4 3 7 La récolte, le stockage et la première transformation

À partir des contributions de J.F Cruz (Cirad), P. Dimanche (Cirad), M.N. Ducamp-Collin (Cirad), G. Fliedel (Cirad), J. Joas (Cirad), J.L. Marchand (Cirad), C. Mestres (Cirad), F. Troude (Cirad)

Le système après récolte des céréales

Les grains produits par les céréales (on s'intéresse ici au maïs, mil, sorgho, riz et fonio) sont récoltés une fois (parfois deux) dans l'année, mais utilisés tout au long de l'année, essentiellement, en milieu tropical, pour l'alimentation humaine. Ils doivent donc être conservés pendant plusieurs mois ou même plusieurs années. Un grain de qualité doit être sec, propre (absence d'impuretés) et sain (absence de mycotoxines[1], d'insectes ou de résidus de pesticides).

Diverses techniques concourent à l'obtention de cette qualité, qui seule permet une conservation de longue durée.

● *Les techniques de récolte et la qualité des produits*

● La récolte

Pour les céréales, la récolte peut intervenir lorsque la maturité physiologique est atteinte, mais elle est le plus souvent postérieure à ce stade, de façon à permettre au grain de commencer à sécher (préséchage au champ). Pour récolter dans de bonnes conditions, l'humidité du grain doit être inférieure ou égale à 25 % pour le riz et le maïs, 22 % pour le sorgho.

En Afrique, la récolte reste quasi exclusivement manuelle pour les céréales sèches. Elle est parfois mécanisée pour le riz dans les périmètres irrigués, avec des moissonneuses-batteuses, propriété d'entrepreneurs privés ou de groupements de paysans. Du matériel lourd existe aussi pour le maïs ou le sorgho, mais leur prix de revient élevé en réduit l'intérêt.

Au moment de la récolte, le grain peut être sain ou déjà altéré par des insectes[2] ou des moisissures produisant parfois des mycotoxines[3].

1 Mycotoxine : toxine produite par un champignon.
2 Charançons du maïs, punaises des panicules du sorgho.
3 Aflatoxine ou fumonisine du maïs par exemple.

Le battage

Le battage (ou l'égrenage pour le maïs) est l'opération qui consiste à séparer les grains de l'organe de la plante qui les porte. Souvent précédé d'un préséchage, il est traditionnellement effectué au pilon pour le mil et le sorgho et à la main pour le maïs. Mais cette opération pénible fait de plus en plus souvent appel à des machines, actionnées manuellement ou par un moteur.

Les petites égreneuses à maïs ne peuvent être utilisées que sur des épis *épanouillés* (débarassés de leurs enveloppes externes), à la main ou à l'aide d'une *épanouilleuse*[4]. Les égreneuses manuelles, entraînées par un volant, une pédale ou un petit moteur, ont des capacités de quelques dizaines à quelques centaines de kilos/heure. Il en existe de nombreux modèles. L'égreneuse mécanique Bamby, de Bourgoin, entraînée par la prise de force d'un tracteur ou un moteur indépendant, a un débit de l'ordre de deux tonnes par heure, et assure aussi un prénettoyage des grains.

Les batteuses SISMAR et Bamba

Différents modèles de machines ont été étudiés pour le battage du mil, puis adaptés au sorgho :
– la batteuse SISMAR au Sénégal[5] qui permet d'obtenir 700 à 800 kg de mil ou une tonne de sorgho par heure ;
– la batteuse Bamba (Bourgoin), dérivée de l'égreneuse à maïs Bamby, qui a un débit de 400 à 500 kg/h de mil, et peut (en modifiant le système de battage et les grilles de nettoyage) être utilisée pour le maïs, le sorgho, le soja et le riz. Elle est donc particulièrement intéressante pour les zones de polyculture de céréales.

C'est pour le battage du riz que les modèles sont les plus nombreux. Suivant leur conception, on distingue les batteuses :

> *classiques*, avec des batteurs à doigts qui absorbent la paille et les grains et qui sont en général des modèles européens de gros gabarit (400 à 2 000 kg/h) ;

> *à paille tenue* (la paille ne passe pas dans le batteur) avec des batteurs à boucles : modèles à pédales sans contre-batteur et sans systèmes de nettoyage ; rendement de 100 à 150 kg/h avec trois personnes ; modèles asiatiques de petit gabarit (100 à 1 000 kg/h) nécessitant un alignement des panicules à la mise en meule ;

> *type Votex*, qui absorbent pailles et grains, et dont le batteur réalise un léger nettoyage (500 à 800 kg/h) ;

> *type IRRI* : rotative, à tambour, à écoulement axial.

La plupart des batteuses sont entraînées par des moteurs thermiques ou par les tracteurs. Le nettoyage est effectué soit par les batteurs soit par des machines spécifiques : nettoyeurs-séparateurs ou tarares.

Les pertes après récolte

Elles peuvent se produire au cours des différentes phases du système post-récolte : récolte, manutention, battage, séchage, stockage et transformation des produits. Le tableau 1 fournit une estimation des pertes après récolte sur le riz en Asie du Sud-Est.

4 Par exemple Tonga de Bourgoin.
5 Entraînée par un moteur de 40 CV.

On peut noter que les pertes dues au stockage sont du même ordre de grandeur que celles dues à la mauvaise manutention des grains, au battage ou à l'usinage.

Les pertes ou dégradations des grains peuvent être dues à :

> un stockage de grains insuffisamment secs ;

> un système de stockage mal ventilé ;

> une humidité de l'air trop élevée ;

> une chaleur excessive à l'intérieur de la zone de stockage, due à une mauvaise isolation ou à l'activité des grains ;

> une mauvaise protection contre les rongeurs ou les insectes ;

> un stockage de grains cassés, éraflés ou mêlés à des impuretés.

Des moyens de lutte existent, qui permettent de minimiser les pertes. Cependant, l'utilisation de l'un ou l'autre de ces moyens n'est pas toujours justifiée d'un point de vue économique et il est parfois difficile de convaincre les petits agriculteurs d'engager des dépenses pour limiter les pertes.

Tableau 1: Pertes après récolte de riz en Asie du Sud-Est[6]

Opération	Fourchette de pertes pondérales (pourcentage)
Récolte	1 – 3 %
Manutention	2 – 7 %
Battage	2 – 6 %
Séchage	1 – 5 %
Stockage	2 – 6 %
Transformation (usinage)	2 – 10 %
Total	**10 – 37 %**

● *La stabilisation et le stockage*

Parmi les céréales, certaines (riz, fonio) donnent après battage des grains *vêtus*, qui ont conservé leurs glumelles, d'autres (maïs, mil, sorgho) des grains *nus*, déjà séparés des glumelles. Ces enveloppes, lorsqu'elles sont présentes, améliorent considérablement la protection du grain. Les grains sont composés, outre les glumelles des grains vêtus (enlevés par le décortiquage) :

> *d'un péricarpe*, qui protège la graine et ralentit les échanges avec l'extérieur, qu'il faudra enlever avant la consommation par l'homme : ce sera le décorticage des grains nus, ou le blanchiment des grains *vêtus* ;

> *de l'albumen*, organe de réserve qui occupe la plus grande partie de l'intérieur du grain. C'est cet albumen, constitué surtout d'amidon et d'un peu de protéines, qui est consommé tel quel (cas du riz) ou après mouture pour le transformer en farine ou semoule ;

> *du germe*, organe de reproduction, riche en huile et en vitamines. Il est donc préférable de le conserver, mais il est nécessaire de l'éliminer (*dégermage*) pour produire des farines qui ne rancissent pas au cours de leur conservation.

6 Source : D.B. Depadua. Cité par Cruz 1986. *Le stockage des grains*. Bit, dossier technique n° 11, 121 p.

Les mécanismes de dégradation

Les grains sont des organismes vivants, des semences, qui respirent au cours du stockage. Cette activité provoque une perte de matière sèche (dans ce cas l'amidon) tout en produisant du gaz carbonique, de l'eau (sous forme de vapeur) et de la chaleur. Ce phénomène, d'autant plus intense que le grain est humide, provoque une forte élévation de température, le développement de micro-organismes tels que les moisissures et finalement la prise en masse des grains.

Pour assurer une bonne conservation des produits, il faut donc limiter au maximum cette respiration en agissant sur les principaux facteurs internes d'altération des grains, essentiellement l'humidité et la température. Un bon stockage doit aussi limiter les pertes et dégradations occasionnées par les déprédateurs tels que les insectes et les rongeurs.

L'humidité

L'humidité est le facteur de dégradation le plus important. Elle favorise la respiration des grains et accentue en conséquence le dégagement de chaleur au sein des grains stockés. Il est généralement admis que le dégagement de chaleur double pour chaque accroissement de 1,5 % d'humidité du grain et donc que la durée probable de conservation d'un stock est diminuée de moitié. Les altérations sont accentuées par le fait que les grains humides favorisent le développement des micro-organismes présents à la surface du grain.

Le tableau 2 donne, pour différents produits, la teneur en eau qui ne doit pas être dépassée en zone tropicale, pour une température du stock de 25 à 35°C, afin d'éviter les risques de développement des moisissures au cours du stockage.

Tableau 2 : Humidité maximale recommandée pour le stockage des grains en régions chaudes

Produit	Teneur en eau (pourcentage)
Maïs	13 %
Paddy	13-14 %
Riz cargo	13 %
Sorgho	12,5-13 %
Mil	15 %
Blé	13 %

Pour un stockage prolongé, portant sur plusieurs années, des humidités inférieures à celles préconisées au tableau ci-dessus doivent être retenues.

La température

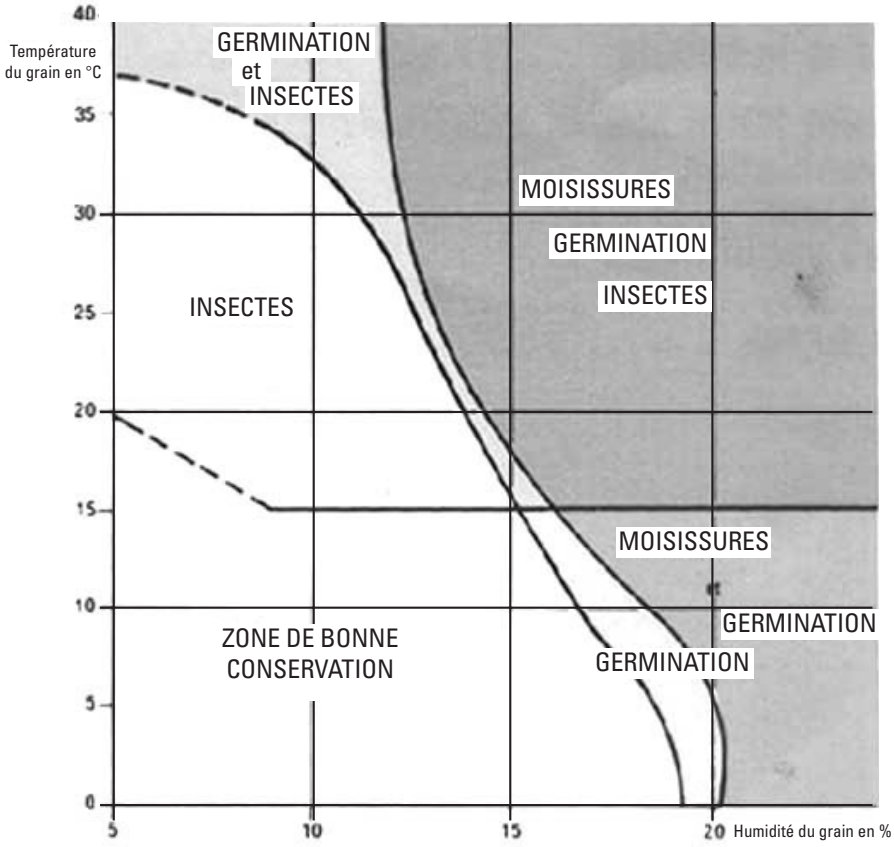
Elle joue un rôle important dans la conservation des grains car elle conditionne leur vitesse de dégradation en accélérant la vitesse des réactions chimiques et enzymatiques ainsi que la respiration. Une augmentation de température se traduit par un dégagement de chaleur au sein de la masse des grains qui double pratiquement pour chaque élévation de 5°C de la température, ceci jusqu'à environ 28°C (au-delà l'effet diminue). La durée probable de conservation d'un stock est ainsi diminuée de moitié lorsque la température des grains augmente de 5°C. Le niveau des températures atteintes est

important à considérer : le pouvoir germinatif des semences de céréales est totalement altéré si l'on dépasse environ 40°C.

La température agit aussi indirectement sur les stocks en favorisant le développement des micro-organismes et des insectes. En effet, dans les régions tropicales, les stocks sont souvent à des températures qui correspondent à leurs conditions optimales de croissance.

La température et l'humidité

Les facteurs température et humidité sont étroitement liés. Les courbes d'équilibre hygroscopique air-grain indiquent en effet que plus la température est élevée, plus l'humidité du produit doit être faible pour assurer une bonne conservation. Le diagramme de conservation des céréales établi par Burgess et Burrel (cf. figure 1) donne les différents types d'altérations possibles, en fonction de la température et de l'humidité. Ce diagramme permet de vérifier, par exemple, que du grain à une teneur en eau de 15 % et stocké à une température de 25°C va présenter des risques de développement d'insectes et de moisissures alors que s'il est stocké à cette même température, mais à une humidité de 12,5 %, il est seulement exposé aux attaques d'insectes.



➤ **Figure 1 : Le diagramme de conservation des céréales (Burgess et Burrel)**

La composition des gaz du milieu

La respiration des grains stockés dans une structure étanche appauvrit l'atmosphère interstitielle en oxygène et l'enrichit en gaz carbonique. Cette modification de la composition des gaz du milieu peut bloquer le développement des moisissures et détruire les insectes présents. Ce principe est appliqué dans les méthodes de stockage souterrain (fosses) pratiquées de manière traditionnelle. Cependant, si les grains sont emmagasinés avec une humidité excessive, des risques de fermentation apparaissent et donnent lieu à des pertes importantes qui peuvent atteindre l'ensemble du stock.

La durée du stockage

Il apparaît évident que plus la durée du stockage est longue, plus les pertes par respiration sont importantes. Les grains destinés à être conservés sur une longue période, par exemple pour un stockage de sécurité pluri-annuel, doivent donc être dans un état de siccité important et dans un environnement favorable.

La microflore des grains

La surface des grains est toujours imprégnée d'une microflore qui se compose de bactéries, de levures et de moisissures. Dans des conditions normales de stockage, ce sont uniquement les moisissures qui sont à craindre.

Les conditions d'un bon stockage doivent empêcher le développement de ces moisissures qui risquent d'altérer les propriétés organoleptiques des grains et parfois sa qualité alimentaire[7].

Les insectes

En zone tropicale, de très nombreuses espèces d'insectes, spécifiques des grains stockés ou infestant les produits au champ, sont à l'origine de sérieux dégâts. Leur multiplication est réduite par une faible humidité du grain (11 % pour le maïs par exemple). Ils ne résistent pas à une teneur en oxygène du milieu inférieure à 1 %.

Dans les stocks, les insectes et surtout les larves occasionnent des pertes quantitatives importantes en consommant l'albumen et parfois le germe des grains. Les denrées infestées sont également dépréciées par leurs déjections ou sécrétions et ils créent un milieu propice au développement des micro-organismes.

Les rongeurs

Les rongeurs occasionnent des pertes importantes dans les greniers et les magasins de stockage : pertes quantitatives en consommant les produits et pertes qualitatives en souillant les denrées par leurs déjections. Les rongeurs provoquent également des dégâts aux structures de stockage ou aux emballages (sacs). Le stockage en vrac est plus efficace que le stockage en sacs pour s'en protéger.

7 Présence de mycotoxines comme l'aflatoxine produite par *Aspergillus flavus*.

Les techniques de stabilisation

Le séchage

Il est très généralement nécessaire de sécher les grains pour les amener à une humidité permettant un bon stockage. Le séchage doit être précoce et rapide pour limiter les phénomènes de dégradation des grains par respiration et le développement des moisissures et des insectes.

Traditionnellement, on laisse sécher les céréales sur pied, parfois plusieurs semaines après maturité. Cette méthode présente toutefois de gros risques et des inconvénients sérieux de pertes par égrenage naturel, par attaque de ravageurs ou par infestation : insectes, moisissures, etc.

Après la récolte, on continue le séchage au champ, souvent en meules ou près de l'habitation, en tas sur une surface propre généralement sans protection insecticide.

L'amélioration des méthodes traditionnelles de séchage s'est orientée vers une meilleure utilisation du rayonnement solaire et des vents dominants. On améliore la vitesse et la qualité du séchage tout en réduisant les attaques de déprédateurs. On peut citer :

> *les claies de séchage* surélevées où les épis sont disposés en bottes croisées pour faciliter la circulation de l'air ;

> *les cribs-séchoirs* ui servent en même temps de structure de stockage des épis ;

> *les séchoirs solaires*, réduisant la durée de séchage de moitié[8].

Cette phase de préséchage est normalement suivie du battage (ou de l'égrenage pour le maïs), et, si nécessaire, d'un séchage plus poussé avant le stockage.

Souvent, le battage n'est fait qu'au fur et à mesure des besoins ménagers. Séchage et stockage sont alors confondus. C'est le cas, en particulier, du maïs, stocké en grappes d'épis non déspathés suspendues sous les arbres en régions sèches ou en greniers aérés en régions plus humides (dans ce cas une protection insecticide est toujours recommandable).

Le séchage des grains proprement dit peut se faire en les exposant à l'air (au soleil ou à l'ombre). On répand les grains en couches minces sur une aire de séchage, en les remuant fréquemment pour obtenir un séchage uniforme, et en les protégeant la nuit pour éviter une réhumidification. Cette technique n'est pas applicable en région humide ou pendant la saison des pluies.

L'introduction des variétés à rendement élevé et la mécanisation progressive de l'agriculture permettent désormais de récolter en peu de temps de grosses quantités de grains à forte teneur en eau. De plus, dans les zones tropicales humides il est souvent difficile de sauvegarder la qualité des produits. Il devient donc nécessaire de faire sécher les produits dans des délais relativement brefs, quelles que soient les conditions ambiantes. On doit alors recourir au séchage artificiel en soumettant les grains à une ventilation forcée d'air plus ou moins chauffé dans des séchoirs.

8 Ils se justifient rarement dans le contexte économique actuel.

Les séchoirs

Un séchoir comprend :
– le corps du séchoir, qui contient les grains à sécher ;
– le générateur d'air chaud, qui permet de réchauffer l'air de séchage ;
– le ventilateur, qui permet la circulation de l'air dans la masse de grains.

Il existe deux types de séchoirs :
– les séchoirs statiques ou discontinus qui sont peu coûteux mais ne peuvent traiter que des quantités des grains réduites. Ils sont donc adaptés aux besoins de petits et moyens centres de collecte ;
– les séchoirs continus à grand débit qui nécessitent des infrastructures plus complexes, un équipement complémentaire et surtout une planification et une organisation particulière. Ils sont donc destinés à de gros centres, silos ou magasins, où l'on traite de très grandes quantités de produits.

Ce séchage artificiel est efficace, mais coûteux. On a donc cherché à développer des séchoirs solaires dès les années 70. Mais des coûts de fabrication élevés, une faible durée de vie et une efficacité limitée ne permettent guère de les recommander.

Le stockage

Le stockage individuel

Les caractéristiques du stockage individuel sont les suivantes :

> bien que représentant la forme essentielle du stockage dans les pays en développement, il intéresse généralement des quantités unitaires faibles de l'ordre de une à deux tonnes ;

> les grains sont principalement destinés à l'autoconsommation. Cependant, une part des stocks est réservée à la semence et parfois à la vente ;

> les stocks, dont une partie est prélevée chaque jour pour la consommation immédiate, sont généralement conservés une année pour couvrir les besoins familiaux jusqu'à la récolte suivante. Le stockage à long terme (pluriannuel) est plus rare ;

> les récoltes ont généralement subi un séchage sur pied, au champ et ont pu subir des attaques (insectes, rongeurs, oiseaux) ;

> les produits sont parfois stockés en épis, notamment durant les premiers mois du stockage et sont souvent propres du fait d'un triage manuel effectué par le paysan avant l'emmagasinage.

Les structures traditionnelles de stockage varient selon les pays et selon les zones climatiques. Toutefois, toutes sont construites avec des matériaux disponibles localement qui sont essentiellement la terre, la pierre, les fibres végétales et le bois.

Les greniers fermés

Les greniers en banco des zones sahéliennes de l'Afrique représentent un exemple typique de grenier fermé. De section circulaire ou carrée, ces greniers sont construits en terre plus ou moins armée de fibres végétales. La base de l'édifice, parfois constituée de rondins de bois, repose sur des pierres pour éviter les remontées d'humidité. Le toit de chaume protège l'ouverture de remplissage (et de vidange) située dans sa partie supérieure. Ces structures fermées sont adaptées aux zones sèches où les grains sont, dès la récolte, dans un état de siccité important, donc stables vis-à-vis du développement des micro-organismes.

Les greniers aérés

Ils constituent la structure de stockage typique des zones humides où les produits, malgré un préséchage au champ, n'atteignent pas au moment de la récolte le taux d'humidité de sauvegarde. Ils sont généralement constitués de fibres végétales[9] tressées et réunies en une sorte de grand panier posé sur une plate-forme en bois soutenue par une ensemble de petits piliers (rondins de bois par exemple). L'ensemble est recouvert d'un toit de chaume. Leur paroi non étanche permet la libre circulation de l'air et donc la finition du séchage au cours des premiers mois de stockage.

Certains greniers n'ont pas de parois. Ils sont simplement constitués d'un empilement d'épis sur une plate-forme surélevée. Le tout est parfois recouvert d'un toit de chaume. C'est le cas par exemple des ébliva togolais pour le stockage du maïs.

Les greniers aérés traditionnels ne présentent pas, en général, de protection contre les rongeurs ni contre les insectes et le risque de développement des moisissures subsiste. Ils doivent être considérés comme des structures de séchage ou de finition de séchage plutôt que comme des structures de stockage proprement dit.

Ces méthodes traditionnelles peuvent être améliorées, mais les améliorations ne sont acceptées par les paysans que si elles donnent des résultats probants à peu de frais.

Concernant les greniers fermés, l'effort doit surtout porter sur leur bon entretien, notamment par un lutage de toutes les fissures de fond et de parois, par des réfections de toiture et par des nettoyages rigoureux des greniers et de leurs abords.

La lutte contre les insectes

Dans tous les cas, l'amélioration du stockage villageois passe par la lutte contre les insectes, responsables de pertes importantes (cf. le chapitre 436). À côté des nombreuses techniques traditionnelles[10], l'emploi d'insecticides reste, à l'heure actuelle, le moyen le plus efficace.

On distingue deux types de traitements insecticides :

> le traitement par fumigation, utilisé pour détruire rapidement les insectes déjà dans les grains, quel que soit leur stade de développement, l'insecticide, sous forme de gaz, pénétrant dans le grain. Mais la fumigation nécessite des précautions d'emploi draconiennes (ces gaz sont très toxiques pour l'homme) ; elle ne peut être mise en œuvre que par des équipes spécialisées. Elle est donc rarement employée pour un stockage individuel.

> le traitement par les insecticides de contact reste donc le seul type de traitement chimique à la portée des producteurs. Les produits organochlorés, très toxiques pour l'homme et pour lesquels les insectes ont développé des résistances, sont proscrits depuis de nombreuses années.

9 Chaume de céréales, feuilles de palmier.

10 Exposition au soleil, fumigation, addition de matières inertes solides, addition d'huile, utilisation de plantes répulsives...

Les insecticides de contact les plus utilisés

À l'heure actuelle ce sont les organophosphorés (malathion, bromophos, dichlorvos). Des cas de résistance au malathion et au bromophos ont déjà été signalés. C'est pourquoi l'utilisation d'insecticides plus récents et plus performants, tels que le pirimiphos-méthyl et le chlorpyriphos-methyl est de plus en plus fréquente. La persistance d'action du pirimiphos-méthyl (connu dans le commerce sous le nom d'Actellic) est estimée à plus de six mois. La généralisation de son utilisation risque toutefois de faire apparaître des groupes d'insectes résistants. Des mélanges de plusieurs substances (organophosphorés + pyréthrenoïdes de synthèse) sont également d'un emploi de plus en plus fréquent. Des travaux sont en cours pour répertorier et évaluer l'efficacité de nombreuses substances végétales. Le pouvoir insecticide du pyrèthre ou du neem sont bien connus, mais de nombreuses autres plantes ou associations de plantes restent à évaluer pour proposer des produits efficaces et moins polluants.

Au niveau villageois, le poudrage reste le type de traitement des stocks le plus répandu. Il est souvent réalisé à la main par saupoudrage du stock en place, par mélange manuel dans de petits récipients, ou par pelletage du tas de grains.

L'utilisation d'un fût métallique monté sur un axe excentré, qui permet de bien mélanger la poudre à une petite quantité de grain peut être efficacement utilisé pour le traitement des semences.

Pour les grains ou les épis conservés dans les silos villageois, la méthode de poudrage utilisée est celle du *traitement en sandwich*.

La lutte contre les rongeurs est importante et doit d'abord être préventive. Il faut placer des *écrans* infranchissables entre les rongeurs et les stocks (par exemple, barrières anti-rats et fermeture hermétique des locaux) et surtout observer une hygiène rigoureuse dans les entrepôts.

Une lutte chimique bien menée donne souvent de bons résultats et permet d'améliorer de manière sensible le stockage des produits au niveau villageois. Cependant, le premier type d'action dans la lutte contre les déprédateurs de stocks (insectes, rongeurs) consiste simplement à observer de bonnes mesures d'hygiène préventive, y compris un nettoyage soigneux des greniers et de leurs abords, l'élimination des déchets, la réfection des constructions défectueuses et le nettoyage des produits à stocker.

De nouvelles structures de stockage ont été proposées :

> silo cylindrique en béton et parpaings, silo en briques nues qui ont été fort peu adoptés ;

> l'utilisation de fûts métalliques a connu un certain succès, limité par la difficulté de n'y stocker que des grains très secs et par leur faible capacité[11] ;

> la fabrication locale des petits silos métalliques connaît un franc succès dans certains pays d'Amérique centrale (Nicaragua) et est en cours d'introduction en Afrique de l'Ouest ;

11 Pour plus de détails, on se référera à l'ouvrage *Conservation des grains en régions chaudes*.

> de nouvelles approches, basées sur une meilleure connaissance des technologies traditionnelles et du contexte socio-économique et sur des échanges locaux d'expériences, ont permis d'introduire avec succès des améliorations aux structures existantes : supports en béton remplaçant les piliers en bois, emploi du bambou dans certaines régions, etc. Cette approche doit être développée pour trouver des solutions au problème croissant de pénurie de matériaux locaux dans de nombreuses régions ;

> les cribs, qui permettent un séchage lent du produit, sont intéressants dans les zones humides où les produits, qui ont un taux d'humidité élevé à la récolte, ne peuvent être stockés en structures fermées.

Les cribs

L'efficacité du crib comme structure de séchage dépend d'abord de sa largeur : dans les zones très humides où le maïs est récolté à 30-35 % d'humidité, la largeur ne doit pas dépasser 60 cm. Dans un m^3 de crib, on peut stocker environ 500 kg d'épis, soit l'équivalent de 300 kg de grains secs.

Pour construire le crib, on utilisera au maximum les matériaux disponibles localement. L'ossature de la structure peut être en bambous ou rondins de bois. Les parois, généralement en grillage dans les cribs modernes, peuvent parfaitement être réalisées en raphia, bambou fendu ou baguettes de bois.

Dans un crib, du maïs (en épis déspathés) récolté en première saison des pluies à 30 ou 35 % d'humidité, peut être séché jusqu'à 15 % en moins de trois mois pendant la seconde saison des pluies. L'humidité du maïs de seconde saison peut aussi être abaissée de 25 à 15 % en 10 jours.

Le stockage communautaire

Lorsque les quantités produites augmentent, essentiellement pour la vente, les techniques traditionnelles ou améliorées de stockage ne suffisent plus, et le coût des installations de stockage dépasse vite les capacités financières de producteurs indépendants. Le stockage communautaire devient nécessaire.

Etant donné l'importance des quantités stockées (plusieurs centaines de tonnes), il est alors possible de justifier des investissements importants dans des structures de stockage permettant un meilleur contrôle des stocks et un traitement des grains beaucoup plus efficace que ceux envisageables dans le cadre d'un stockage individuel[12].

● *La première transformation des céréales*[13]

Les grains, stockés ou non, doivent être transformés pour être consommés. Plusieurs opérations successives sont nécessaires : le nettoyage, le décorticage, le broyage ou la mouture.

Ces opérations sont différentes selon que l'on s'intéresse au riz[14] ou aux mil, maïs et sorgho[15]. Le fonio, lui aussi à grain vêtu, s'usine comme le riz[16] et se consomme en grains entiers.

---

12 Les techniques à mettre en œuvre, que ce soit pour un stockage en sacs ou en vrac, dépassent le cadre de cet ouvrage. On se référera à l'ouvrage *Conservation des grains en régions chaudes*.

13 Ce chapitre doit beaucoup à « *La transformation des produits agricole tropicaux* » de J. F. Cruz, 1995, Cirad, 49 p.

14 Grain vêtu, consommé entier après usinage.

15 Grains nus, consommés sous formes diverses à base de farines ou semoules.

16 La mécanisation de ces opérations est en cours de mise au point.

Le nettoyage

Cette opération a pour but d'éliminer les corps étrangers mélangés aux grains. C'est une opération indispensable pour obtenir un produit fini de qualité, mais trop souvent négligée. Traditionnellement, on utilise le vannage, qui consiste à lancer les grains en l'air. Le vent emporte les impuretés légères, mais pas les impuretés lourdes, ce qui oblige à compléter le vannage par un tri et un lavage.

La mécanisation est possible à différentes échelles :

> *les tarares* (de débit inférieur ou égal à une tonne/heure), mus à la main ou par un moteur, sont des machines simples : une trémie de réception, un ventilateur et un jeu de tamis de dimensions appropriées au grain à nettoyer ;

> *les prénettoyeurs et les nettoyeurs séparateurs* : leur coût et leur débit (de cinq à vingt tonnes/heure) les réservent aux centres de stockage.

Le décorticage

Pour les grains nus (mil, sorgho, maïs), le décorticage consiste à éliminer le péricarpe et la testa (mil et sorgho), couche riche en composés phénoliques antinutritionnels, et le germe (maïs) riche en huile et responsable du rancissement des farines au cours du stockage.

Pour les grains vêtus (riz et fonio), le décorticage comprend le décorticage proprement dit, qui transforme le riz paddy (revêtu de ses glumelles) en riz cargo débarrassé de ces enveloppes, et le blanchiment, qui élimine les téguments et le germe et donne le riz blanchi, prêt à être consommé.

Le décorticage des mils et sorghos

Les mils et les sorghos sont consommés sous forme de bouillies, pâtes, couscous ou galettes traditionnelles réalisées à base de farines ou semoules plus ou moins grossières, obtenues après décorticage et mouture des grains.

Le décorticage traditionnel consiste à piler le grain préalablement nettoyé et réhumidifié (5 % d'eau) pour rendre plus souples les téguments et faciliter le dépelliculage.

Le décorticage mécanique peut se faire par friction de grains réhumidifiés ou par abrasion des grains contre une surface rugueuse.

Le décorticage du maïs

Dans le cas du maïs, le décorticage a pour but d'enlever le péricarpe mais surtout d'ôter le germe pour éviter que l'oxydation des lipides qu'il contient n'altère les qualités organoleptiques des produits finaux (farine, bière...). Ce dégermage représente, encore aujourd'hui, un problème dans de nombreux pays africains.

Le travail traditionnel de décorticage du maïs est plus long et souvent plus pénible que celui du mil ou du sorgho. Le dégermage est cependant rarement effectué car la farine produite est souvent consommée immédiatement. Elle a d'ailleurs ainsi une plus grande valeur nutritive.

Le développement actuel de la culture du maïs conduit à prévoir d'autres débouchés que l'autoconsommation. La commercialisation et le stockage des farines pendant plusieurs semaines ou encore la fabrication de grits de brasserie nécessitent alors un dégermage systématique.

Cette opération, bien réalisée et maîtrisée au niveau industriel, reste un problème au niveau artisanal ou semi-industriel. Le décortiqueur Engelberg est parfois utilisé par certains meuniers, mais les pertes au décorticage sont alors relativement élevées (15 % à 20 %) du fait des brisures. Le décortiqueur PRL à disques résinoïdes n'effectue qu'un dégermage partiel du produit. Un dégermeur à maïs brésilien (*Maquina d'Andréa*) est également commercialisé. Le rotor est équipé de couteaux qui assure la décorticage et le dégermage des grains. Le CIRAD a testé un modèle fonctionnant en discontinu qui a donné des résultats satisfaisants tant en terme de débit (supérieur à 100 kg/h) qu'en qualité du dégermage. Cette machine pourrait être adaptée aux besoins des transformateurs africains.

Les décortiqueurs

Plusieurs décortiqueurs peuvent être utilisés parmi lesquels :

– le décortiqueur Engelberg, initialement conçu pour l'usinage du riz, qui est parfois utilisé pour le décorticage des autres céréales mais nécessite habituellement une réhumidification des grains qui conduit à l'obtention d'une farine instable car humide ;

– le décortiqueur COMIA/FAO, qui élimine les téguments par frottement. Son débit est de 200 à 300 kg/h. L'usure prématurée de certaines pièces (battes en caoutchouc) n'a pas permis à cette machine de connaître un réel développement ;

– le décortiqueur PRL (CRDI - Canada). Les premiers matériels de ce type permettaient de transformer plusieurs centaines de kg/heure et étaient surtout destinés aux unités artisanales produisant des farines ou semoules. Pour permettre un travail à façon des unités de transformation, une version réduite appelée mini PRL a été conçue. La machine fonctionne en discontinu à partir de 10 kg de produit. Pour alléger l'appareil, les meules ont été remplacées par des disques en résinoïde. Ce matériel est utilisé pour les mils et sorghos mais également pour le maïs. Il en existe diverses fabrications locales notamment au Sénégal et en Gambie. Son principal défaut reste son fonctionnement en discontinu qui ne permet pas de vérifier la qualité du décorticage en cours de travail ;

– le décortiqueur CIRAD : le décorticage s'effectue par abrasion. Le fonctionnement en continu de l'appareil permet, en intervenant sur la trappe de sortie, de contrôler en permanence le niveau de décorticage des grains. Le débit de la machine peut varier de 50 kg/h à 100 kg/h et est adapté aux besoins des villageois ou des artisans transformateurs urbains. Ce matériel est aujourd'hui commercialisé par la société française Electra.

L'usinage du riz

L'usinage du riz consiste à transformer le riz paddy en riz blanc : 100 kg de paddy donnent 70 kg de riz blanchi (entier + brisures), 20 kg de balles, 8 kg de sons et farines, 2 kg de germes.

Dans les pays tropicaux, deux techniques extrêmes ont longtemps coexisté : le pilonnage manuel familial et, à l'opposé, l'usinage industriel, souvent monopole d'Etat. Le décorticage artisanal, longtemps marginalisé, tend aujourd'hui à se développer dans de nombreux pays avec les politiques de libéralisation. On assiste aussi à l'émergence de techniques semi-industrielles avec le développement de *minirizeries*.

Le décorticage traditionnel est effectué au pilon et mortier. Il s'agit plus d'un décorticage que d'un usinage car le blanchiment est peu poussé. Cette pratique quotidienne laborieuse est encore très répandue en milieu villageois pour la transformation des grains destinés à l'autoconsommation.

L'usinage artisanal

La *décortiquerie* correspond au premier stade de mécanisation de la transformation. C'est l'unité la plus simple où l'usinage du paddy s'effectue en un passage au travers d'une seule machine : le décortiqueur de type *Engelberg*. Le décorticage-blanchiment du riz est obtenu par friction des grains entre eux et par frottement sur la grille de fond. Les performances techniques de la machine sont généralement médiocres (rendement à l'usinage de 60 % seulement) et les actions de choc (pièces métalliques) exercées sur le riz conduisent à un taux de brisures souvent très élevé (50 %), qui diminue fortement la valeur commerciale du produit. L'étuvage préalable du paddy permet d'améliorer les performances de la machine.

Dans la décortiquerie améliorée, les opérations de décorticage et de blanchiment sont séparées et effectuées dans deux machines différentes : un décortiqueur à rouleaux et un décortiqueur Engelberg utilisé comme blanchisseur. Cette séparation des opérations permet d'améliorer les performances de l'unité, avec un rendement d'usinage proche de 65 % et un taux de brisures légèrement réduit (40 % environ).

L'usinage semi-industriel (minirizeries)

C'est un niveau de transformation relativement récent qui vise à atteindre des performances équivalentes à celles observées en rizerie industrielle mais avec une complexité nettement moindre. Par rapport à la *décortiquerie*, la minirizerie comporte toujours un matériel de nettoyage du grain avant décorticage. Le débit horaire est de 500 à 800 kg/heure mais l'insertion de nouvelles machines en parallèle permet d'atteindre des débits voisins d'une tonne et demi par heure.

L'unité d'usinage comprend :

> un décorticage par rouleaux caoutchouc ;

> une séparation des balles par ventilation (aspiration) ;

> un blanchiment par friction ou abrasion.

Cette succession d'opérations est réalisée par une seule machine, dans le cas des unités compactes, ou par des modules séparés : décortiqueur d'une part et blanchisseur d'autre part avec, souvent, insertion d'une table densimétrique.

Ces unités permettent un rendement d'usinage proche de 70 %, un taux de brisures réduit et une récupération séparée des sous produits (son pour l'alimentation du bétail). Elles présentent un fort potentiel de développement.

Le broyage et la mouture

Le broyage, qui donne des semoules, ou la mouture, qui donne des farines, sont traditionnellement réalisés au mortier après décorticage et vannage/lavage des grains. C'est une opération longue et fastidieuse, mais elle peut être mécanisée. De nombreux matériels sont aujourd'hui disponibles.

Les broyeurs à main sont de petits moulins disposant de meules verticales striées en fonte aciérée ou en acier[17]. De nombreuses fabrications locales existent en Afrique mais elles ne sont pas toujours de très bonne qualité.

17 Exemple : Champenois.

Les matériels motorisés

Ils sont de deux types :

> *les moulins à meules*, déjà anciens, qui ont connu un certain développement en Afrique. Ils sont constitués de deux meules (métalliques ou émeri silex) horizontales ou verticales dont l'écartement réglable permet l'obtention de farines plus ou moins fines. Les moulins à meules peuvent broyer des produits humides pouvant atteindre plus de moitié d'eau[18]. Ils sont aujourd'hui très répandus dans certains pays (Bénin, Burkina Faso, Mali...) où ils sont très appréciés pour leur polyvalence. Leur débit est de 100 à 200 kg/h. Ces appareils restent cependant relativement coûteux et les meules en aggloméré ont tendance à se déliter. Les meules en corindon vitrifié résistent mieux aux variations de température et d'humidité. Par ailleurs, le nettoyage soigneux de ces machines nécessite un démontage quasi-complet.

> *les broyeurs à marteaux*, plus récents que les moulins à meules, nécessitent obligatoirement un entraînement motorisé. Ils sont de conception simple, polyvalents, robustes, et d'un entretien très facile mais ils sont exigeants en énergie. Les grains ne sont pas écrasés mais éclatés par choc avec les marteaux articulés tournant à grande vitesse (3 000 tr/mn) dans une chambre de broyage. Ils ne sont utilisables que sur produits secs et non gras.

La finesse des farines est fonction de la finesse des perforations de la grille entourant la chambre de broyage. Les grilles les plus courantes ont des perforations de 0,7 mm à 1,5 mm (maxi 5 mm). Plus ce diamètre est petit et plus la farine sera fine mais plus le débit du moulin sera faible.

Les broyeurs à marteaux sont très répandus dans certains pays (il y en aurait au Sénégal plus de 6 000). Leur simplicité de conception rend possible la fabrication locale par des petites entreprises ou des artisans.

LE SYSTÈME APRÈS RÉCOLTE DES GRAINES LÉGUMINEUSES ET OLÉOPROTÉAGINEUSES

Les principales plantes à graines oléagineuses et protéagineuses traditionnellement cultivées en Afrique sont l'arachide, le sésame, le pois du Cap, le niébé et le voandzou. Le ricin et le soja, d'introduction récente, sont également produits en petites quantités. Ces plantes donnent des graines à forte teneur en huile ou en protéines. Certaines d'entre-elles sont utilisées en complément d'une alimentation en glucides telles que les céréales ou les racines et tubercules.

Tableau 3. Teneur en huile et en protéines des principales plantes oléagineuses

	Teneur en huile en % (1)	Teneur en protéines en % (1)
Arachide	50	25
Ricin	49	-
Soja	21	38
Sésame	49	18
Pois du Cap	2	18
Niébé	2	22
Voandzou	8	25

(1) base graine décortiquée

18 Moulins de Nixtamal au Mexique.

Malgré une bonne aptitude à la conservation, les pertes à la récolte et au stockage peuvent être très importantes. Elles sont dues essentiellement à des facteurs exogènes (insectes, moisissures).

Avec l'application d'un minimum de mesures préventives dès la récolte (séchage rapide et prévention contre les insectes) et lors de la conservation (protection insecticide), leur aptitude au stockage est correcte puisqu'elle permet de garder des graines jusqu'à la récolte de l'année suivante.

L'arachide et le voandzou (pois de terre)

Ils se distinguent des autres légumineuses par leur fructification souterraine. Deux contraintes majeures sont liées à cette spécificité : l'attaque des gousses par les parasites du sol (iules, termites, etc.) et le risque de restes en terre importants en cas sécheresse du sol en fin de cycle. En revanche, les graines d'arachide et de voandzou sont protégées par une coque ligneuse indéhiscente qui permet d'assurer leur bonne conservation pendant une période de plusieurs mois.

● *Les techniques de récolte et la qualité des produits*

Pour ces cultures, la récolte intervient dès que la maturité physiologique est atteinte. Il est vivement conseillé de ne pas dépasser ce stade afin d'éviter une perte importante de récolte[19] et une baisse de la qualité sanitaire, du fait d'un parasitisme précoce. De même, une récolte trop hâtive se traduit par une faible teneur en huile[20], une baisse de la teneur en protéines et des qualités organoleptiques. De plus, l'immaturité des récoltes rend les opérations de décorticage/dépelliculage difficiles en raison du taux élevé de graines ridées et fripées.

Il est donc nécessaire de bien connaître les signes de maturité des fructifications et de les contrôler régulièrement avant la fin du cycle théorique de la plante[21].

Pour l'arachide et le sésame, il ne faut surtout pas attendre que tous les fruits présentent des signes de totale maturité :

> l'arachide est arrachée dès que 70-80 % des gousses sont mûres de façon à minimiser les restes en terre ou les regerminations ;

> le sésame est fauché dès que les capsules basales, déhiscentes, commencent à s'ouvrir, de manière à ce que les graines ne se répandent pas sur le sol.

Qu'elle soit manuelle ou mécanique, la récolte doit être réalisée le plus rapidement possible, en prenant soin d'écarter systématiquement les pieds desséchés, défoliés ou parasités. Cette séparation qualitative immédiate conditionne très fortement la qualité physique et sanitaire moyenne de la récolte, ainsi que sa conservation ultérieure. La rapidité avec laquelle sont conduites les actions de séchage, battage/égoussage/décorticage, est un facteur primordial de limitation du parasitisme, auquel les graines légumineuses sont particulièrement sensibles.

19 Restes en terre pour l'arachide, dispersion des graines sur le sol pour le sésame.

20 1 % de gain par jour durant les dix derniers jours du cycle de l'arachide.

21 Coloration marbrée brunâtre du parenchyme intérieur des gousses d'arachide, coloration brun clair des gousses de niébé et de soja, coloration brun clair des capsules inférieures de sésame.

La stabilisation et le stockage

Les mécanismes de dégradation

Les graines protéagineuses sèches ont une activité métabolique réduite et se conservent parfaitement sur une longue durée. En revanche, les graines à teneur en huile élevée ont une assez forte activité métabolique en climat intertropical chaud et humide, et ce d'autant plus qu'elles sont stockées dans un milieu aérobie. Des processus endogènes d'oxydation provoquent une dégradation des acides gras (rancissement) et une augmentation de l'acidité, entraînant simultanément une dégradation des qualités physiologiques (baisse du pouvoir germinatif des graines conservées pour la semence), organoleptiques et culinaires. Seuls des procédés industriels huiliers mettant en œuvre des techniques de neutralisation, désodorisation et décoloration permettent d'utiliser des graines oléagineuses altérées.

Les techniques de stabilisation

Le séchage

Le séchage des graines sera d'autant plus rapide que la récolte interviendra en début de saison sèche. Il sera, en revanche, beaucoup plus lent et difficile au cours de la petite saison sèche en zone intertropicale à deux saisons des pluies ou si la culture a été conduite en irrigation totale. Lorsque la biomasse est importante (cas de l'arachide), il est conseillé de ne pas procéder au regroupement en meules tant que l'humidité des récoltes reste supérieure à 10 %, afin d'éviter le développement de moisissures susceptibles de produire des mycotoxines. La séparation manuelle des gousses dès l'arrachage (égoussage en vert) représente une technique permettant d'accélérer le séchage.

Pour les graines protéagineuses, le séchage naturel s'opère rapidement et les méthodes de séchage en couche mince sous film plastique au soleil, conseillées pour certaines espèces (niébé), ont essentiellement pour but d'assurer une destruction préalable des insectes afin de faciliter la conservation. Il est par ailleurs recommandé de regrouper les récoltes de certaines espèces à fructification fragile (sésame, niébé, soja) sur des aires propres (bâches, claies, etc.) en fin de séchage, de façon à éviter des pertes en graines importantes et leur pollution par du sable ou de la terre.

Le stockage

Pour l'arachide et le voandzou, dont les graines sont protégées par une coque relativement solide, on privilégie le stockage en gousses. Cette dernière constitue la meilleure protection contre les mécanismes endogènes de dégradation métabolique.

En revanche, les modes et conditions essentiels de réussite du stockage des graines décortiquées se résument à :

> une propreté physique des grains ;

> une humidité stabilisée ;

> une désinsectisation préalable ;

> une rapidité de mise en stock ;

> une conservation en milieu confiné ou anaérobie (silos étanches, fûts, etc.).

Pour les stocks importants destinés à la transformation industrielle, la qualité des graines dépend pour l'essentiel de la précocité de la collecte et de l'efficacité des fumigations insecticides préventives réalisées. La Phosphine, qui reste maintenant le seul fumigant autorisé, présente l'inconvénient majeur de produire un dégagement gazeux (PH_3) très lent lorsque l'air ambiant est trop sec. Il est donc vivement recommandé de procéder à une humidification (coupelles d'eau, chiffons mouillés) sous la bâche de traitement, particulièrement en zone soudano-sahélienne où l'air est très sec et d'augmenter la durée du traitement. La fumigation n'ayant aucune rémanence, il est conseillé d'en opérer une après chaque rupture de charge des stocks.

La première transformation

Le producteur vend l'essentiel de sa récolte sous forme de graines sèches (décortiquées ou non). La vente en frais se limite à de faibles quantités d'arachide et de niébé en gousses primeurs. De ce fait la première transformation se limite au battage et au nettoyage des grains. Accessoirement, et selon le marché visé, l'agriculteur décortique l'arachide à la main ou à l'aide d'une machine manuelle. S'il produit artisanalement de l'huile, c'est essentiellement pour l'autoconsommation. La vente des surplus ne dépasse pas le cadre du village.

Ces graines (à l'exclusion du ricin), qui sont utilisées sous différentes formes (graines, farine, pâte) dans l'alimentation des populations, sont en majorité transformées par la ménagère.

L'approvisionnement des marchés importants (locaux ou d'exportation) est, en général, assuré par des transformateurs spécialisés (groupements de femmes, artisans, industriels) disposant d'équipements dont la nature et la taille sont fonction du volume traité et des exigences de qualité imposées par les acheteurs.

Il existe une très large gamme de matériels de récolte et de battage (de l'égousseuse manuelle à la batteuse autotractée) et de transformation (du décortiqueur manuel aux décortiqueurs industriels ou de la presse manuelle à l'huilerie industrielle). Signalons également que les matériels de capacité intermédiaire, adaptés aux petites entreprises, existent très souvent à la fois en version technologique simple (huileries indiennes) et sophistiquée (mini-huileries européennes).

Le système après récolte des racines et tubercules

Les principales plantes à racines et tubercules cultivées en Afrique sont le manioc, la pomme de terre, la patate douce, l'igname, le taro et le macabo. Elles ont en commun de produire des racines, des cormes ou des tubercules qui stockent de l'amidon.

Au contraire des céréales, les plantes à racines et tubercules donnent des produits facilement périssables, essentiellement à cause de leur forte teneur en eau (50 à 80 %). Ce sont des produits volumineux, pesant souvent plusieurs kilos, composés de tissus tendres et vulnérables. Les pertes au stockage peuvent être très importantes. Elles sont dues à des facteurs endogènes (respiration, transpiration, germination) et à des facteurs exogènes (moisissures, bactéries, insectes, nématodes).

En conséquence, leur aptitude naturelle au stockage est relativement limitée (de quelques jours à quelques mois, avec des variations importantes entre espèces et

variétés). Ceci conduit pour les conserver à les transformer en produits secs plutôt qu'à les stocker sous forme de produits frais.

Au-delà de ces similitudes, les plantes à racines et tubercules présentent des différences marquées. Qu'y a-t-il de commun entre l'igname ou la pomme de terre qui peuvent, grâce au phénomène de dormance, se conserver plusieurs mois, et le manioc, dont les racines doivent être transformées dans les deux jours qui suivent la récolte ? Ou entre le taro et la patate douce, qui peuvent être cultivés, donc récoltés, tout au long de l'année si les conditions climatiques sont favorables, ce qui limite les besoins de stockage, et l'igname, dont la photosensibilité ne le permet pas, et qui doit donc être stockée ?

On distinguera donc, en fonction de l'aptitude au stockage :

> les plantes qui ne supportent pas ou très peu le stockage en frais, comme le manioc ;

> les plantes qui supportent un stockage en frais de faible durée (quelques semaines) comme le taro et la patate douce ;

> les plantes qui supportent un stockage en frais de plus longue durée (quelques mois). C'est le cas de l'igname et de la pomme de terre, tant que dure la dormance.

On distinguera aussi les plantes généralement consommées en frais (taro, patate douce, pomme de terre, igname), même si elles sont parfois transformées, des plantes essentiellement transformées car elles ne se stockent pas en frais. C'est le cas du manioc.

● *Les techniques de récolte et la qualité des produits*

Chez de nombreuses plantes cultivées, la récolte a lieu au moment de (ou peu après) la maturité physiologique, c'est-à-dire lorsque le déplacement des produits de la photosynthèse vers les organes de réserve est achevé.

Pour les plantes à racines et tubercules, la récolte peut intervenir largement avant la maturité physiologique (cas des ignames à deux récoltes par exemple) ou bien après qu'elle ait été atteinte (variétés de manioc amer, qui peuvent rester plusieurs mois dans le sol). C'est d'ailleurs la seule façon de conserver ces variétés avant transformation, même si le poids de racines et la teneur en amidon diminuent peu à peu et si les racines finissent par se lignifier, rendant leur utilisation plus difficile.

Quel que soit le stade de récolte envisagé, le soin mis à la récolte comme aux manipulations après récolte est primordial. En effet, toute blessure est une porte d'entrée pour les champignons et les bactéries, qui engendrent des pertes importantes au stockage. Ce risque d'endommager les tubercules est un frein sérieux à la mécanisation de la récolte qui reste, dans la plupart des cas, manuelle. Il est cependant très difficile de ne pas blesser les tubercules au cours de la récolte ou du transport.

Le *curing*

Le *curing* est recommandé pour cicatriser les blessures. Cette opération consiste à soumettre les tubercules à des températures élevées (30 à 40°C) en atmosphère humide (85 à 90 % d'humidité relative) pendant trois à sept jours. Elle peut être pratiquée sur plusieurs espèces d'igname, la pomme de terre, le taro, le macabo et la patate douce.

Enfin, pour limiter les pertes en cours de stockage, il est nécessaire de trier les tubercules sains ou parfaitement cicatrisés. Les autres seront transformés rapidement.

● *La stabilisation et le stockage*

Ce paragraphe ne concerne guère le manioc, qui ne peut pas être stocké au-delà de quelques jours à l'état frais (cf. la fiche manioc dans le chapitre 51).

● Les mécanismes de dégradation

Les racines et tubercules sont des produits vivants et humides, en général conservés sans séchage. Ils sont donc le siège d'une activité métabolique non négligeable qui provoque une perte de poids progressive avec, parallèlement, une dégradation de la qualité culinaire et nutritionnelle. Cette activité métabolique augmente fortement, pour l'igname et le pomme de terre, dès la fin de la dormance. Le cas du manioc est différent : une putréfaction primaire, due à des processus endogènes d'oxydation, se développe très vite, empêchant tout stockage.

Ces différents phénomènes font que, en l'absence de pratiques particulières, le manioc ne se conserve que deux ou trois jours après la récolte, la patate douce une à trois ou quatre semaines, le taro trois semaines, la pomme de terre et l'igname plusieurs mois.

À ces facteurs endogènes s'ajoutent des facteurs exogènes : ces tubercules peuvent être attaqués par divers champignons, des bactéries, des insectes et des nématodes, mais aussi par des rongeurs et des oiseaux. Différentes techniques sont utilisées pour limiter ces dégradations, qui sont favorisées par les blessures infligées aux tubercules lors de la récolte, du transport ou de la mise en stock.

● Les techniques de stockage en frais

Ces techniques concernent essentiellement la pomme de terre et l'igname. Le stockage se fait traditionnellement soit en fosse soit à l'air libre.

Le stockage en fosse est une méthode peu coûteuse qui permet d'étaler le transport du champ au village. Mais, il comporte de nombreux risques : attaques d'insectes et de rongeurs, pourriture des tubercules. Il ne peut donc être recommandé que pendant un laps de temps limité à quelques semaines.

La conservation à l'air libre peut se faire en petits tas bien aérés et recouverts de paille pour les protéger du soleil, ou dans un hangar surélevé, ventilé, à l'ombre pour éviter la lumière directe et l'échauffement, et en protégeant les tubercules de la pluie. Pour l'igname, une des techniques utilisées couramment en Afrique est le stockage en palissades, sorte de claies verticales sur lesquelles les ignames sont attachées individuellement. Cette technique, assez exigeante en main-d'œuvre, est celle qui semble donner les meilleurs résultats, pourvu que ces palissades soient établies à l'ombre.

Dans tous les cas, une protection chimique par trempage avant stockage est utile. Les pyréthrinoïdes peuvent être utilisées contre les insectes, et les fongicides[22] contre les moisissures. Afin de limiter les contaminations entre tubercules, une inspection fréquente des stocks, qui permet d'éliminer les tubercules malades, est toujours recommandée.

22 Par exemple, trempage dans le thiabendazole à 300 ppm pendant dix minutes.

Prolonger la dormance permet d'augmenter la durée de stockage. Divers produits comme l'acide gibbérellique peuvent être utilisés, mais leur emploi est délicat et leur coût ne permet pas de les recommander. L'égermage manuel reste la méthode la plus pratique. Il est facilité par le stockage sur palissades.

Le stockage au froid améliore largement la durée du stockage en retardant la germination, en réduisant la respiration du tubercule et en limitant le développement des moisissures et des insectes. Une température de 15 °C (pas moins, sous peine de dégradation), associée à une humidité de 85 à 90 %, convient le plus souvent, mais exige des installations coûteuses, rarement à la portée des cultivateurs ou même des groupements paysans.

Le séchage

Le séchage des tubercules, généralement coupés en tranches, peut être pratiqué sur manioc, patate douce, igname, macabo et taro. Ce séchage est le plus souvent réalisé au soleil, mais on peut également utiliser des séchoirs à air chaud dont existent de nombreux modèles. La durée de conservation est alors portée à plusieurs mois. Cette technique est couramment appliquée au manioc, pour produire des cossettes séchées pour l'exportation. Une protection insecticide avec des produits autorisés (par exemple divers pyréthrinoïdes, le chlorpyriphos-méthyl, le pyrimiphos-méthyl) est en général nécessaire.

La première transformation

Les racines et tubercules (à l'exception du manioc) sont le plus souvent vendues en frais ou sous forme séchée, sans transformation particulière par le producteur. De nombreuses recettes permettent de les consommer. Elles sont le fait de la ménagère ou de la restauration.

Cependant il existe une technique de transformation, applicable à la patate douce, la pomme de terre et l'igname. Il s'agit d'une précuisson des tubercules frais, épluchés, entiers ou découpés en tranches, suivi d'un séchage, qui donne ce que l'on appelle, en Afrique de l'Ouest, les cossettes d'igname.

Le cas du manioc est différent

Si les variétés douces peuvent être consommées sans préparation particulière, les variétés amères, qui contiennent de l'acide cyanhydrique très toxique, exigent un traitement par rouissage pour les détoxifier (cf. la fiche sur le manioc dans le chapitre 51).

La mécanisation des opérations nécessaires au séchage ou à la précuisson n'est pas vraiment au point. Si la découpe de tubercules en rondelles peut être mécanisée à l'échelle du producteur avec, notamment, la trancheuse IITA, il n'en est pas de même de l'épluchage qui reste un travail long et pénible. Divers épluchoirs ont été développés, mais leur coût est trop élevé, et les pertes au pelage trop importantes.

LE SYSTÈME APRÈS-RÉCOLTE DES FRUITS ET LÉGUMES

La qualité des produits dépend des précautions qui seront prises à la récolte et lors de leur manutention. Les objectifs à poursuivre sont :

> récolter des produits de bonne qualité et en bon état ;

> conserver les produits récoltés dans les meilleures conditions jusqu'à ce qu'ils soient consommés ou vendus ;

> mettre la récolte en vente le plus tôt possible après la cueillette.

● *La récolte*

Le moment de récolte est, en partie, déterminé par les conditions météorologiques et l'état du marché. Le produit doit alors être prêt à être récolté, et tous les moyens nécessaires réunis, que ce soit au niveau de la main d'œuvre destinée à réaliser la récolte ou pour le transport après récolte.

En effet, certaines récoltes fragiles doivent être vendues immédiatement alors que pour d'autres, le temps entre la récolte et la vente peut être plus long.

● Les règles à respecter

Il vaut mieux récolter aux moments les plus frais de la journée, tôt le matin (pour les marchés locaux) ou en fin d'après midi (pour les marchés éloignés). Si un transport est nécessaire, il pourra être entrepris de nuit.

Il faut éviter de travailler des produits humides (rosée ou pluie). Différentes altérations peuvent apparaître (fongiques ou autres). Il est conseillé de laisser les fruits sécher trois heures sous le soleil après une pluie avant de les récolter.

Une fois récoltés, les produits doivent être protégés à l'ombre si leur transport n'est pas immédiat pour éviter leur échauffement et leur dessèchement.

● Comment récolter ?

Les fruits mûrs, dont le pédoncule reste attaché au fruit, ont un point de rupture naturel qui permet de les détacher facilement lors de la cueillette. Il suffit de tirer et tordre le pédoncule en soutenant le fruit (fruit de la passion, tomate).

En général, pour les fruits dont le pédoncule est ligneux, on utilise des ustensiles simples pour permettre une coupe franche des pédoncules (mangues, agrumes, avocat etc.). La section s'effectue à environ un centimètre du fruit pour éviter un arrachement qui provoquerait une blessure et une possibilité d'infestation du fruit.

Pour les mangues, on utilise des cueille-fruit (manche en bambou, sac et lame orientée vers l'extérieur pour sectionner le pédoncule) ou des sécateurs à bouts ronds de préférence pour ne pas blesser les fruits. Dans le cas ou des pinces de récolte sont utilisées (cas des agrumes par exemple), il faut ensuite recouper le pédoncule de façon plus propre.

Les thèmes de formation à la récolte

Il est important de former les personnes qui récoltent sur les sujets suivants :
– le choix du moment de la récolte, en fonction du fruit produit (début de changement de couleur pour la papaye et la mangue, remplissage pour la banane etc.) ;
– les critères de choix pour rejeter un produit non conforme ;
– le tri et le calibrage éventuel des produits ;
– les techniques précises à employer pour la récolte ;
– le conditionnement à la récolte et à la commercialisation ;
– les traitements éventuels après récolte.

Un certain nombre de consignes doivent également être respectées :

> manipuler très soigneusement les produits en évitant toute meurtrissure par les objets utilisés au moment de la cueillette, par des coups d'ongle à la récolte ou lors de la mise en caisse de récolte (arêtes vives des caisses en bois, échardes, clous, agrafes etc.) ;

> ne pas lancer ou jeter violemment les fruits dans les caisses ;

> éviter les contaminations des produits récoltés en évitant de les poser à même le sol ;

> ne pas utiliser de caisses de récolte sales non brossées ni désinfectées ;

> éviter le contact avec différents produits tels que l'essence ou l'huile de moteur qui peuvent être présents sur les lieux de récolte ;

> ne pas remplir excessivement les caisses destinées le plus souvent à être empilées car cela entraîne un écrasement des fruits à l'intérieur ;

> ne pas mélanger les fruits contaminés par des champignons ou des insectes à des fruits sains.

● *La conservation des produits récoltés*

● *Le conditionnement*

> le sac permet de récolter les fruits à épiderme résistant (agrumes) et peut se porter en bandoulière. Il doit pouvoir s'ouvrir par le bas pour transvaser les fruits dans un autre conteneur ;

> les seaux et autres récipients en plastique conviennent aux fruits plus fragiles ;

> les paniers profonds risquent d'écraser les produits et les bacs de grande contenance présentent un danger d'échauffement car il ne sont pas ventilés.

Il est nécessaire de ne pas laisser trop longtemps les produits en bord de champs ou sous une chaleur importante, car cela entraîne un début de perte de poids, un dessèchement et un flétrissement qui altèrent la qualité du produit, ainsi que l'échauffement important de la pulpe qui entraîne une dégradation irrémédiable des qualités gustatives.

Les principales causes des pertes après récolte

Les altérations liées aux conditions de récolte

Elles sont provoquées par les pratiques suivantes :

> récolte peu soignée, effectuée sans souci d'éviter les chocs et grattages divers des fruits ;

> création de plaies de coupe et de découpe ;

> entassement des produits après la récolte ;

> transport en vrac avec une mauvaise aération et sous des températures élevées ;

> mauvaise articulation entre production et commercialisation.

Les altérations parasitaires

Elles sont nombreuses, entraînent de gros dégâts et sont difficiles à réduire, car les organismes pathogènes sont de nature variée et chacun nécessite une action particulière. La contamination peut survenir au verger et se révéler en entrepôt. En effet, certaines espèces fongiques peuvent pénétrer dans les premières couches de l'épiderme du fruit, par les stomates ou les lenticelles, soit plus profondément par la base du pédoncule ou les cicatrices stylaires apicales. En général, elles restent inactives tant que le fruit est vert mais la latence est levée lorsque le fruit mûrit.

Les infections des fruits après la cueillette sont très nombreuses en raison de la présence de tous les agents pathogènes sur les lieux de récolte et de conditionnement, et sur les matériels (caisses de récolte, outils, emballages). Les micro-organismes colonisent le fruit par les lésions superficielles provoquées par les manutentions.

Les organismes responsables de ces altérations peuvent être :

> des champignons, qui se développent dès qu'il y a une voie d'entrée dans le fruit (blessure de la peau) et provoquent de très graves dégâts (anthracnose de la mangue ou de l'avocat, moisissure des agrumes) ;

> des bactéries, dont les espèces sont moins nombreuses que celles des champignons. On distingue les pourritures sèches et les pourritures molles ;

> des levures, dont quelques unes sont parfois présentes et dégradent les composés sucrés des fruits ;

> des insectes, dont les dégâts sont en général liés à l'éclosion d'oeufs pondus dans la chair des fruits (mouche des fruits). Il n'y a pas d'espèces d'insecte spécifiques des entrepôts fruitiers à l'image des charançons des silos à grains ;

> des oiseaux, qui provoquent des dégâts surtout avant la récolte sur les fruits presque mûrs.

L'activité métabolique

Le fruit vit et continue à respirer après la récolte. Tous les processus métaboliques se poursuivent : transformation de l'amidon en sucres, disparition de la chlorophylle de la peau, laissant apparaître les carotenoïdes (dans le cas de fruits qui jaunissent en mûrissant), activités enzymatiques qui provoquent le ramollissement du fruit.

● *Les techniques de protection après récolte*

● La stabilisation physique

Elle peut être obtenue par :

> *l'obscurité* : il est important de protéger les fruits de la lumière, car celle ci altère la qualité des produits ;

> *de basses températures* : dans la mesure du possible, il faut stocker les fruits à des températures qui permettent de ralentir les processus métaboliques du mûrissement et la respiration des produits et peuvent aussi limiter le développement des micro-organismes. Cette technique nécessite des installations particulières, basées sur le refroidissement de l'air[23] ou de l'eau[24]. Ces systèmes doivent s'intégrer dans une chaîne d'emballage et de conditionnement. Si on a la possibilité d'utiliser du froid pour stabiliser les produits, celui-ci doit être adapté aux espèces : il existe une température critique pour chaque espèce. Le stockage à une température inférieure entraîne une dégradation des produits stockés[25], qui se traduit par l'apparition d'une coloration brune en surface et à l'intérieur des fruits ;

> *la ventilation* : elle doit permettre une bonne homogénéisation de la température et de l'humidité dans les entrepôts de stockage, être adaptée à l'emballage utilisé et ne doit pas créer de dessèchement des fruits. Le renouvellement de l'air dans l'entrepôt permet par ailleurs d'éviter l'accumulation de gaz carbonique[26] et d'éthylène. L'éthylène est un composé volatile, produit par les fruits, qui provoque le déclenchement de la maturation et accélère le mûrissement ;

> *l'hygrométrie* : de façon générale elle doit être élevée (> 90 %) afin d'éviter les pertes de poids et les flétrissements. Mais, si elle est trop élevée, elle provoque des développements fongiques. L'hygrométrie optimale dépend de l'espèce, de la durée et de la température de stockage ;

> *la modification de l'atmosphère* : on peut limiter les échanges gazeux des fruits en augmentant le taux de gaz carbonique et en diminuant le taux d'oxygène de l'atmosphère qui les entoure. Ceci peut être obtenu par injection gazeuse dans les enceintes de stockage ou par utilisation de films plastiques synthétiques ;

> *le trempage dans l'eau chaude* : il sert à limiter les développement fongiques, car la majeure partie des pathogènes présents sur l'épiderme est détruite à des températures de 45 à 55°C. Chaque espèce, là aussi, a des caractéristiques particulières.

23 *Air cooling*.
24 *Hydro cooling*.
25 Maladies du froid.
26 Respiration des produits.

La stabilisation chimique

Les produits disponibles sont nombreux et variés, ils peuvent agir soit sur la physiologie du fruit soit sur les micro-organismes de dégradation. Leur emploi est généralement plus simple et moins coûteux que les techniques de protection physiques :

> *les fongicides* sont employés pour la désinfection des fruits tropicaux après récolte. Ils sont proposés sous forme miscible à l'eau, en solution ou en suspension stable. Ils peuvent être utilisés en trempage (fruits irréguliers et de faible densité) ou en pulvérisation (fruits réguliers sphériques) ;

> *les bactéricides* ne sont pas autorisés par la législation. Le seul utilisé l'est au verger pour lutter contre les bactérioses des arbres fruitiers ;

> *les insecticides* sont peu utilisés sur les fruits tropicaux ;

> *les cires* permettent une protection de l'épiderme du fruit et ralentissent les pertes de poids par transpiration et le dessèchement.

La transformation des fruits et légumes

Les opérations préliminaires

Le triage par grosseur est indispensable pour réaliser des traitements mécaniques comme le dénoyautage, l'équeutage, le pelage ou le pressage. Le triage par couleur est très important pour les fruits car c'est souvent un indice de maturité du produit ; cela peut aussi permettre de repérer des signes d'altération.

Le lavage des fruits et légumes est très important surtout pour les végétaux pouvant apporter du sable ou de la terre qui ont une forte charge microbienne.

Le pelage et l'épluchage consistent à enlever la peau superficielle : les ananas sont éboutés, pelés, débarrassés du trognon et ensuite coupés en tranches ; les agrumes sont pelés pour la préparation des marmelades ou de sirop. L'opération peut être effectuée en utilisant des solutions alcalines chaudes.

Le blanchiment est une cuisson brève de deux à cinq minutes à l'eau bouillante ou à la vapeur, pour les aliments que l'on veut en général consommer cuit ou que l'on veut conserver par appertisation, déshydratation ou congélation.

Le rôle du blanchiment

Il sert à :
– attendrir le tissu végétal pour pouvoir supporter les manipulations ultérieures ;
– éliminer l'air et les autres gaz pour diminuer les réactions d'oxydation ;
– augmenter la perméabilité des parois cellulaires pour augmenter la vitesse de déshydratation et faciliter la réhydratation ultérieure ;
– compléter le lavage du produit en réduisant la contamination chimique et la charge bactérienne ;
– détruire les enzymes pouvant provoquer des dégradations.

La transformation des fruits et légumes

La fabrication de confitures et marmelades

Elle consiste à cuire rapidement les fruits dans un minimum d'eau pour les ramollir et libérer la pectine. Cette opération est omise si on utilise des jus ou des fruits ayant déjà subit une cuisson. On ajoute après du sucre, on mélange et on porte à ébullition de manière à obtenir rapidement une concentration égale à 65-70 % de matière sèche. L'ébullition sert à évaporer l'eau, parfaire la cuisson des fruits, pasteuriser le mélange et faciliter la dissolution du sucre. Parallèlement, une partie du saccharose est transformée en glucose et levulose. Le mélange est ensuite coulé à chaud dans les récipients ce qui permet leur stérilisation.

La fabrication de jus de fruits

L'extraction du jus

Diverses méthodes peuvent être employées selon la structure et la composition du fruit et selon que l'on souhaite obtenir une boisson de limpidité et de viscosité plus ou moins importante.

On peut utiliser une presse hydraulique ou une presse continue à vis. On peut également faire macérer les fruits dans l'eau ou utiliser (pour les purées destinées à la concentration) une passoire avec raffineuse.

Décantation, tamisage, centrifugation et filtration des jus

Ces opérations visent à apporter au produit ses caractéristiques définitives, en enlevant aux jus bruts les éléments indésirables[27], et pour assurer la stabilité des jus *troublés* :

> la décantation consiste à laisser reposer le jus pour séparer les particules grossières ;

> le tamisage intervient en général en même temps que l'extraction. Il est effectué lorsque le jus renferme trop de pulpe ;

> la centrifugation sert à éliminer la plus grande partie des matières en suspension ;

> la filtration est employée pour la finition de certains jus (tamarin, bissap, goyave).

La désaération

Elle sert à éliminer les gaz présents et introduits au cours des opérations précédentes. On fait pour cela écouler le jus en couche fine dans une enceinte sous vide.

27 Pépins, particules insolubles, fragments de membranes cellulaires.

La fabrication de pâtes de fruits

Elle comporte les étapes suivantes :

> préparation de purée en réduisant par cuisson la pulpe en pâte, ensuite égouttage, écrasement de la pâte à la main ou avec un moulin ;

> cuisson à feu doux avec le sucre en quantité égale, et ajout de pectines pour les fruits qui en sont peu pourvus. Le produit doit contenir 75 % de matière sèche en fin de cuisson, et le pH doit être corrigé avec du jus de citron pour atteindre une valeur comprise entre 2,8 et 3,4 ;

> séchage de la pâte dans un séchoir solaire ou dans un endroit sec et aéré, la pâte étant étalée sur des claies ou des assiettes, en prenant soin de saupoudrer de sucre quand on tourne les morceaux. Après séchage, on découpe en carrés et on conditionne.

Les autres transformations

On se contentera ici de citer la fabrication de conserves (surtout pour les légumes), le séchage des fruits en tranches ou morceaux[28], la friture des fruits, la production de chips et la valorisation des écarts de triage de fruits d'une filière par la production de vinaigre (cas des dattes, voire de mangue ou de papaye).

LE SYSTÈME APRÈS-RÉCOLTE DES BANANES ET PLANTAINS[29]

Les impératifs de récolte, stockage et maturation respectent les mêmes principes quelle que soit la variété concernée. Bien que leur surnom traduise leur utilisation principale, les bananes dites *légumes* (plantains) et les bananes dites *dessert* peuvent être indifféremment consommées immatures ou mûres. Les bananes vertes font toujours l'objet d'une cuisson préalable pour rendre l'amidon digestible. Les bananes mûres peuvent être consommées cuites ou crues. Les plantains étant plus riches en amidon, leur potentiel de conservation au stade mûr est plus élevé que celui des bananes dessert.

28 Avec possibilité de les imprégner de sucre au préalable.
29 Cf. chapitre 515 (les bananiers).

Bibliographie

Céréales

Conservation des graines en régions chaudes, 1988. CEEMAT, Ministère de la Coopération et du Développement, 546 p.

Grain storage techniques, 1994. FAO, Bulletin des Services Agricoles n° 109, 277 p.

Cruz, J.F. 1994. Transformation des produits agricoles tropicaux. CIRAD Grains et graines, 49 p.

Légumineuses et oléoprotéagineux

Collection « *Le technicien d'agriculture tropicale* », Maisonneuve et Larose

- n° 9 *Les légumineuses vivrières tropicales*, par M. BORGET
- n° 37 *L'arachide en Afrique tropicale*, par R. SCHILLING
- n° 4 *Le stockage des produits vivriers* (2 volumes), par J. APPERT.

Bulletins techniques de l'Institut de recherche agronomique du Cameroun (IRA) et CRSP

- n° 2 *Le séchoir solaire pour améliorer le stockage du niébé*.

GILLIER, P. ET SILVESTRE, P. *L'arachide*, Collection «Techniques agricoles et productions tropicales», Maisonneuve et Larose.

Tubercules

BELL, MICK O., SCHULER B., 2000. *Les richesses du sol*, A, DES-ZEL et GTZ, 237 p + annexes.

KNOTH J.K., 1993. *Le stockage traditionnel de l'igname et du manioc et son amélioration*, GTZ, 95 p.

ONWUEME I.C. et HARLES W.B., 1994. *Tropical root and tuber crops*, FAO, 228 p.

Fruits et légumes

AMORRIGGI G, 1988. *Techniques de transformation et conservation artisanale des fruits et légumes*. Rome FAO, 62 p.

Conservation des fruits à petite échelle. Série technologique, dossier n° 13 et n° 14. Genève, BIT, 1990, 226p.

Comment conserver et transformer les fruits et légumes au Sahel. Mali, CILSS, Institut du Sahel, Guide technique, 1991. Diffusion : RESADOC, Institut du Sahel BP 1530 Bamako, Mali.

FRANÇOIS M. *Transformer les fruits tropicaux. Guide technique*, Collection le point sur les technologies. GRET, ministère de la Coopération et du Développement, CTA. ACCT, 1997, 221 p.