Paris, Ministère de la Coopération-SEDES, coll. Méthodologie, 1982, 210 p.

BEDU L. et al., Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement.- Montpellier, CIRAD-DSA, coll. Documents Systèmes Agraires n°8, 1987, 191 p.

CRISTOFINI B., La petite région vue à travers le tissu de ses exploitations. Un outil pour l'aménagement et le développement rural.- Paris, INRA, 1986, 44p.

DEFFONTAINES J.-P., PETIT M.: Comment étudier des exploitations agricoles d'une région? Présentation d'un ensemble méthodologique.- Paris, INRA, 1985, 47p.

IEDES-SEDES, Analyses critiques des méthodes d'évaluation des projets.- Paris, Ministère de la Coopération, coll. Méthodologie, 1980, 160 p.

INSTITUT DE RECHERCHES ET D'APPLICATION DES METHODES DU DEVELOPPEMENT (IRAM), Quelle politique agricole pour Haïti?- Paris, IRAM, 1990, 56 p.+ ann..

JARRIGE F., NICKLAUS D., Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement. 3:Groupes socio-économiques et dynamique régionale.- Dijon, ENSAA, 1988, 257 p.

CHAPITRE 7
LE FONCTIONNEMENT DE LA PLANTE CULTIVEE

ASSEMBLEE PERMANENTE DES CHAMBRES D'AGRICULTURE (APCA), Conseil en Agronomie.- Trie-Chateau, APCA, dossier de quatre documents, n.d.

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Mémento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

DUPRIEZ H., DE LEENER P., Agriculture tropicale en milieu paysan africain.-Nivelles, Paris, Terres et Vie, L'Harmattan, 1983, 280 p.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol I: connaissance du milieu.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

HAUDRICOURT A.-G., HEDIN L., L'homme et les plantes cultivées.-Paris, ed. A.M. Métailié, 1987, 281 p.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA), Les biotechnologies au service de la production végétale.- Paris, INRA, Dossier 74 p.+ vidéocassette 27 mn.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA), Physiologie du maïs. Colloque Royan, 15-17 Mars 1983.- Paris, INRA, 1984, 519 p.

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES (IRAT), Intensification de l'agriculture pluviale: relations entre la plante, le sol, et l'eau.- Paris, IRAT, coll. Mémoires et travaux, 1987, 130 p.

INSTITUT TECHNIQUE DES CEREALES ET FOURRAGES (ITCF), L'élaboration d'un protocole d'enquête.- Paris, ITCF, 1985, 98p.

INSTITUT TECHNIQUE DES CEREALES ET FOURRAGES (ITCF), L'élaboration d'un protocole d'essai.- Paris, ITCF, 1985.

MESSIAEN C.-M., Quelques caractéristiques des systèmes agricoles traditionnels en zone tropicale: limites de leurs performances, améliorations éventuelles.- Pointe-à-Pitre, INRA-CRAAG, Bulletin agronomique, vol 1, n°1, 1983, pp 4-16.

MESSIAEN C.-M., Le potager tropical.- Paris, P.U.F.-A.C.C.T., 1975, réed. 1989, 577 p.

MESSIAEN C.-M., Les variétés résistantes. Méthodes de lutte contre les maladies et ennemis des plantes.- Paris, INRA, 1981, 379 p.

MESSIAEN C.-M.,LAFON R., BLANCARD D., Les maladies des plantes maraîchères.- Paris, INRA, 1965, 333 p.

MOREAU D., L'analyse de l'élaboration du rendement du riz: les outils du diagnostic.- Paris, GRET, 1987, 72 p.

WESTPHAL E. et al., Cultures vivrières tropicales avec références spéciales au Cameroun.- Wageningen, PUDOC, 1985, 514 p.

CHAPITRE 8
LA GESTION DE LA LUMIERE

ASSEMBLEE PERMANENTE DES CHAMBRES D'AGRICULTURE (APCA), Conseil en Agronomie.- Trie-Chateau, APCA, dossier de quatre documents, n.d.

CAVALIE J., COLY J., Observations sur la compétition maïs-pois congo-sorgho sur vertisol calcaire. Péninsule Sud d'Haïti.- XVI° Congrès annuel Caribean Food Crop Society, Santo Domingo, 5-11 Août 1979.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol I: connaissance du milieu.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

GROUPE DE RECHERCHES ET D'ECHANGES TECHNOLOGIQUES (GRET), Cultures associées en milieu tropical: éléments d'observation et d'analyse.- Paris, Ministère de la Coopération, coll. Technologie et développement, 1982, 76 p.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome IV: la parcelle et l'animal.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

STEINER K., Cultures associées dans les petites exploitations agricoles tropicales en particulier en Afrique de l'Ouest.- Eschborn,, G.T.Z., 1985, 347 p.

CHAPITRE 9
LA GESTION DE L'EAU

ASSEMBLEE PERMANENTE DES CHAMBRES D'AGRICULTURE (APCA), Conseil en Agronomie.- Trie-Chateau, APCA, dossier de quatre documents, n.d.

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Memento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

BONHEUR J.L., Etude pédologique et suivi agronomique de trois sites de la plaine du Colombier (Haïti).- Mémoire de D.E.A., Rennes, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 1984, 84 p.

CIRAD-ISRA, La sécheresse en zone intertropicale. Pour une lutte intégrée.- Paris, CILF, 1985, 591 p.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol I: connaissance du milieu.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol II: exploitation et amélioration du milieu. Bases d'une nutrition efficace du végétal.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol III: exploitation et amélioration du milieu. Emploi des facteurs de la production végétale.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

GAUTRONNEAU Y., MANICHON H., Guide méthodologique du profil cultural.- Lyon, CEREF-ISARA, 1987, 71 p.

HENIN S., GRAS R., MONNIER G., Le profil cultural.- Paris, Masson, 1969, 332 p.

HENIN S., Cours de physique du sol. Tomes 1 et 2.- Paris, ORSTOM-Edisciences, 1977, 159 p. et 221 p.

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES (IRAT), Intensification de l'agriculture pluviale: relations entre la plante, le sol, et l'eau.- Paris, IRAT, coll. Mémoires et travaux, 1987, 130 p.

KOUAME N., L'intérêt du labour en traction animale pour les paysans de la Plaine d'Aquin; perspectives de développement.- Mémoire ESAT, miméo, Montpellier, CNEARC, 1985, 54 p.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome IV: la parcelle et l'animal.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

WESTPHAL E. et al., Cultures vivrières tropicales avec références spéciales au Cameroun.- Wageningen, PUDOC, 1985, 514 p.

WYBRECHT B., Les effets du labour en milieu paysan dans la plaine d'Aquin; les autres perspectives d'amélioration des ressources en eau.- mémoire ESAT, 2 vol miméo, Montpellier, CNEARC, 1985.

CHAPITRE 10
LA GESTION DE LA FERTILITE

ASSEMBLEE PERMANENTE DES CHAMBRES D'AGRICULTURE (APCA), Conseil en Agronomie.- Trie-Chateau, APCA, dossier de quatre documents, n.d.

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Mémento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

CABIDOCHE Y.M., Reconnaissance pédologique dans le district de Jacmel.-Miméo, INRA-CRD La-Vallée-de-Jacmel, 1984.

CLERMONT C., Efficacité des engrais en sol ferrallitique. Blocage phosphatique.- Miméo, Damien, FAMV-Salagnac, 1985.

CLERMONT C., Etude du fractionnement d'un engrais complet sur le haricot de Juillet à Salagnac.- Miméo, Centre de Recherche-Développement de Salagnac, 1985, 19 p.

CALOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale.- Paris, INRA, 1982, 324 p.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol II: exploitation et amélioration du milieu. Bases d'une nutrition efficace du végétal.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

DUTHIL J., Eléments d'écologie et d'agronomie. Vol III: exploitation et amélioration du milieu. Emploi des facteurs de la production végétale.- Paris, Baillières, 1971, 387 p.

FAO, L'emploi des matières organiques comme engrais.- Rome, Bulletin pédologique de la FAO, 1975, 371p.

FAO, Organic reycling in Africa.- Rome, FAO Soils Bulletin n°43, 1980, 304 p.

GACHON L., ed, Phosphore et potassium dans les relations sol-plante: conséquences sur la fertilisation.- Paris, INRA, 1988, 566p.

HENIN S., GRAS R., MONNIER G., Le profil cultural.- Paris, Masson, 1969, 332 p.

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES TROPICALES (IRAT), Intensification de l'agriculture pluviale: relations entre la plante, le sol, et l'eau.- Paris, IRAT, coll. Mémoires et travaux, 1987, 130 p.

LILIN C., KOAFKHAN A.P., Techniques biologiques de conservation des sols en Haïti.- Rome, FAO, 1987, 37 p.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome IV: la parcelle et l'animal.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

PIERI C., Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricoles au sud du Sahara.- Paris, IRAT-Ministère de la Coopération et du Développement, 1989, 444 p.

SEBILLOTTE M., ed., Fertilité et systèmes de production.- Paris, INRA, 1989, 369p.

SEBILLOTTE M., ed., Fertilité du milieu et agriculture.- Paris, Bulletin Technique d'Information, n° spécial 370-372, mai-août 1982, pp. 327-600.

CHAPITRE 11
L 'ELEVAGE A LA VALLEE DE JACMEL

BOUCHET G. et coll., Systèmes de production à La-Vallée-de-Jacmel.- miméo, Centre de Recherche-Développement de La-Vallée, 1983, 102 p.

GIBON A., ROUX M., VALLERAND F., Eleveurs, troupeaux et espace fourrager. Contribution à l'approche globale des systèmes d'élevage.- Paris, INRA, 1988, 144 p.

JORDAN A, MOULIN C.H., Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural dans une perspective de développement. 2: Diagnostic sur les systèmes d'élevage.- Dijon, ENSAA, 1988, 273 p.

RIGAUD P.-E., Diagnostic de l'élevage à La-Vallée-de-Jacmel et possibilités d'amélioration. Miméo, Centre de Recherche-Développement de La-Vallée, n.d., 65 p.

CHAPITRE 12
LA REPRODUCTION DES ANIMAUX

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Mémento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES EN APPLICATIONS PEDAGOGIQUES, Amélioration génétique des animaux d'élevage.- Paris, Foucher, 1986, 286 p.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA), Reproduction des ruminants en zone tropicale. Pointe-à-Pitre, 8-10 Juin 1983.- Paris, INRA, 1984, 519 p.

MINVIELLE F., Principes d'amélioration génétique des animaux domestiques.- Paris, INRA-Presses de l'Université Laval, 1990, 232 p.

PAGOT J., L'élevage en pays tropicaux.- Paris, Maisonneuve et Larose, 1985, 526 p.

CHAPITRE 13
LES BESOINS ALIMENTAIRES ET LA DIGESTION

CHAPITRE 14
NOURRIR AU MIEUX LE TROUPEAU

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Mémento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

BOUDET G., Manuel sur les patûrages tropicaux et les cultures fourragères.- Paris, Ministère de la Coopération, 1984, 266 p.

INSTITUT D'ELEVAGE ET DE MEDECINE VETERINAIRE DES PAYS TROPICAUX (IEMVT), Manuel d'aviculture en zone tropicale.- Paris, Ministère de la Coopération, 1983, 186 p.

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (INRA), L'alimentation des animaux monogastriques: porcs, lapins, volailles.- 2° édition, Paris, INRA, 1989, 282 p.

JARRIGE R., ed., Alimentation des bovins, ovins et caprins.- Paris, INRA, 1988, 471 p.

LASSALLE T., «Bourriques» et «cabrits» en difficulté dans la basse plaine de Port-à-Piment.- Mémoire ESAP, Toulouse, 1985, 149 p.

MADIAN-SALAGNAC, Paysans, systèmes et crises. Tome IV: la parcelle et l'animal.- Pointe-à-Pitre, DAC-UAG/FAMV Damien, en préparation.

PAGOT J., L'élevage en pays tropicaux.- Paris, Maisonneuve et Larose, 1985, 526 p.

RIVIERE R., Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical.- Paris, Ministère de la Coopération, 1979, 527 p.

SKERMAN P.J., Les légumineuses fourragères tropicales.- Rome, F.A.O., 1982, 666 p.

SOLTNER D., Alimentation des animaux domestiques; le rationnement des bovins, ovins et des porcs.- Angers, 1976, 340 p.

XANDE A., ALEXANDRE G., ed., Paturages et ruminants en zone tropicale humide. Pointe-à-Pitre, 2-6 Juin 1987.- Paris, INRA, 1989, 554 p.

XANDE A., GARCIA-TRUJILLO R., Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages tropicaux de la zone caraïbe.- Paris, INRA, 1985, 51 p.

CHAPITRE 15
LA SANTE ANIMALE

BDPA-ORSTOM-GERDAT, Mémento de l'agronome.- Paris, Ministère de la Coopération, 1980, 1604 p.

BERBIGIER P., Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale.- Paris, INRA, 1988, 237 p.

INSTITUT D'ELEVAGE ET DE MEDECINE VETERINAIRE DES PAYS TROPICAUX (IEMVT), Manuel d'hygiène du bétail et de prophylaxie des maladies contagieuses en zone tropicale.- Paris, Ministère de la Coopération, 1976, 160 p.

LARRAT R.,PAGOT J., VANDENBUSSCHE J., Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical.- Paris, Ministère de la Coopération, réed. 1988, 520 p.

PAGOT J., L'élevage en pays tropicaux.- Paris, Maisonneuve et Larose, 1985, 526 p.

PERREAU P., Maladies tropicales du bétail.- Paris, Presses Universitaires de France, 1973. 216 p.

TRONCY P.-M., ITARD J., MOREL P.-C., Précis de parasitologie vétérinaire tropicale.- Paris, Ministère de la Coopération, réed 1988.

GLOSSAIRE

BORLETTE : loterie populaire.

BOIS REPOUSSE : espèces arbustives pouvant être multipliées par macro-boutures.

BOURRIQUE : âne.

CABRIT : chèvre créole.

COCHON CREOLE ou **COCHON PLANCHE** : race locale de porc constituée à partir d'apports génétiques divers, extrêmement rustique, et qui a fait l'objet d'un abattage systématique au début des années 80 en raison de la menace d'un épidémie de peste porcine africaine. Depuis, les actions de repeuplement se sont multipliées, à partir de races plus ou moins proches de la race originelle.

CARREAU : unité de mesure des superficies foncières, représentant 1,29 hectare.

COUMBITE ou **CORVEE** : groupe de travailleurs répondant à l'invitation d'un exploitant pour réaliser une opération culturale limitée.

COUTEAU DIGO : outil à main, se présentant comme une petite serpe, et utilisé pour sarcler dans les terres caillouteuses.

DECHOUKAJ : arrachage des souches de pied de sorgho ou de céréales avant la préparation des terres.

DEVANT PORTE KAYE : jardin boisé entourant la maison d'habitation.

DJOBISTE : travailleur agricole acceptant des contrats à la tâche.

FERM : contrat de fermage court (une saison de culture), à prix fixé et payé d'avance.

FIGUE-BABANE : banane-fruit (*Musa sapientium*).

GARDIENNAGE : contrat de confiage d'un animal en échange d'une partie de la valeur ajoutée.

GOURDE : monnaie haïtienne, liée au dollar depuis 1919 au taux officiel de 5 g pour 1$.

GRATTAGE : terme créole désignant, en fait, un sarclage.

GRO NEG : individu économiquement aisé, propriétaire foncier important ou commerçant, susceptible de fournir des terres en métayage ou du crédit usuraire.

JARDIN : terme créole désignant en fait toute parcelle cultivée.

JOUK : attache et stabulation d'un animal au piquet, avec affouragement apporté; ce système est fréquemment utilisé pour relever localement la fertilité organique d'un emplacement.

JOURNEE : terme créole désignant une tranche horaire de travail agricole, de 3 à 6 heures selon les régions.

KAYE : maison d'habitation.

LAKOU : espace cloturé entourant la maison d'habitation. Peut souvent être confondu avec le jardin pré kaye, cultivé intensivement. Mais le lakou est aussi un espace social comprenant plusieurs unités élémentaires d'habitation rassemblant les membres d'une famille élargie.

LOIN KAYE : jardin éloigné de l'habitation.

MADAM SARA : ce terme désigne à la fois une espèce d'oiseau très friand du riz en maturation, et les marchandes qui assurent la commercialisation des produits agricoles entre les zones de production et les marchés de consommation.

MALANGA : *Xanthosoma sagittifolium* (macabo en Afrique, chou caraïbe dans les Antilles françaises).

MARMITE : unité de mesure de volume, fréquemment utilisée pour mesurer les récoltes ou assurer les transactions. Représente entre 2,5 et 3,5 kg de grains, selon les types de marmite et la densité des grains mesurés.

MAZUMBELLE : *Colocasia esculenta* (taro en Afrique, madère en Guadeloupe).

MORNE : terme créole désignant une petite montagne.

NORDE : vent du nord, porteur des pluies de saison fraiche sur les versants exposés à ce secteur.

PATABEF : repousse de riz après la récolte, par redémarrage du tallage.

PISTACHE : arachide de bouche.

POIS : *Phaseolus vulgaris* (haricot commun)

POIS CONGO : *Cajanus cajan* (pois d'Angole dans les Antilles françaises, ambrevade dans l'océan indien).

POIS INCONNU : *Vigna sinensis* (niébé en Afrique, vohème dans l'océan indien).

POTEK : contrat de fermage long (plusieurs saisons de culture), à prix fixé et payé d'avance.

PRE KAYE : jardin ouvert attenant au jardin devant porte kaye.

RAMPONNEAU ou **ESCOUADE** : association de travail, fonctionnant en échange mutualiste.

RESTAVEK : jeune enfant ou adolescent pris en charge par une famille en échange de travaux et services non rétribués.

RAK ou **SAVANE** : dans les zones sèches d'Haïti, à moins de 800 mm de pluviométrie, les raks sont de vastes zones non cultivées, mais utilisées pour le pâturage du bétail et la collecte de bois pour la fabrication de charbon.

SECOUAGE : opération culturale qui consiste à séparer la terre des racines des herbes sarclées pour éviter leur reprise en conditions pluvieuses.

TE CHO : appellation vernaculaire désignant des sols sableux ou peu épais, sensibles à la sécheresse.

TE DE MOUATIE ou **TE SOCIE** : terres exploitées en métayage.

TE FWET : appellation vernaculaire désignant des sols argileux en général profonds, peu sensibles à la sécheresse.

TE MINE : dans son sens le plus large, il s'agit des terres obtenues par héritage; au sens strict, représente les terres en indivision, exploitées collectivement par les héritiers.

TE SOCIE : voir tè de mouatié.

TE TIT : surface en propriété, pour laquelle l'exploitant dispose d'un titre légal en bonne et dûe forme, soit par achat, soit par héritage avec arpentage et enregistrement notarié.

ZEB SI : ensemble de graminées (ex.: *Axonopus compressus*) formant un gazon ras dans les jachères paturées.

ACHEVÉ D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DE L'IMPRIMERIE
TARDY QUERCY (S.A.)
46001 CAHORS
N° d'impression : 10124F — Dépôt légal : mars 1991
Imprimé en France