

# Les céréales

À partir des contributions de N. Ahmadi (CIRAD),  
J. Chantereau (CIRAD), C. Hekimian Lethève,  
J.L. Marchand (CIRAD), B. Ouendeba (ROCAFREMI-ICRISAT)

- > Le blé
  - > Le maïs
  - > Le mil
  - > Le riz
  - > Le sorgho
- > Les céréales secondaires :  
l'éleusine, le fonio, les larmes de job,  
le millet commun, le millet indigène,  
le millet des oiseaux, le panic, le teff

## LE BLÉ

---

*Triticum aestivum ssp. aestivum* (blé tendre) et *Triticum turgidum ssp. durum* (blé dur)

Anglais : bread wheat ; durum wheat

Espagnol : trigo harinero ; trigo castalino

Portugais : trigo

Famille des Poaceae

### ● L'origine et l'aire de culture

*Triticum aestivum* est une espèce issue du croisement de *Triticum turgidum* et *Triticum tauschii*. Les diverses variétés de blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*) sont issues de l'amidonier cultivé, lui-même issu du croisement *Triticum urartu* x *Aegilops speltoides*. L'ensemble de ces espèces est originaire du Proche-Orient, de la Mésopotamie et d'Éthiopie.

Le blé dur constitue 5 % de la production de blé des pays en développement ; il est produit à 80 % au Moyen-Orient et en Afrique du Nord, dans des zones de climat semi-aride ou aride. Le blé tendre est produit sous des climats plus humides.

### ● Les utilisations du blé

Les grains de *T. aestivum* sont utilisés pour fabriquer de la farine panifiable (haute teneur en gluten qui donne son élasticité au pain), et de la farine utilisée en pâtisserie ou biscuiterie. Les variétés de *T. durum* donnent de la farine qui sert à fabriquer les pâtes et la semoule.

L'essentiel du blé est transformé pour l'alimentation humaine. L'industrie en utilise une petite partie pour produire de l'amidon, du malt, du dextrose, du gluten et de l'alcool. Les grains de qualité inférieure et les sous-produits sont utilisés dans l'alimentation animale. La paille sert également de fourrage, de litière ou pour confectionner des chapeaux.

## ● La plante

Le blé est une plante annuelle. Son système racinaire est fasciculé et comprend cinq à six racines primaires et de nombreuses racines secondaires. Les tiges partent du plateau de tallage ; on distingue le brin-maître ou talle primaire et les talles secondaires et tertiaires. Les tiges mesurent de 0,45 à 1,70 m en fonction de la variété, des conditions climatiques et de l'emploi éventuel de raccourcisseurs. Elles possèdent de cinq à sept nœuds ainsi que trois ou quatre feuilles.

Chaque tige peut produire un épi composé d'un axe ou rachis portant de nombreux épillets. Les épillets sont séparés par de courts entre-nœuds. Chaque épillet est un axe reproducteur condensé, comprenant deux bractées stériles (appelées glumes) qui enveloppent deux à cinq fleurs.

Chaque fleur est portée par un court pédicelle et enfermée entre deux bractées appelées glumelles. La fleur hermaphrodite possède trois étamines et le pistil comprend un seul ovaire, un seul ovule et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux. Le blé est une espèce surtout autogame, pollinisée par le vent. Après fécondation, chaque fleur donne naissance à un fruit unique, le grain de blé.

Le cycle du blé comprend cinq phases :

- > *germination-levée* : la germination commence lorsque le grain a absorbé le quart de son poids d'eau ;
- > *tallage* : les tiges secondaires apparaissent durant cette phase qui dure quarante à cinquante jours ;
- > *montaison* : les tiges s'allongent mais les épis ne sont pas encore apparents ;
- > *épiaison-floraison* : les épis apparaissent puis la plante fleurit ; les étamines apparaissent une fois la fécondation terminée. Cette phase dure environ trente jours ;
- > *développement et maturation des grains* : les grains acquièrent leur forme et leur taille définitive, puis leur consistance évolue ; ils passent du stade laiteux au stade pâteux puis au stade grain dur.

La durée totale du cycle est de l'ordre de cent vingt à cent cinquante jours en milieu tropical. Plante des climats tempérés, le blé se développe entre 50° de latitude Nord et Sud. Elle a besoin d'un minimum de cent jours sans gel pour se développer et nécessite en culture pluviale de 400 à 500 mm de précipitations pendant son cycle. Le blé a surtout besoin d'eau en début de cycle (de la germination au tallage), puis durant la quinzaine qui précède l'épiaison.

La température minimale de germination des graines est de 3°C, l'optimum étant 27°C. La floraison ne peut débuter que si la température dépasse 14°C et est optimale à 16,5°C. La maturation est optimale autour de 20°C.

Le blé préfère les sols profonds et bien structurés, à pH voisin de la neutralité. Il ne supporte pas l'engorgement.

Les sélections effectuées par les agriculteurs et par les chercheurs ont privilégié quelques caractères : la résistance à l'égrenage sur pied (qui facilite la récolte), la nudité des graines (qui facilite le battage), la faible longueur de la tige (résistance à la verse et rapport grain/paille), la résistance aux maladies, et enfin l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Il existe près de 30 000 variétés de blé.

## ● La culture du blé

Dans les pays tropicaux, le blé ne peut pas être cultivé à basse altitude pendant la saison chaude. Il est généralement cultivé en altitude et pendant la saison froide et sèche. Il est alors irrigué (ou cultivé en décrue) et récolté en fin de saison sèche. Dans les pays subtropicaux comme le Pakistan, le blé est également une culture de saison froide et a également besoin d'être irrigué. La surface de blé irrigué correspond à plus de 45 % de la surface de blé produite par les pays en développement. La Chine et l'Inde sont les principaux pays concernés. Des quantités importantes de blé irrigué sont également produites en Turquie, en Afghanistan, en Iran, en Irak, en Egypte, au Soudan, en Ethiopie, au Zimbabwe, au Nigeria, au Mexique et au Chili.

Le blé irrigué est fréquemment conduit en succession après une culture de saison chaude, dans le cadre de systèmes à deux cultures par an. Cette culture de saison chaude peut être du riz, du soja, du coton, etc. Le calage du cycle de culture dans l'année fait intervenir plusieurs paramètres : la température<sup>1</sup>, la volonté de récolter si possible avant les premières pluies et le calage de la culture de saison chaude, qui peut être prioritaire.

En culture irriguée, on préconise un labour suivi d'un hersage puis d'un planage de la parcelle. Il est également recommandé de mettre en place sur la parcelle un système de drains pour éviter que l'eau ne stagne ou n'engorge le sol. Au moment du labour, on enfouit 10 tonnes de fumier par hectare. Dans les sols acides, on peut également apporter des amendements calco-magnésiens pour rapprocher le pH de la neutralité.

Les doses de semis préconisées sont de l'ordre de 100 à 150 kg/ha de semences traitées et on recommande le semis en lignes espacées de 15 à 25 cm, à une profondeur de 3 à 5 cm. On conseille un apport de 300 à 500 kg d'engrais NPK (complété éventuellement par du bore) au moment du semis suivi par un apport de 50 à 100 kg d'urée, effectué vingt cinq à trente cinq jours après le semis, au moment du sarclage.

L'irrigation doit être menée prudemment pour éviter l'engorgement de la parcelle.

La lutte contre les maladies passe essentiellement par l'utilisation de variétés résistantes, notamment contre les rouilles noires et brunes. Néanmoins des traitements fongicides sont éventuellement possibles. Le traitement des semences (lindane) permet de limiter les dégâts des insectes terricoles. Les infestations de chenilles, de pucerons et de borers peuvent être contrôlées avec des traitements insecticides si le seuil de nuisibilité est dépassé : pour les chenilles de noctuelles par exemple, il correspond à une chenille pour dix épis.

La récolte a lieu lorsque la paille est jaune et que les grains craquent entre les dents. Le rendement en grains est extrêmement variable : environ 700 kg/ha au Rwanda et au Burundi, 1300 à 1400 kg/ha en Ethiopie et au Kenya, de l'ordre de 2 à 3 t/ha en Inde, au Tchad ou à Madagascar, de 3 à 4 t/ha en Chine et entre 6 et 7 t en Zambie, au Zimbabwe ou en Egypte.

<sup>1</sup> Dans les milieux tropicaux d'altitude, les températures hivernales peuvent être inférieures à 14°C, limite inférieure pour la floraison.

## ● **La production actuelle et les perspectives**

Début 2000, la production mondiale de blé est de l'ordre de 600 millions de tonnes. Le commerce mondial représente 100 millions de tonnes. La demande de blé mondiale augmente de 2 à 3 % par an, et la demande en Afrique sub-saharienne de l'ordre de 5 % par an.

L'Asie est le premier continent producteur, du point de vue des surfaces cultivées comme de la quantité produite. Le blé y est la seconde production et il y fournit 19,2% des apports énergétiques. En Afrique, les principaux pays producteurs sont ceux qui bordent la Méditerranée, l'Éthiopie, l'Afrique du Sud et, dans une moindre mesure, le Kenya et le Soudan.

## LE MAÏS

---

*Zea mays*

Anglais : maize (GB) ou corn (USA),

Espagnol : maiz

Portugais : milho

Famille des *Poaceae*, tribu des *Andropogoneae*

## ● **Les utilisations du maïs**

Les utilisations du maïs varient beaucoup selon le niveau économique des pays. Dans ceux à faible revenu, le maïs est surtout réservé à la consommation humaine directe, sous forme d'épis immatures, de farine ou de semoule. En revanche, dans les pays développés, il constitue une matière première pour l'alimentation du bétail, l'industrie de la semoule et celle de l'amidon. Cette dernière est en pleine expansion en Europe et aux États-Unis (près de 20 % des utilisations domestiques). Ses débouchés sont très diversifiés : produits alimentaires (isoglucose, pectines), chimiques (biocarburants, plastiques), pharmaceutiques, textiles, papetiers.

Les germes de maïs donnent de l'huile qui sert pour l'alimentation humaine, pour la fabrication de margarines, de savons, de vernis, de textiles artificiels, etc.

Enfin, on peut cultiver le maïs comme fourrage vert ou pour faire de l'ensilage pour les bovins.

## ● **La plante et son environnement**

### ● **La plante**

### ● **L'origine et la diffusion**

Le maïs est la seule plante cultivée d'importance dont l'ancêtre sauvage ne soit pas connu avec certitude. Cultivé depuis des millénaires en Amérique centrale, il aurait été domestiqué dans la région centrale du Mexique à partir de téosinte local. La culture du maïs s'est ensuite propagée sur l'ensemble du continent américain, des Andes

au Canada, puis, à partir du XVI<sup>e</sup> siècle, sur tous les continents, en zone tropicale comme en zone tempérée. Il serait arrivé en Afrique au XVII<sup>e</sup> siècle.

Le genre *Zea* renferme des espèces annuelles et pérennes originaires du Mexique et d'Amérique centrale. Il comprend des formes sauvages, les téosintes, présentes au Mexique et au Guatemala, et une forme cultivée, le maïs. En effet, on distingue quatre espèces, dont l'une, *Zea mays*, est elle-même divisée en quatre sous-espèces. Parmi elles, la sous-espèce annuelle *Z. mays subsp. parviglumis* est considérée comme l'ancêtre le plus probable du maïs, *Z. mays subsp. mays*.

Le maïs est la céréale dont la zone de culture est la plus vaste. Elle s'étend sur 140 millions d'hectares de la latitude 40° Sud, en Argentine et en Afrique du Sud, à la latitude 58° Nord, au Canada. Dans les Andes, elle culmine à 4000 m d'altitude, alors que le maïs pousse au dessous du niveau de la mer près de la mer Caspienne.

### ● **Les caractéristiques morphologiques**

Le maïs est une céréale herbacée annuelle, à tallage généralement faible ou même nul. Il présente une large diversité morphologique selon les variétés.

La plante possède des racines séminales, fonctionnelles jusqu'au stade cinq ou six feuilles et des racines définitives ou coronaires. La tige, constituée de l'écorce et de la moelle, mesure de 0,6 à 6 m. C'est un empilement de nœuds et d'entre-nœuds. Au niveau de chaque nœud, on trouve une feuille (leur nombre varie de huit à quarante-huit) et un bourgeon axillaire. Les bourgeons de la base de la tige peuvent donner des talles, ceux du milieu un ou plusieurs épis et le bourgeon terminal la panicule.

Le maïs est donc une plante monoïque à inflorescences séparées. L'épi est une tige en miniature, avec des spathes et une inflorescence terminale (l'épi proprement dit) formée d'un axe central, la rafle, qui porte les grains. Le grain est un caryopse qui comprend le péricarpe, l'embryon et l'albumen riche en amidon.

### ● **Le mode de reproduction**

Le maïs est une plante monoïque et porte deux types d'inflorescence : les fleurs mâles, groupées sur la panicule terminale ramifiée, et les fleurs femelles, associées sur un ou quelques épis insérés à l'aisselle des feuilles. Bien que le maïs soit autofertile, l'allogamie est prépondérante (95 %). Elle résulte de la monoécie et de la protandrie de la plante. La forte allogamie du maïs a des conséquences importantes en sélection et pour la multiplication des semences.

### ● **La variabilité génétique**

Le maïs est l'espèce végétale dont la génétique est la mieux connue : un millier de locus contrôlant des caractères qualitatifs y ont été analysés, dont 575 sont rigoureusement déterminés et cartographiés. La carte génétique du maïs est quasiment saturée et révèle un fort polymorphisme. Le maïs est vraisemblablement un allotétraploïde avec  $n = 2 \times 5$ .

Les variétés tropicales sont très nombreuses. Elles sont conservées par le CIMMYT, dont la collection compte environ 15 000 accessions. À partir des 12 000 accessions provenant d'Amérique latine, 250 races ont été identifiées, sur des critères essentiellement morphologiques, et regroupées en quatorze complexes raciaux. Les races d'Amérique du Nord et des autres continents sont toutes issues des maïs d'Amérique latine, dont

elles se sont différenciées du fait de nouvelles combinaisons et des sélections réalisées. Les races nord-américaines sont bien décrites et sont regroupées en dix complexes raciaux. Pour les autres continents, ce travail reste à faire.

### ● **Les types variétaux**

En zone tropicale, le maïs est cultivé dans des conditions écologiques ou socio-économiques très diversifiées. Son utilisation alimentaire traditionnelle exige que le produit corresponde aux préparations culinaires et aux goûts des différents consommateurs. Pour répondre à cette diversité de situation, il est nécessaire de disposer d'une gamme de variétés. Celles-ci doivent être adaptées aux différents niveaux d'intensification pratiqués : culture extensive destinée à l'autoconsommation, culture intensive commerciale, culture semi-intensive. Elles doivent être capables de produire dans des milieux très variables. Elles doivent, enfin, être appréciées des utilisateurs : le type et la couleur du grain, les qualités de mouture et de conservation sont des critères essentiels.

### **Les écotypes**

Le maïs a été soumis à une sélection massale dès le début de sa domestication. Les agriculteurs choisissaient à chaque saison les plus beaux épis pour ensemer leur champ à la saison suivante. Cette pratique est encore aujourd'hui courante en zone tropicale. Les écotypes en sont issus. Ils sont largement utilisés en agriculture traditionnelle extensive.

### **Les hybrides**

Les hybrides sont réservés à la culture intensive avec intrants, où ils peuvent le mieux exprimer leurs potentialités. Les pays développés et la Chine cultivent aujourd'hui uniquement des hybrides. Le Brésil et les pays d'Asie du Sud-Est et d'Afrique de l'Est y ont largement recours. Leur emploi reste rare en Afrique francophone.

### **Les variétés améliorées à fécondation libre**

Entre la sélection massale et la création directe d'hybrides, la sélection récurrente permet de rassembler une variabilité génétique importante et de sélectionner progressivement pour améliorer de nombreux caractères, tout en conservant une bonne part de cette variabilité. Dans les pays tropicaux, elle est actuellement largement employée sous l'impulsion du CIMMYT. Elle permet de créer des variétés améliorées à pollinisation libre, alliant des potentialités de rendement élevé, des qualités agronomiques et la résistance aux contraintes biotiques et abiotiques, particulièrement importantes en zone tropicale.

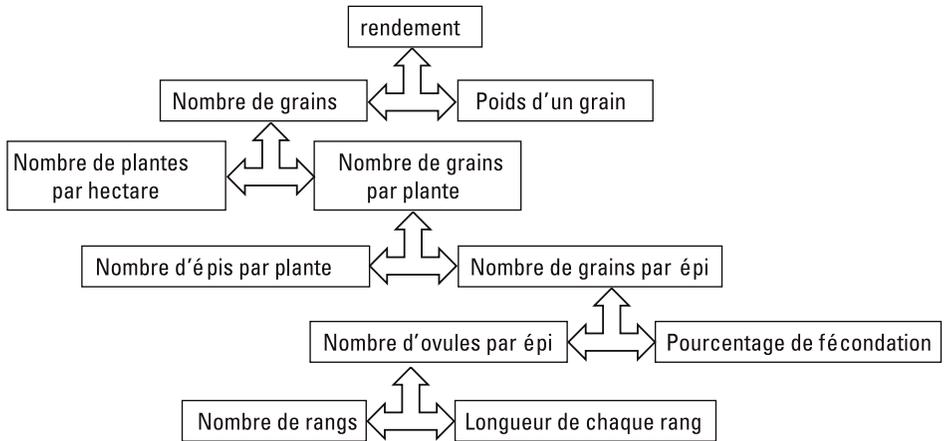
Ces trois types variétaux seront encore longtemps utilisés en milieu tropical, même si on observe une progression des variétés améliorées et des hybrides au détriment des écotypes.

### ● **L'écologie du maïs**

#### ● **Les mécanismes de régulation du rendement**

Un grain de maïs possède un potentiel génétique de production, qui sera atteint si aucune contrainte ne vient limiter son expression. Tout l'art du cultivateur consiste à permettre l'expression de cette potentialité. Mais comme le milieu idéal n'existe pas, il y a tout au long du cycle une adaptation aux conditions réelles de production.

Le rendement final résulte (cf. figure 1) de la multiplication du nombre de grains par le poids moyen du grain. Le nombre de grains par unité de surface est lui-même fonction de la densité, de la prolificité (nombre moyen d'épis/plante) et du nombre de grains réels/épi (lui-même lié au nombre d'ovules/épi et à la réussite de la fécondation). Le poids de mille grains maximum est fixé génétiquement, mais il peut ne pas être atteint si le milieu est défavorable.



► Figure 1 : Schéma d'élaboration du maïs

Chez le maïs, les différentes phases du développement de la plante, correspondant aux différentes composantes qui conditionnent le rendement final, se succèdent au long de la vie de la plante. Chacune d'entre elles peut, sous l'effet d'un stress, contribuer à diminuer le rendement potentiel. Le rendement réel est donc le résultat d'une série de soustractions à partir du rendement potentiel.

- > *Le nombre de plantes/ha résulte du choix d'une densité par l'agriculteur et de la réussite du semis et de la levée.* La qualité de la semence, les conditions du semis, la présence éventuelle d'insectes attaquant les plantules, la pratique d'un nouveau semis ou d'un démarriage sont autant de facteurs qui interviennent dans l'élaboration de la densité à la récolte.
- > *Pendant la phase végétative les racines, la tige et les feuilles subissent éventuellement le contre-coup de conditions défavorables.* Par exemple, une attaque virale précoce peut fortement réduire la surface foliaire utile. Le succès de la mise en place de l'appareil végétatif conditionne largement le rendement final.
- > *Un stress pendant la formation des épis réduit le nombre de rangs, puis la longueur de l'épi.* Quant au nombre d'épis/plante, il n'est fixé que quelques jours avant la sortie des soies. La prolificité en épis est recherchée en milieu tropical car elle permet une régulation du rendement et peut, notamment, compenser une faible densité.
- > *Un stress à la floraison va, en allongeant l'intervalle floraison mâle/floraison femelle, diminuer le pourcentage de fécondation et favoriser l'avortement des ovules, puis des graines.*
- > *Enfin, si la plante souffre pendant le remplissage des grains, c'est le poids de mille grains qui est diminué.*

Un stress aura donc des conséquences négatives sur le rendement quelle que soit la période où il se produit. Mais les phases au cours desquelles il a les conséquences les plus graves sont d'une part le semis et les deux semaines qui le suivent, d'autre part les deux semaines qui précèdent et les deux semaines qui suivent la floraison.

### ● **Les besoins de la plante et les stress**

Le maïs est une plante exigeante :

- > *en lumière*, du fait de son métabolisme photosynthétique en C4. Il a des exigences en température assez élevées à la germination : optimum de 25°C, impossible en dessous de 10°C ;
- > *en eau*. Un maïs de 120 jours en climat soudanien demande au moins 600 mm de pluies bien réparties ;
- > *en fertilité*. Très sensible aux carences et répondant bien aux apports d'engrais et notamment d'azote, il affectionne les sols riches en matière organique et dotés de bonnes propriétés physiques.

De nombreux stress peuvent réduire le rendement. Ils peuvent être liés à plusieurs facteurs.

#### **Le climat**

- > *la sécheresse* est particulièrement dommageable au moment du semis mais sa plus forte influence négative sur le rendement se situe au moment de la floraison. On sème donc sur un sol bien humide<sup>2</sup>, et on cale le cycle de la culture de façon à réduire le risque de sécheresse à la floraison ;
- > *l'excès d'eau* peut provoquer l'asphyxie ou même la pourriture des racines. On évite les sols hydromorphes ou drainant mal ;
- > *l'énergie lumineuse* disponible pendant la culture est limitée en région fortement nuageuse (zone équatoriale). Il n'y a aucune parade ;
- > *le vent* peut provoquer la verse ou la casse. La résistance variétale est la meilleure défense ;
- > *les fortes températures* peuvent, surtout si elles sont associées à un climat sec ou venteux (saison sèche chaude du Sahel), provoquer des brûlures sur les feuilles.

#### **Le sol**

Les sols acides ou salés limitent fortement le rendement. Il n'existe actuellement guère de variétés tolérantes. On évite donc les sols salés. Quant aux sols acides, un chaulage peut être proposé, mais il n'est pas forcément rentable.

#### **Les facteurs biologiques**

Les maladies les plus fréquentes en milieu tropical sont les rouilles<sup>3</sup> et les helminthosporioses<sup>4</sup> qui causent des lésions semblables à des brûlures. La plupart des variétés améliorées tropicales sont tolérantes à ces maladies.

---

<sup>2</sup> 25 mm de pluies la veille ou l'avant-veille.

<sup>3</sup> *Puccinia polysora* en basse altitude, qui produit de petites tâches rondes orangées, et *P. sorghi*, plus fréquente en altitude, qui produit des lésions allongées brunes.

<sup>4</sup> *Helminthosporium maydis* en basse altitude et *H. turcicum* en altitude ou en saison fraîche.

Il existe bien d'autres maladies, moins largement répandues mais qui peuvent, localement, être très sérieuses. La lutte chimique étant rarement rentable, la seule solution est la tolérance variétale. Certaines pourritures des épis, produites par des champignons comme *Aspergillus niger* ou *Fusarium monoliforme*, s'accompagnent de la production de mycotoxines. Un séchage rapide de la récolte est nécessaire. Les viroses peuvent, en cas d'attaque précoce, détruire complètement une culture. La plus fréquente en Afrique est la striure causée par le *Maize Streak Virus*. La résistance variétale est la meilleure parade, même si certains produits de traitement de semences sont efficaces, mais fort coûteux.

Différents insectes peuvent causer des dégâts plus ou moins graves. Les foreurs des tiges ou des épis (*Eldana sacharina*, *Sesamia calamistis*, *Busseola fusca*), les défoliateurs (*Spodoptera frugiperda*) et les insectes des grains (*Sitophilus zeamais* et *Prostephanus truncatus*) sont ceux qui causent les plus gros dégâts. Peu de variétés présentent une tolérance à l'un ou l'autre de ces insectes. La lutte chimique, si elle est rentable, peut sauver une culture ou une récolte.

Les adventices, qui concurrencent le maïs pour l'eau et les nutriments, constituent une menace sérieuse. En culture traditionnelle, ce sont elles, davantage que la baisse de la fertilité, qui sont responsables de l'abandon des terres après trois à quatre ans de culture car leur maîtrise demande trop de travail.

## ● **La culture du maïs**

### ● **Les grands systèmes de culture**

Les conditions de culture du maïs dans le monde sont très variées, de la culture traditionnelle de plein champ, souvent associée à d'autres plantes, à la culture intensive motorisée d'Europe ou des Etats-Unis, en passant par la culture de case ou la culture de plein champ en rotation avec le coton, toutes deux relativement intensives. Les rendements moyens varient d'environ 5 q/ha en culture extensive à 120 q/ha en culture intensive motorisée.

Le type de variété utilisé doit être raisonné en fonction du rendement visé par le paysan :

- > en agriculture traditionnelle extensive, pour des rendements qui dépassent rarement 20 q/ha, les variétés locales constituent la meilleure réponse. C'est aussi le cas pour les champs de case, la famille ayant des exigences précises en terme de qualité du grain pour une préparation culinaire donnée ;
- > les variétés améliorées à pollinisation libre conviennent bien pour des systèmes à intensification moyenne, du type de ceux qui sont pratiqués en zone cotonnière africaine, où les rendements espérés varient de 20 à 50 q/ha ;
- > on réserve les hybrides aux cultures intensives avec intrants, où ils peuvent exprimer leurs potentialités. On utilise alors des hybrides spécifiquement créés pour la zone tropicale. La médiocre adaptation des hybrides tempérés au climat chaud des tropiques et leur sensibilité aux maladies spécifiques à ces milieux ne permet en effet pas, sauf rares exceptions, de les recommander.

## ● **L'élaboration du rendement et les itinéraires techniques**

La durée du cycle végétatif varie sous les tropiques de 90 à 130 jours, parfois plus dans les zones d'altitude. Schématiquement, la culture pure du maïs avec une certaine intensification se déroule de la façon suivante.

### ● **La mise en place**

Le maïs est très sensible à l'amélioration des propriétés physiques du sol : l'augmentation de rendement grâce au labour est généralement élevée et atteint couramment 20 %. Suivant les régions, la culture est réalisée à plat (cas le plus fréquent), sur billons ou sur buttes.

Il existe cependant une alternative au labour : le semis direct dans une couverture végétale. Son principe est simple : une couverture permanente du sol est assurée par une plante bien choisie qui est soit détruite, soit maîtrisée par une faible dose d'herbicide avant le semis direct de la culture. Ses avantages sont nombreux : limitation ou même suppression du ruissellement donc de l'érosion, meilleure alimentation hydrique de la culture, amélioration de la fertilité par remontée des cations et par augmentation du stock d'azote grâce à la plante de couverture, maîtrise naturelle des adventices. Dans certaines rotations annuelles bien choisies, le travail du sol est totalement supprimé, comme l'est l'apport de fertilisation chimique. Sa mise en œuvre reste toutefois plus délicate qu'une simple fertilisation minérale.

Il est recommandé de semer tôt au début des pluies, à une profondeur de 3 à 5 cm, et de traiter préalablement les semences avec un mélange de fongicide et d'insecticide. Tout retard de semis entraîne une baisse de rendement. La densité de peuplement optimale est généralement comprise entre 40 et 60 000 plants/ha en culture pure.

Le poids des semences est de l'ordre de 15 à 25 kg/ha pour 45 à 50 000 plants à l'hectare. En cas de semis manuel, on sème trois à quatre graines tous les 50 cm et on démarie à deux plantules. Avec un semoir mécanique, on sème un grain tous les 20 à 25 cm (pour 80 cm entre lignes). La valeur optimale de la densité doit être raisonnée en fonction de la variété utilisée, des conditions d'alimentation hydrique et de la fertilité du sol.

### ● **La fertilisation**

Le maïs exige pour sa croissance et sa production, des éléments minéraux qu'il puise dans le sol. La fertilisation raisonnée consiste à lui apporter les quantités d'éléments dont il a besoin, au bon moment et en quantité suffisante. Cette fumure dépend des rendements espérés et du système de culture. Elle doit être rentable, c'est-à-dire permettre un accroissement de la récolte qui compense largement les frais occasionnés par l'achat et l'épandage des engrais.

**Tableau1. Quantités d'éléments minéraux exprimés en unités accumulées par 1 ha de maïs produisant 50 quintaux de grains**

	Azote (N)	Acide phosphorique (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasse (K <sub>2</sub> O)	Chaux (CaO)	Magnésie (MgO)	Soufre (S)
Dans les plantes entières (parties aériennes)	105	50	75	10	10	6
Uniquement dans les 50 quintaux de grains	70	35	25	1,5	4,5	5

Les prélèvements (ou exportations) sont différents suivant que les pailles de maïs sont sorties du champ ou au contraire réincorporées au sol. Il faut ajouter à ces six éléments principaux des quantités plus faibles (de l'ordre de quelques centaines de grammes par hectare) de manganèse, zinc, bore, cuivre, etc.

Les besoins de la plante ne sont pas constants tout au long de la culture : faibles au début, ils croissent rapidement pour atteindre un maximum avant la floraison et décroître ensuite, sauf pour le phosphore dont l'absorption est relativement étalée dans le temps. Il faut souligner l'exigence particulière en azote juste avant la floraison pour permettre une formation normale de l'épi.

En culture manuelle peu intensive, l'apport minimum est de vingt cinq à trente unités d'azote par hectare, quand le maïs a commencé sa montaison (environ quarante jours après le semis). Un apport d'engrais complet au semis (par exemple 30-30-30) est utile, mais rarement pratiqué.

### En Côte d'Ivoire et au Gabon

Pour un rendement visé de 30 q/ha, on recommande, en Côte d'Ivoire, un apport de 30-54-54 (soit 300 kg/ha de 10-18-18) au semis et 45 unités d'azote à la montaison. Et pour 50 q/ha, au Gabon, on recommande 120-70-60 au total, avec fractionnement de l'apport d'azote.

La teneur en matière organique du sol est une des clés de la culture du maïs. Les apports de fumier sont recommandés car le maïs réagit très positivement à la fumure organique, même à faible dose. Cet effet est particulièrement net dans les sols épuisés. Dans tous les cas, la restitution des résidus de récolte, transformés (fumier) ou simplement broyés et enfouis, est recommandée pour enrichir le sol en matière organique et limiter les exportations.

### ● L'entretien

L'enherbement exerce une concurrence très forte sur la culture du maïs, notamment entre quinze et quarante cinq jours après le semis.

Le sarclage manuel (on en effectue généralement trois) est actuellement la technique de lutte la plus pratiquée en zone tropicale. Le sarclage mécanique tend à se développer en culture attelée, mais aussi en culture motorisée : il permet des interventions rapides et moins pénibles qu'en travail manuel. Pour être réellement

efficaces, les sarclages doivent être effectués précocement sur des mauvaises herbes jeunes, le premier intervenant peu après la levée.

Un buttage léger des plants peut être recommandé. Il remplace le dernier sarclage et sert également à enfouir le second apport d'azote.

Depuis une vingtaine d'années, les herbicides ont été vulgarisés en zone tropicale sur maïs. La plupart sont à base d'atrazine, dont la dose ne doit pas dépasser 1 000 g/ha. Afin d'élargir son spectre d'efficacité, l'atrazine est associée en pré-levée de la culture et des mauvaises herbes à d'autres matières actives, telles que l'acétochlore, l'aclonifen, l'alachlore, l'isoxaflutole, le métolachlore, la pendiméthaline (intéressante sur *Rottboellia cochinchinensis*), etc.

Des produits comme le 2,4-D, le nicosulfuron, le prosulfuron, le rimsulfuron ou la sulcotrione sont également employés en post-levée de la culture et des mauvaises herbes.

L'entretien de la culture de maïs peut être effectué, en cours de culture, par des traitements dirigés avec des produits totaux comme le paraquat.

### ● La défense des cultures

Les maïs actuellement cultivés en milieu tropical sont pour la plupart issus de populations bien adaptées aux conditions locales. Ils sont assez résistants aux maladies. Les dégâts causés par les insectes au champ sont également restreints. La lutte chimique contre les maladies n'est quasiment jamais justifiée. La lutte chimique contre les foreurs n'est souvent pas rentable. En cas de fortes attaques sur des maïs hautement productifs, on peut cependant envisager l'épandage, avec des gants, d'insecticides granulés (fénitrothion, carbofuran, pyréthrinoides de synthèse ou endosulfan) disposés dans les cornets foliaires, au cours de la période de croissance de la tige. La lutte biologique est encore rarement maîtrisée.

### ● Les temps de travaux

Les temps des travaux par hectare de culture pure varient beaucoup en fonction du système de culture. Par exemple, un labour manuel à la daba demande plus de 200 h de travail, alors qu'il ne faudra que 20 à 30 h en culture attelée bovine et 6 h avec un minitracteur et une charrue bisoc.

**Tableau 2. Temps de travaux relevés par la CMDT au Mali pour un ha en culture attelée bovine**

Préparation du sol (labour + hersage)	30 h
Semis	6 h
Épandage d'engrais	4 h
Sarclage (un seul)	20 h
Buttage	18 h

La récolte, presque toujours manuelle, demande, en fonction de la densité, de 15 à 25 j/ha.

## ● **La récolte, la post-récolte et la qualité des produits<sup>5</sup>**

Un grain de qualité doit être sec et exempt de moisissures et d'insectes. Les conditions de séchage et de stockage sont primordiales pour y parvenir.

### ● **La récolte**

Le maïs peut être récolté en épis frais pour une consommation très rapide, ou à maturité pour être consommé en grains.

Les grains ne sont jamais récoltés secs, car la rafle, plus humide que le grain, empêche son humidité de descendre jusqu'à 12 %, taux nécessaire à une bonne conservation. Une récolte retardée permet un pré-séchage, mais ne peut se faire qu'en climat sec. Sinon, les spathes s'ouvrant à maturité, les pluies mouillent le grain, provoquant moisissures et germination. Une technique maya, le doublage, permet de retarder la récolte. Elle consiste à casser la tige, ce qui oriente l'épi vers le sol.

On peut récolter soit les épis, soit les grains. La récolte en épis est presque toujours manuelle en Afrique, mais elle peut être mécanisée. La récolte en grain se fait mécaniquement à l'aide de corn-shellers.

### ● **Le séchage**

Le grain doit très généralement être séché. Un séchage rapide est un gage de qualité, il empêche le développement de moisissures et parfois de mycotoxines.

Les techniques traditionnelles associent souvent séchage et stockage. Elles sont souvent efficaces, mais peu adaptées à une production importante. Les épis sont séchés au soleil, si possible démunis de leurs spathes dans les zones où la récolte se fait en saison sèche. Lorsque la récolte est réalisée au cours d'une période pluvieuse, l'utilisation de séchoirs est recommandée. Le *crib* peut être employé.

### ● **L'égrenage**

Il peut être réalisé immédiatement après la récolte si le maïs est déjà sec (l'humidité optimale du grain est de 13 %), après le séchage ou au fur et à mesure des besoins. Il reste le plus souvent manuel, avec ou sans l'aide de petites égreneuses, mais peut être mécanisé grâce à des égreneuses de capacité moyenne (200-300 kg/ha).

### ● **Le stockage et la protection des stocks**

Après égrenage, le grain sec est conservé en vrac, en sacs ou en silos, ou mieux, en greniers ou récipients (fûts vides) fermés hermétiquement.

Divers insectes attaquent les grains de maïs en cours de stockage, principalement des papillons et des charançons. L'infestation commence souvent au champ avant la récolte. En cas d'infestation grave, 90 % des grains peuvent être détruits au bout de six mois, en particulier dans le cas de grains farineux. L'emploi d'insecticide peut être justifié dès que l'on envisage de conserver du maïs pour une durée supérieure à trois mois.

<sup>5</sup> Cf. chapitre 437.

La spathe intacte constitue une barrière efficace. La protection de greniers traditionnels a été réalisée au Togo par poudrage au lindane des épis non déspathés (traitement en sandwich et traitement extérieur toutes les trois semaines).

Une protection contre les insectes peut se faire également en trempant les épis déspathés dans une solution aqueuse à base de malathion.

La conservation du maïs en grain peut être réalisée de façon satisfaisante par l'agriculteur à l'aide de pyrimiphos-méthyl ou de delthaméthrine.

Pour la protection des semences il est nécessaire d'employer des produits associant un insecticide et un fongicide. L'utilisation de produits insecticides systémiques tels que le carborufan ou le carbosulfan permet une protection de la plantule après germination ; toutefois ces produits sont onéreux, et, pour certains, toxiques.

## ● La mouture

Le grain destiné à la consommation humaine est réduit en semoule ou en farine soit au pilon, soit avec un moulin. L'aptitude du grain à la transformation soit en farine, soit en semoule est une caractéristique variétale.

Pour une conservation sans rancissement de la farine, le germe (riche en huile) doit être retiré. La mécanisation de cette opération au niveau artisanal est maintenant possible.

## ● La qualité du grain

À côté des maïs *normaux* qui représentent la quasi totalité des grains produits, il existe des grains avec des caractéristiques particulières :

> *les maïs sucrés* ou *sweet corn*, destinés à la consommation en épis frais, se conservent jusqu'à une semaine après la récolte ;

> *les maïs pop*, dont le grain éclate à la cuisson, connaissent un développement limité mais rapide dans plusieurs pays africains.

L'ITA propose quelques variétés ayant ces caractéristiques.

Les maïs riches en protéines (QPM) du CIMMYT ont un équilibre protéique amélioré, qui augmente significativement leur valeur nutritive. Mais le gène qui leur confère ce caractère étant récessif, ces maïs doivent être cultivés isolés de tout maïs *normal* sous peine de perdre leur qualité. C'est pourquoi leur usage est peu répandu, malgré leur intérêt.

## ● La multiplication des semences

La production semencière, dont les modalités varient en fonction de la formule variétale (variété à pollinisation libre ou hybride), utilise certaines techniques et respecte certaines règles.

## ● Les contraintes de la production semencière

Le maïs est une plante allogame dont le pollen peut être transporté par le vent sur d'assez grandes distances. Pour conserver la pureté variétale, il est impératif d'éviter tout apport de pollen étranger par isolement dans l'espace (absence de maïs à moins

de 300 m) ou dans le temps (pour deux variétés de même précocité, un décalage des semis d'un mois est généralement suffisant).

## ● Les étapes techniques de la multiplication

La multiplication des semences se déroule en trois étapes :

- > la production du matériel de départ relève d'organismes de recherche ;
- > la production des semences de base est réalisée à partir du matériel de départ. Les semences de base sont produites en parcelle isolée. Les plantes hors type ou malades doivent être éliminées avant la floraison. Une seconde élimination peut intervenir à la récolte. C'est à ce stade que sont produits les hybrides simples, parents des hybrides doubles ou trois voies ;
- > la production des semences commerciales est la dernière multiplication avant la culture par le paysan. Elle est également réalisée en parcelle isolée et soigneusement épurée. C'est l'étape de fabrication des semences hybrides destinées à la vente.

## ● Les quantités et les superficies

Pour déterminer les quantités de semences à produire aux différentes étapes, on part des besoins finaux, soit 20 kg/ha pour des densités de l'ordre de 50 000 plantes/ha. Ainsi, pour ensemençer 200 000 ha avec une variété à pollinisation libre, il faut 4 000 tonnes de semences commerciales. Celles-ci sont produites sur 1 500 ha qui nécessitent 30 tonnes de semences de base. Ces semences de base demandent 15 ha, soit 300 kg de semences de départ. Compte tenu de la sévérité accrue de l'épuration et des semences nécessaires pour la génération suivante, le sélectionneur sème donc environ 0,5 ha. Ce chiffre doit être modulé pour la fabrication d'hybrides, en fonction du ratio parent femelle/parent mâle et du rendement des lignées, en général nettement plus faible.

Pour 200 000 ha à semer, entre la production du matériel de départ et la mise à disposition des semences commerciales, il n'y a que trois générations, soit trois ans. La production des semences d'une variété à pollinisation libre est donc très rapide. Si la production semencière est effectuée par des paysans, les mêmes normes sont respectées.

## ● La production actuelle et ses perspectives

### ● Les évolutions des zones de production

Le maïs est, avec le blé et le riz, l'une des cultures les plus importantes pour l'alimentation directe ou indirecte de l'homme. Sa production mondiale approche 600 millions de tonnes par an. Avec plus de 40 % de cette production, les États-Unis se placent au premier rang des pays producteurs. Depuis les années 90, la production des pays industrialisés tend à stagner alors que les pays en développement, et en particulier ceux d'Asie, enregistrent une progression rapide de leur production.

La Chine représente actuellement 20 % de la production mondiale. L'Indonésie et les Philippines connaissent une croissance annuelle de leur production supérieure à 4 %. En Amérique latine (10 à 15 % de la production mondiale) et en Afrique subsaharienne (5 à 7 % de la production mondiale), la tendance est également à la croissance.

Sur l'ensemble des pays en développement, l'augmentation de la production est due essentiellement à l'extension des surfaces cultivées, les gains de rendement restant très modestes.

Les échanges internationaux de maïs se situent entre 60 et 70 millions de tonnes. Après le retrait du marché de l'Union Européenne, devenue autosuffisante, et des pays de l'ex-URSS, confrontés à une pénurie de devises, ce sont désormais les pays asiatiques industrialisés (Japon, Corée, Taïwan) ou en voie de l'être (Malaisie, Indonésie) qui animent la demande par leurs besoins accrus d'aliments pour le bétail. Les Etats-Unis assurent 60 à 75 % des exportations mondiales, suivis par l'Argentine.

### Les organismes de recherche

Voilà longtemps que le maïs fait l'objet d'une sélection active. Dans les pays tempérés l'amélioration variétale, qui vise la création d'hybrides, est menée par des établissements publics et par de très nombreuses sociétés privées. Pioneer, Sandoz Seeds et Limagrain dominent le marché mondial des semences de maïs. Les deux premières interviennent également en milieu tropical, à côté de sociétés le plus souvent nationales au Brésil, en Afrique du Sud et dans les pays d'Afrique de l'Est.

À l'échelle internationale, le CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo), dont la vocation est mondiale, et l'ITA (International Institute of Tropical Agriculture) en Afrique de l'Ouest, conduisent d'importants travaux de création variétale, offrant à la fois des variétés à pollinisation libre et des hybrides.

Dans les pays tropicaux, les organismes de recherche agronomique se fixent le plus souvent des objectifs nationaux ou régionaux, dans le cadre de réseaux. Deux organismes français poursuivent des recherches sur les maïs tropicaux : l'IRD et le CIRAD.

### ● Les questions à la recherche

En terme de variétés, la gamme existante est extrêmement large. Les variétés améliorées possèdent toutes un potentiel de rendement élevé, de bonnes qualités agronomiques et une tolérance suffisante aux principales maladies. Des résistances aux viroses existent. En revanche, les tolérances aux insectes, à la sécheresse ou à l'acidité du sol nécessitent encore des recherches pour être réellement utilisables.

Les techniques classiques de culture (travail du sol, fertilisants chimiques) sont au point. Le semis direct sous couverture demande en revanche à être adapté à de plus nombreuses situations agro-écologiques.

Des recherches sont nécessaires sur la transformation des grains, à la fois pour permettre la diversification de l'alimentation des urbains (mécanisation des préparations traditionnelles, nouveaux produits) et pour améliorer la qualité sanitaire des aliments.

## LE MIL

---

*Pennisetum glaucum*

Anglais : pearl millet (UK)

Espagnol : panizo nigro

Famille des Poaceae (ex graminées), tribu des Paniceae

### ● **Les utilisations du mil**

Le mil à chandelle ou mil pénicillaire reste une culture alimentaire très importante dans les régions semi-arides de l'Afrique et de l'Inde. Il existe une multitude de produits à base de mil sur les marchés qui sont généralement plus appréciés que ceux à base de sorgho. Les grains de cette céréale sont aussi utilisés pour l'alimentation animale. Après la récolte, les tiges de mil sont utilisées pour fabriquer des cases, des greniers et des concessions ainsi qu'en alimentation animale. La valeur énergétique du mil est de 780 calories/kg, l'une des plus élevées parmi les céréales.

### ● **La plante et son environnement**

#### ● **La plante**

#### ● **L'origine et la diversification**

Le genre *Pennisetum* comprend plus de 140 espèces. Le mil pénicillaire aurait été domestiqué au sud du Sahara où existent les centres primaires de diversité renfermant des espèces cultivées et des espèces sauvages fertiles. Cette culture s'est par la suite répandue à travers les zones tropicales semi-arides d'Afrique et d'Asie. De nos jours, une très large diversité de durées de cycle et de caractères morphologiques se rencontre en Afrique de l'Ouest et centrale.

#### ● **Les aires de culture**

Près de quinze millions d'hectares, soit un tiers des superficies en mil dans le monde, se situent en Afrique. 70 % de ces superficies se trouvent en Afrique de l'Ouest, dans des zones où la pluviométrie moyenne annuelle varie entre 200 et 800 mm. En Inde, le mil occupe la quatrième place après le riz, le blé et le sorgho. Il est cultivé dans des régions où la pluviométrie annuelle varie entre 150 et 750 mm.

#### ● **Les caractéristiques morphologiques**

La hauteur de la plante varie entre 1 et 3 m. Dans les zones humides, les plantes peuvent même atteindre 4 m de hauteur. Le système racinaire est concentré dans les trente premiers centimètres du sol, mais certaines racines peuvent descendre jusqu'à trois mètres de profondeur. Les feuilles ont une longueur variant de 20 à 100 cm pour une largeur variant entre 5 et 50 mm. La longueur de l'épi (ou chandelle) varie de 10 cm à plus de 100 cm.

### ● **Les modes de reproduction**

À l'intérieur d'une même fleur les organes femelles arrivent à maturité avant le pollen. Ce décalage favorise la fécondation croisée. Le mil est une espèce allogame (> 70 %) pour laquelle la pollinisation est essentiellement anémophile et occasionnellement entomophile. Ce mode de reproduction permet une utilisation aisée de l'hétérosis. Les semences des variétés et composites peuvent facilement être produites à travers un mécanisme impliquant les paysans. Des cultivars hybrides très performants sont en voie de développement, et sont testés en étroite collaboration avec les producteurs et les ONG, dans plusieurs pays en Afrique de l'Ouest et du Centre.

### ● **La variabilité génétique et les groupes de cultivars**

La fréquence élevée de croisements spontanés entre espèces cultivées et espèces sauvages explique la forte variabilité observée au niveau des populations ou variétés de mil. Outre la sélection naturelle, la sélection par l'homme a permis une augmentation significative de cette variabilité.

Les mils cultivés en Afrique sont classés en mils hâtifs ou précoces (75 à 100 jours) et mils tardifs (110 à 150 jours) :

- > *les mils hâtifs* (*guero* au Niger et Nigeria et *souna* au Sénégal et Mali) sont cultivés dans les zones à faible pluviométrie ;
- > *les mils tardifs* (*maiwa* ou *somno* au Niger et Nigeria et *sanio* au Sénégal et Mali) sont cultivés dans les régions les plus humides.

Des essais régionaux et des démonstrations en milieu paysans ont permis d'identifier des cultivars de mil très performants dans les différentes zones de production : zone sahélienne, zone soudanienne et zone nord-guinéenne.

### ● **L'écologie du mil**

Les pénicillaires sont des graminées de zones semi-arides chaudes avec des températures moyennes de 28°C pendant la saison de culture. Les mils sont généralement cultivés dans des zones ayant une pluviométrie variant entre 200 et 800 mm, répartis sur trois à six mois correspondant à la longueur de la saison des cultures. Le mil, moins exigeant que le sorgho, est généralement cultivé sur des sols légers et sablo-argileux bien drainés avec un pH faible. Il tolère la sécheresse, un faible niveau de fertilité des sols et des températures élevées.

### ● **La culture du mil**

#### ● **Les grands systèmes de culture**

Le mil est généralement cultivé en association avec d'autres céréales comme le sorgho et le maïs ou avec des légumineuses comme l'arachide et le niébé. Au Sahel, l'association mil-niébé est prédominante. Le niébé est semé deux à trois semaines après le mil. Avec des graines très petites, le mil exige une bonne préparation du lit de semences.

## ● Le choix de la variété

Les principaux critères de choix d'une variété sont :

- > les paramètres climatiques, notamment la pluviosité ;
- > les objectifs de la production : sécurité alimentaire ou rendement élevé ;
- > l'importance locale des dégâts provoqués par les maladies, le *striga*, les insectes et les autres ravageurs ;
- > l'importance des animaux dans les exploitations, qui peut justifier une production importante de paille au détriment de la production de grains.

## ● L'élaboration du rendement et les itinéraires techniques

### ● La mise en place de la culture

#### La préparation du sol

Le scarifiage et le labour du sol permettent un meilleur développement de la plante, augmentant ainsi le rendement. Le mil est cultivé sur des sols légers contenant plus de 65 % de sable, donc faciles à travailler.

L'utilisation de la traction animale et des engrais n'est pas encore très développée en Afrique. L'adoption d'hybrides plus productifs nécessite l'utilisation de techniques performantes permettant le maintien de la fertilité des sols.

#### Le semis

Il peut être réalisé à sec ou après une pluie de 20 mm ou plus. Le mil est habituellement semé en poquets, dont l'espacement varie entre 45 cm x 45 cm et 100 cm x 100 cm en champ paysan, en fonction du système de culture et de la nature du sol. Le nombre de grains par poquet varie de quarante à plus de cent.

Très souvent les semences sont traitées au thioral (80 % de thirame et 20 % de lindane) à raison de 50 g pour 10 kg de semence. L'Apron plus 50 DS est aussi utilisé pour le traitement des semences (10-15 g par kg de semences) pour réduire l'incidence du mildiou. En raison des sécheresses, des vents de sables et des températures élevées en début de saison des cultures, les seconds semis sont fréquents.

Le semis en ligne facilite l'exécution des sarclages en culture attelée. Généralement, les petits producteurs sèment dès les premières pluies sur un sol non préparé.

### ● L'entretien de la culture

Deux à trois désherbages sont réalisés à la main ou en traction animale. Le démariage à trois plants par poquet est fait au moment du premier sarclage, dix à quinze jours après le semis. Un buttage est effectué généralement trente jours après le semis. C'est une technique éprouvée qui peut augmenter le rendement de 350 à 450 kg/ha en année de faible pluviosité. En bonne année, le gain est de l'ordre de 100 kg/ha.

## ● La fumure

Le mil répond bien à la fumure organique et à la fumure minérale. Les doses annuelles proposées par la recherche au Niger sont :

- > 18 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (100 kg de phosphate super simple ou 50 kg de phosphate super triple) à la préparation du terrain ;
- > 46 N/ha (100 kg d'urée) en deux apports (au démarrage et à la montaison) ;
- > 5t/ha de fumure organique sous forme de fumier de parc ou de compost.

La rotation mil/légumineuse est intéressante : elle permet, par rapport à la monoculture, un gain de 200 à 350 kg/ha de grains. L'utilisation de la fumure (organique et minérale) et des billons augmente les rendements en grain et en paille. Le tableau 3 illustre cet effet par des tests menés au Mali.

**Tableau 3. Effet de la fumure organique, minérale et des billons sur le rendement en grains et en paille de deux variétés améliorées de mil**

	Rendement des variétés (t/ha)			
	ICMV IS 92222		ICMV IS 89305	
	Grain	Paille	Grain	Paille
1. Pratiques traditionnelles	0.27	1.24	0.30	1.56
2. Fumure minérale (F)	0.93	3.58	1.40	4.45
3. Fumure + fumure organique (M)	1.66	5.05	1.48	4.50
F + M + Billions	2.10	6.17	2.15	4.74

## ● La défense des cultures

### Les maladies cryptogamiques

*Le mildiou ou lèpre du mil ou encore maladie de l'épi vert, provoqué par Sclerospora graminicola, est présent dans toutes les zones millicoles. Cette maladie est surtout prépondérante dans les zones très humides. Les symptômes précoces (entre la levée et l'épiaison) sont le nanisme des plants atteints et des stries blanchâtres sur les feuilles qui se dessèchent et se dilacèrent. Les symptômes tardifs sont la dégénérescence des pièces florales, qui prennent l'aspect de feuilles avec production d'épis difformes. Des variétés résistantes et tolérantes ont été identifiées pour les zones de culture. Les sources de résistance identifiées feront l'objet de transfert en faveur des meilleures variétés locales. L'utilisation d'Apron plus 50 DS, fongicide systémique, a permis de réduire la maladie et constitue une technique facile à adopter pour améliorer la productivité du mil.*

*Le charbon du grain est provoqué par Tolyposporium penicillariae. Le moyen de lutte le plus efficace reste l'utilisation de cultivars résistants. Des techniques de criblage existent.*

*L'ergot ou maladie sucrée : pathogène, Claviceps fusiformis, attaque les épillets et provoque la formation d'un exsudat sucré sur les fleurs. L'utilisation de lignées résistantes à l'ergot dans le développement d'hybrides et de nouvelles variétés est prometteuse.*

### Les insectes

Comparé aux autres céréales, le mil est attaqué par un nombre limité d'insectes. Ils peuvent cependant revêtir une grande importance dans certaines régions de production en Afrique de l'Ouest. Les foreurs de tige (*Coniesta ignefusalis*), la mineuse

de l'épi (*Heliocheilus albipunctella*), les cantharides (*Psalydolytta spp.*) et les cecidomyliques sont parfois importants dans les cultures du mil en Afrique :

- > les cecidomyliques (*Geromyia penniseti*) pondent au moment de la floraison et provoquent l'avortement des grains. Les variétés précoces sont moins attaquées par les premières générations ;
- > les foreurs de tige sont souvent abondants mais avec une incidence économique faible en raison du fort pouvoir de tallage et de la tolérance des variétés cultivées ;
- > les cantharides sont de redoutables ravageurs en cas de pullulation et les pertes peuvent atteindre 80 à 100%. Les taux d'attaques sont moins élevés dans les associations que dans la culture pure ;
- > la mineuse de l'épi peut avoir des incidences économiques graves au Mali, en Gambie, au Niger et au Bénin.

### Le striga

*Striga hermontica* est une plante parasite qui constitue un danger redoutable pour le mil. Elle s'attache aux racines de la plante hôte et y prélève les éléments nutritifs. La plante hôte est affaiblie et, dans les cas d'infestation sévère, il n'y a pas de production d'épi. Il n'y a pas chez le mil de source connue de résistance au *striga*, même si les variétés précoces tendent à échapper à l'infestation. La sécheresse et la faible fertilité des sols favorisent l'infestation des parcelles par le *striga*. Une approche intégrée, associant différentes techniques culturales comme le désherbage manuel, la fertilisation et les techniques de conservation de l'humidité dans les sols, peut réduire de manière importante le niveau d'infestation par le *striga*.

## ● Les temps de travaux

Tableau 4. Temps de travaux (données collectées au Nord du Nigeria) en culture manuelle (en jours/ha)

Opération	Temps de travail
Préparation du sol	15
Semis	8
Entretien	40
Récolte	20
<b>Total</b>	<b>83</b>

## ● La récolte et les opérations post-récolte

Le mil est récolté essentiellement à la main. Les épis sont coupés et séchés au soleil avant d'être engrangés dans des greniers construits avec les résidus de culture ou de l'argile. Le mil est généralement stocké sous forme d'épi. Cette pratique permet de réduire les pertes liées au stockage.

## ● Les techniques de transformation

Presque toute la production de grain est destinée à l'alimentation humaine. Le mil est décortiqué et réduit en farine ou semoule, consommée sous forme de bouillie, pâte,

boule ou couscous. Des unités de transformation apparaissent autour des grands centres urbains, grâce à une amélioration des techniques de transformation : épierreur poly-céréales pour nettoyer les grains avant la transformation.

## ● La composition biochimique

Le grain de mil est un aliment nutritif très énergétique.

**Tableau 5. Composition alimentaire du mil**

Élément	Teneur (%)
Amidon	62,8 – 70,5
Protéine	5,8 – 20,9
Lipide	4,1 – 6,4
Cendre	1,1 – 2,5

Comparé aux autres céréales, le mil contient une proportion supérieure de protéines de bonne qualité (forte teneur en lysine). Il constitue également une bonne source de lipides. La détérioration de la farine de mil au cours de la conservation est probablement due à sa teneur élevée en lipides. Les vitamines, particulièrement la thiamine, la riboflavine et l'acide nicotinique sont bien représentées chez le mil.

## ● La production et les filières

**Tableau 6. Principales régions productrices de mil (source FAO)**

Régions productrices	Superficie récoltée 2001 (millions ha)	Rendement 2001 (t/ha)	Production 2001 (millions tonnes)
<i>Asie du Sud</i>	13,51	0,74	10,06
Inde	12,76	0,75	9,50
<i>Afrique</i>	20,36	0,65	13,33
Nigeria	5,91	10,32	6,10
Niger	5,30	0,41	2,20
Soudan	2,20	0,22	0,48
Burkina	1,15	0,63	0,72
Sénégal	1,10	0,58	0,63
Mali	1,05	0,76	0,80
<b>Total mondial</b>	<b>37,38</b>	<b>0,76</b>	<b>28,42</b>

Les filières restent peu organisées, alors que l'industrie agroalimentaire montre un intérêt croissant pour l'utilisation du mil dans la fabrication de produits alimentaires. Cette stimulation de la demande pourrait faire du mil une culture commerciale. Une réorganisation de la filière va donc probablement s'opérer pour répondre aux nouvelles demandes du secteur de la transformation agroalimentaire.

## ● La recherche

La recherche doit mettre l'accent :

- > sur les activités à l'aval : amélioration des technologies de transformation et stimulation de la demande de produits à base de mil ;
- > sur le développement de variétés et d'hybrides performants répondant aux critères des transformateurs et utilisateurs, et adaptés aux différentes zones de culture ;
- > sur l'amélioration chez les producteurs des pratiques culturales (fumures organiques et minérales).

## LE RIZ

---

*Oryza sativa* L et *Oryza glaberrima*

Anglais : rice

Espagnol et Portugais : arroz

Famille des Poaceae

## ● Les utilisations du riz

Le riz est la céréale la plus cultivée dans le monde (environ 150 millions d'hectares). Elle constitue l'aliment de base de plus de la moitié de l'humanité. Outre son utilisation directe dans l'alimentation humaine, les grains de riz servent à fabriquer alcool, amidon et dérivés, huile, produits pharmaceutiques, aliments diététiques, etc.

Les sous-produits de transformation (brisure, farine, tourteau) et la paille sont utilisés en alimentation animale. Les balles de riz servent de combustible et les cendres d'engrais. La paille est également utilisée comme litière, comme matière première pour la fabrication de pâte à papier ou encore pour la fabrication de papier mural.

## ● La plante et son environnement

### ● La plante

### ● Les origines et la diversité

Les riz cultivés appartiennent au genre *Oryza* qui comporte vingt trois espèces. Ces espèces sont aujourd'hui distribuées sur tous les continents, mais l'origine du genre *Oryza* est eurasiatique.

Deux espèces sont cultivées. L'une d'origine africaine, *O. glaberrima*, est cantonnée presque uniquement en Afrique de l'Ouest ; l'autre d'origine asiatique, *O. sativa*, est présente aujourd'hui sur les cinq continents. Les deux espèces sont diploïdes ( $2n = 24$ ) et autogames.

*O. glaberrima* est issue de la domestication, probablement dans le delta intérieur du Niger, de l'espèce annuelle *O. breviligulata*, elle-même issue de l'espèce pérenne à rhizome *O. longistaminata*. Du fait de sa faible productivité, la culture de cette espèce est aujourd'hui cantonnée à des systèmes de culture très marginaux. Par contre, elle est

de plus en plus utilisée comme source de caractères d'intérêt agronomique dans les programmes d'amélioration variétale du riz pour l'Afrique.

La domestication d'*O. sativa* à partir d'*O. rufipogon*, en Inde et en Chine, remonterait à plus de 8 000 ans. Son arrivée au Japon daterait du 1<sup>er</sup> siècle. Les navigateurs malais ont introduit le riz de l'Indonésie à Madagascar vers le IV<sup>e</sup> siècle. Les Européens ont introduit le riz asiatique en Afrique à partir du XV<sup>e</sup> siècle et plus tard en Amérique.

*O. sativa* présente une grande diversité de formes. Ces formes ont été classées au sein de deux sous-espèces *indica* et *japonica*. Basée au départ sur des caractères morpho-physiologiques et sur le comportement en croisement, cette classification a été confirmée par les outils biochimiques et moléculaires d'analyse de la variabilité génétique.

La sous-espèce *indica* regroupe des variétés de culture aquatique tropicale, à tallage fort, à feuilles fines, à grain le plus souvent mince (longueur/largeur du grain > 3). Les variétés traditionnelles sont de taille haute, supérieure à un mètre ; les variétés *modernes* destinées à la riziculture irriguée intensive portent un gène de nanisme leur conférant une hauteur inférieure à un mètre.

La sous-espèce *japonica* comporte deux types morphologiques :

- > *japonica tempéré* : variétés pour la culture irriguée en Asie tempérée, dans le bassin méditerranéen et aux Etats-Unis, à tallage moyen, à feuilles fines et à grain le plus souvent court et arrondi ;
- > *japonica tropical* : variétés de culture essentiellement pluviale, à tallage faible, feuilles larges et grain le plus souvent long et large.

Le riz est la céréale qui a le plus petit génome et celui qui se prête le plus facilement à des manipulations génétiques. De ce fait, il est utilisé par les généticiens comme plante modèle. L'amélioration variétale du riz bénéficie de plus en plus des applications des biotechnologies.

La longueur du cycle végétatif varie de quatre-vingt à plus de deux cent cinquante jours selon les variétés et constitue souvent un critère important de classification et de choix variétal. Celle de la phase reproductive, épiaison à maturité, est peu variable (trente-cinq à quarante-cinq jours) et dépend surtout des conditions de culture. La plupart des variétés traditionnelles de riz, notamment les *indica*, sont photosensibles : l'initiation paniculaire nécessite des journées courtes et, sous une latitude donnée, la date de floraison est peu liée à la date de semis. La durée du cycle semis-épiaison dépend donc de la date de semis.

La collection mondiale des écotypes de riz cultivé, conservée par l'IRRI, comporte plus de cent mille entrées. Il existe de nombreuses autres collections de ressources génétiques à vocation régionale ou nationale. Sur chaque continent et dans chaque pays, des centres internationaux de recherche (IRRI en Asie, CIAT en Amérique du Sud et ADRAO en Afrique) et des services nationaux de recherche et de développement tiennent à jour des listes de variétés recommandées pour différents écosystèmes et différents systèmes de culture du riz.

Compte tenu de l'autogamie stricte du riz, les variétés cultivées sont généralement des lignées pures. Cependant la production de semences hybrides F1 est possible grâce à la stérilité mâle géno-cytoplasmique. En Chine, les cultivars hybrides F1 couvrent plus de la moitié des superficies cultivées en riz.

## ● **Les caractéristiques morphologiques**

Le riz est une plante herbacée annuelle, plus ou moins pubescente, à chaume dressé (sauf pour les variétés flottantes), disposée en touffe et portant des inflorescences en forme de panicule.

La plante développe successivement trois types de racines : la racine séminale, les racines du mésocotyle et les racines nodales. Le système racinaire est très abondant, ramifié et superficiel chez les variétés aquatiques, moins ramifié, de plus grand diamètre et plus profond chez les variétés pluviales.

Chaque grain germé donne naissance à une touffe pouvant compter jusqu'à trente talles au stade végétatif. Un nombre limité de ces talles, jusqu'à une quinzaine, produit des panicules. La hauteur de la plante à maturité varie de 0,60 m à plus de 2 m selon les variétés et peut aller jusqu'à 5 m pour les variétés flottantes.

L'inflorescence est une panicule ramifiée de 20 à 40 cm pouvant porter plus de cent fleurs ou épillets. Les organes reproducteurs sont entourés de deux petites glumes et deux glumelles emboîtées. À maturité ces enveloppes et le caryopse issu du développement de l'ovaire constituent le grain paddy. Selon les variétés, la glumelle inférieure est plus ou moins aristée. Sa couleur à maturité varie du paille claire au pourpre foncé en passant par des teintes dorées. Le caryopse est composé des téguments et de l'albumen. Les téguments peuvent être diversement colorés : brun rouge, gris, violet. L'albumen est plus ou moins translucide en fonction de sa teneur en amylose. Chez les variétés glutineuses, l'albumen est opaque, blanc et crayeux; sa teneur en amylose est voisine de zéro. Le poids de 1 000 grains de paddy varie de 20 à 45g.

## ● **L'écologie du riz**

Grâce à la très grande diversité morpho-physiologique de ses écotypes, le riz est cultivé dans des conditions écologiques très variées allant du pluvial strict à des situations inondées où la lame d'eau peut atteindre 5 m.

## ● **Les climats**

### **La latitude et l'altitude**

Les deux paramètres agissent sur le riz par l'intermédiaire des températures. La latitude agit de plus par l'intermédiaire de la photopériode. Le riz est cultivé depuis le 40° Sud, en Argentine, jusqu'à 53° Nord, en Chine. Cependant sa principale zone de culture est l'Asie intertropicale. La plus haute altitude de culture se situe au Népal à plus de 3000 m, mais la plus grande partie des surfaces cultivées se trouve au dessous de 300 m.

### **La température**

**Tableau 7. Températures de l'air nécessaires à la culture du riz**

Etape de développement	Températures de l'air (°C)		
	<i>Minimum</i>	<i>Optimum</i>	<i>Maximum</i>
Germination	14-16	30-35	42
Tallage	16-18	28-30	40
Floraison	22	27-29	40
Maturation		25	40

En culture aquatique, la température de l'eau est également importante. Le minimum est de 13-14°C, l'optimum de 30-34°C et le maximum de 38-40°C. À 50°C la plante meurt.

### **L'hygrométrie**

Les rendements les plus élevés sont obtenus en culture irriguée sous des climats très secs (Egypte, Australie et Californie). La floraison, phase la plus sensible, nécessite une humidité de 70 à 80 % et une humidité élevée favorise le développement des maladies.

### **Le vent**

Léger, le vent a un effet favorable car il accélère la transpiration ; fort, il peut arracher les jeunes plants ou provoquer la verse et l'échaudage à maturité.

### **La lumière**

Le riz est une plante exigeante en lumière. Pour un cycle de culture de 120-130 jours, la somme des radiations solaires nécessaires correspond à 1 000 à 1 200 heures d'ensoleillement, le minimum étant de 400 heures. Les rendements les plus élevés sont obtenus sous forte luminosité : 400 cal/jour/cm<sup>2</sup>. En zone équatoriale où le ciel est souvent couvert, la faible luminosité constitue un facteur limitant de la production.

### **La pluie et les besoins en eau**

En culture sèche, il faut de 160 à 300 mm par mois pendant toute la durée du cycle, soit 1000 à 1800 mm. La phase d'initiation paniculaire est particulièrement sensible. En culture irriguée, il faut 12 000 à 20 000 m<sup>3</sup>/ha pour maintenir le sol submergé pendant toute la durée du cycle du riz. Les pluviosités élevées sont nuisibles par leurs effets mécaniques, notamment en période de floraison et de récolte, et par la nébulosité qui les accompagne.

#### ● **Le sol**

En culture aquatique, les sols les plus adaptés sont ceux à texture argilo-limoneuse (70 % d'éléments fins), riches en matière organique avec un pH de 6 à 7. Les sols alluvionnaires ou colluvionnaires des bas-fonds, des plaines inondables et des deltas des grands fleuves sont particulièrement adaptés. Mais le riz est aussi cultivé sur des sols très organiques (anciennes tourbières), sur des sols salés (jusqu'à 1 % de salinité) ou en présence d'ion sulfure ou d'ion sulfate dans certaines zones de mangrove. Le riz supporte des pH de 4 à 8.

En culture sèche, le riz nécessite un sol riche et meuble, avec une bonne capacité au champ car le riz est particulièrement sensible à la sécheresse. Le pH optimum est de 6 à 7.

#### ● **La culture du riz**

#### ● **Les écosystèmes**

On distingue deux grands types d'écosystèmes rizicoles en fonction du régime hydrique.

## ● **Les écosystèmes aquatiques**

Ils sont caractérisés par la présence d'une lame d'eau, au moins temporaire. Ils représentent 88 % des superficies de culture de riz et peuvent être subdivisés en deux sous-types.

### **La riziculture irriguée**

Dans la riziculture irriguée, la date d'arrivée et du retrait ainsi que la hauteur de la lame d'eau sont maîtrisées (55 % des superficies).

C'est dans ce type de riziculture que s'est faite la révolution verte des années 60 : l'utilisation simultanée de variétés demi-naines potentiellement très productives, d'engrais minéraux et de pesticides, associée à une bonne maîtrise de l'enherbement, grâce au repiquage et au désherbage manuel, a permis d'atteindre des rendements moyens de 4 à 5 t/ha. Le système de culture est souvent la monoculture du riz. L'utilisation de variétés précoces et non photosensibles permet jusqu'à trois cycles de culture par an. Avec l'accroissement du coût de la main-d'œuvre, la tendance est à l'abandon du repiquage au profit du semis direct.

Le défi majeur est l'amélioration du niveau de production avec des techniques plus respectueuses de l'environnement et plus économes en eau.

### **La riziculture inondée**

Dans la riziculture inondée, ni les dates d'arrivée et de retrait, ni la hauteur de la lame d'eau ne sont maîtrisées.

Le système de culture le plus répandu est le semis direct. Les rendements dépassent rarement 4 t/ha. La préoccupation majeure est la stabilité des rendements autour de 3 t/ha. Les variétés utilisées doivent être rustiques, leur hauteur et leur cycle bien adaptés au régime hydrique.

On distingue les situations de submersion de 0 à 50 cm (23 % des superficies) de celles où la submersion correspond à une lame d'eau de plus de 50 cm, dont les riz flottants (10 % des superficies).

## ● **La riziculture pluviale**

La culture sans submersion est alimentée par les pluies ou par la nappe phréatique. Ce système représente 12 % des superficies rizicultivées mondiales (40 % en Afrique). Le riz pluvial est traditionnellement cultivé dans des systèmes itinérants d'abattis-brûlis.

Ces systèmes sont de moins en moins productifs du fait du raccourcissement de la durée des jachères (rendements de 1 t/ha au lieu de 2 t/ha). Ils se heurtent aussi de plus en plus à la préoccupation de protection des forêts. La fixation de la riziculture pluviale est un enjeu important de développement. Les exemples de certaines zones densément peuplées d'Afrique et de certaines grandes exploitations du Brésil montrent qu'elle est techniquement possible.

## ● **L'élaboration du rendement**

Le rendement du riz est donné en paddy à 14 % d'humidité. Il représente moins de la moitié du rendement biologique qui est le poids total de la matière sèche produite.

### Calcul du rendement en grain

Il est réalisé avec la formule suivante :

Rendement (t/ha) = (nombre de plantes par m<sup>2</sup>) x (nombre de panicules par plante) x (nombre de grains par panicule) x (% de grains pleins) x (poids de 1 000 grains en grammes) x 10<sup>-5</sup>.

Par exemple, dans une parcelle de riz irrigué parfaitement conduite le rendement sera égal à :

$10 \times 25 \times 158 \times 95 \times 25 \times 10^{-5} = 9,38$  t/ha de paddy.

Les composantes du rendement dépendent aussi des conditions de culture. Elles sont aussi très interdépendantes : par exemple un faible nombre de plante au m<sup>2</sup> peut être en partie corrigé par un tallage plus élevé ou par un plus grand nombre de grains par panicule.

Les techniques culturales et les conditions climatiques ont une influence décisive sur chacune des composantes du rendement en grain. En revanche, elles ont un effet limité sur l'indice de récolte (rendement en grain/production totale de matière sèche), qui est avant tout une caractéristique variétale.

### ● Les itinéraires techniques

Les itinéraires techniques sont fortement influencés par le système d'alimentation hydrique : culture irriguée, inondée ou pluviale. Lorsque cette alimentation dépend directement des pluies, le calage du cycle par rapport à la saison des pluies (date de semis, date d'épiaison, longueur du cycle) revêt une importance capitale.

### ● La mise en place de la culture

Les modalités de mise en place de la culture sont très variées. On en distingue deux grandes : repiquage et semis direct ; ce dernier pouvant être subdivisé selon l'état du sol au moment du semis et selon la conduite de l'eau après le semis.

#### La préparation du sol

Elle comprend un ou deux labours et plusieurs hersages en sol sec ou après la mise en eau lorsque la mise en place de la culture se fait sur boue. Le labour de fin de cycle est recommandé pour enfouir les résidus de récolte et aérer le sol. La préparation du lit de semis ou la mise en boue doit intervenir juste avant le semis ou le repiquage de manière à laisser un sol exempt de mauvaises herbes. Ces opérations peuvent être réalisées aussi bien en culture mécanisée qu'en culture attelée ou manuelle. En culture pluviale sur abattis-brûlis ou sur couverture végétale, le sol n'est pas travaillé.

#### La pépinière

L'établissement d'une pépinière consiste à assurer la première phase du développement du riz dans un milieu bien contrôlé. Sur de petites planches de 10 à 20 m<sup>2</sup> le sol est ameubli, débarrassé de toutes mauvaises herbes, fumé, notamment avec du P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, mis en boue et nivelé.

Des semences préalablement triées et traitées avec un mélange fongicide-insecticide, prégermées ou non, sont semées à une dose de 10 à 20 kg pour 100 m<sup>2</sup> de pépinière. Il faut 400 m<sup>2</sup> de pépinière pour un hectare de rizière, soit un rapport de 1 à 25. La pépinière est submergée après la levée en suivant le développement du riz, sans

toutefois dépasser 10 cm. Une méthode particulièrement sophistiquée utilisant un film plastique, la pépinière *dapog*, a été mise au point aux Philippines. Elle permet de réduire les superficies et les quantités de semences utilisées. Son utilisation nécessite d'avoir des rizières parfaitement aplanies.

### **Le repiquage**

Le paramètre le plus important est l'âge des plants au repiquage. L'optimum est de vingt à trente jours ; au-delà il existe une corrélation négative entre l'âge des plants et le potentiel de production.

Les plants à repiquer sont arrachés, lavés, bottelés, habillés et repiqués le jour même ou dans les deux jours au maximum. La profondeur du repiquage est de 2 à 5 cm (au-delà, il y a diminution de la capacité de tallage) et le nombre de brins par touffe est de trois à dix en fonction de la fertilité du sol qui favorise le tallage, et de l'âge des plants qui diminue le tallage. La reprise intervient cinq à quinze jours plus tard, en fonction de l'âge des plants au repiquage.

### **Le semis direct**

Trois modalités sont distinguées selon l'état hydrique du sol au moment du semis : semis sur boue, semis dans une lame d'eau de 5-10 cm et semis à sec. Les deux premières concernent uniquement la riziculture irriguée (bon planage et bonne maîtrise de l'eau), la troisième est utilisée aussi bien en riziculture irriguée intensive (Australie, Etats-Unis, Europe) qu'en riziculture inondée (Afrique, Asie) et en riziculture pluviale. Le semis direct est le plus souvent réalisé à la volée. Dans les systèmes sans travail du sol, il est toutefois réalisé en poquets.

Par rapport au repiquage, le semis direct présente l'avantage d'être plus économique en main-d'œuvre en début de cycle, de ne pas faire subir aux jeunes plants un choc physiologique qui allonge le cycle, et de mieux se prêter à la culture mécanisée. Ses inconvénients majeurs sont une plus grande consommation en semence et, surtout, une plus grande pression des adventices nécessitant plus de désherbage mécanique ou chimique.

## ● **L'entretien**

### **L'irrigation**

La lame d'eau est un outil de lutte contre les mauvaises herbes, un volant thermique, un régulateur de pH et un régulateur de la croissance et du développement du riz. En général, elle est augmentée progressivement avec le développement du riz, puis stabilisée à une hauteur de 10 à 25 cm jusqu'à la floraison. En cours de maturation, on assèche progressivement la rizière ; ceci est important pour la qualité du grain. Il existe des techniques plus sophistiquées d'irrigation pour augmenter l'efficacité de l'eau. Selon le type de sol, la longueur du cycle du riz et les modalités d'irrigation, l'efficacité de l'eau varie de 0,2 à 1,2 g de paddy par litre d'eau consommé.

### **Le contrôle des adventices**

Dans la grande majorité des cas, les adventices sont le premier facteur limitant de la production rizicole. Les mesures préventives sont rarement suffisantes : semences indemnes de graines d'adventices, nettoyage des canaux et diguettes, bonne préparation du sol, emploi judicieux des rotations de culture et bon contrôle de l'eau. Il faut

avoir recours au désherbage mécanique ou chimique. Quelle que soit la méthode, l'efficacité du désherbage dépend de sa précocité.

Le désherbage mécanique, qu'il soit manuel ou utilise des outils tractés, est plus facile dans les cultures en ligne. Deux désherbages sont souvent nécessaires : quinze à trente jours après la levée ou le repiquage en première intervention ; vingt à trente jours plus tard pour la seconde.

Les modalités de désherbage chimique (pré-levée ou post-levée, en présence ou non d'une lame d'eau) doivent être adaptées à celles de la mise en place de la culture (repiquage ou semis direct), au niveau de maîtrise de l'eau et aux types d'adventices présentes. Le choix des produits doit aussi prendre en compte les risques environnementaux, dont celui d'apparition de résistances chez les adventices.

### ● **La fumure**

Les prélèvements totaux pour produire une tonne de paddy sont de 16 à 24 kg de N, 3 à 7 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 30 à 55 kg de K<sub>2</sub>O, 100 à 200 kg de silice (Si) et 2 à 5 kg de Ca, Mg et S.

L'efficacité d'absorption de l'azote minéral varie de 20 à 60 % en fonction des conditions (type de sol, maîtrise de l'eau, pH et température de l'eau), des doses et modalités d'apport (fractionnement ou non) et des variétés. Les besoins sont particulièrement importants au tallage et à l'initiation paniculaire. Le phosphore est absorbé à un rythme régulier jusqu'à la floraison. Le potassium est absorbé en grande partie après la montaison, et plus de 80 % du potassium absorbé est stocké dans les pailles.

### ● **La protection de la culture**

#### **Les maladies**

- > *Les maladies fongiques* : la principale est la pyriculariose (*Magnaporthe grisea*). Elle est présente sur tous les continents et dans tous les systèmes de culture. Son importance dépend de la présence d'inoculum (variable selon les régions), du stade de développement de la plante et du niveau de résistance de la variété de riz. La maladie est favorisée par des degrés élevés d'humidité de l'air, par la sécheresse du sol et par des doses élevées d'azote. La lésion foliaire typique est en forme de fuseau, gris vert au début, brun pâle avec un centre gris et entourée d'un liseré brun par la suite. Il existe des fongicides efficaces, largement utilisés dans certains pays d'Asie, mais la résistance variétale reste la composante principale de toutes les stratégies de lutte contre cette maladie. Les autres maladies fongiques (Helminthosporiose, rhynchosporiose, cercosporiose, flétrissement des gaines dû à *Rhizoctonia solani*) provoquent rarement des dégâts significatifs.
- > *Les maladies bactériennes* : la principale est le flétrissement bactérien (*Xantomonas campestris* *pv.* *Oryzae*) présent surtout en Asie. Viennent ensuite les stries bactériennes (*Xantomonas translucens*) et la pourriture brune des gaines (*Pseudomonas fuscovaginae*); cette dernière a été identifiée récemment en zone d'altitude à Madagascar. La lutte contre ces maladies passe par l'utilisation de variétés résistantes.

> *Les maladies virales* : trois maladies virales atteignent des proportions épidémiques. Il s'agit du tungro causé par un complexe de virus en Asie, du hoja blanca (RHBV) en Amérique du Sud et de la panachure jaune (RYMV) en Afrique. Les symptômes sont divers types de décolorations foliaires accompagnées de nanisme et de retard à l'épiaison, pouvant entraîner la mort de la plante. La résistance variétale est la principale stratégie de lutte.

### Les insectes

Le riz est l'hôte de plusieurs centaines d'espèces d'insectes dont une trentaine provoquent des pertes significatives au champ ou en cours de conservation du paddy.

Des mineuses et destructeurs des feuilles s'attaquent au riz dès le stade plantule ; les espèces varient d'une région à l'autre. Les attaques des foreurs de tige lépidoptères (Pyrales et Noctuelles) se traduisent par des *cœurs morts* et des *panicules blanches*, celles des diptères (Diopsides et Cecidomyies) par des *feuilles d'oignon*. Au cours de la phase reproductive, de nombreuses cicadelles s'attaquent aux feuilles du riz et sont responsables de la transmission de maladies virales. Enfin, de nombreuses punaises s'attaquent au grain de riz en cours de maturation.

L'évaluation économique du degré de nuisance de ces insectes est difficile à réaliser. Elle est cependant nécessaire avant d'envisager des traitements chimiques. Lorsque le recours aux insecticides est nécessaire, il faut éviter les produits à large spectre qui peuvent avoir un effet négatif sur les populations de parasites et de prédateurs de l'insecte visé. Parmi les insectes s'attaquant aux grains de riz récoltés, le charançon (*Sitophilus oryzae*) est de loin le ravageur le plus sérieux. En zone humide, il est recommandé de traiter même le paddy destiné à la consommation.

### ● Les temps de travaux

Le nombre de journées de travail par hectare varie beaucoup selon les systèmes de culture : cent cinquante jours en système mixte manuel et culture attelée à Madagascar, moins de dix jours en système très mécanisé aux Etats-Unis.

Tableau 8. Temps de travaux dans divers pays selon divers systèmes de culture du riz (en journées/hectare)

Opérations culturales	Riz pluvial itinérant Côte d'Ivoire	Riz inondé - culture attelée : Mali	Riz irrigué - culture manuelle : Vietnam	Riz irrigué - culture mécanisée : Etats-Unis
Abattage-brûlis, clôture	58			
Fertilisation				
Labour		5	22	1
Fertilisation		2		(1)
Préparation lit de semis		2	18	1,4
Entretien digues				
Pépinière			11	
Semis	24	2		2,1
Arrachage, transport plants			10	
Repiquage			35	
Irrigation			30	
Sarclage	49	60	30	(2)
Récolte	36	20	35	0,2
Battage		10	7	0,3
Séchage vannage		10	6	
Déchaumage			13	
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>111</b>	<b>217</b>	<b>5</b>

(1) Les temps de travaux sont donnés en journées/hectare ; (2) Travaux effectués par avion à la tâche.

## ● La récolte et les opérations post-récolte

### ● La récolte

Le stade de récolte permettant le meilleur rendement à l'usinage est celui où la majorité des panicules ont leur axe principal sec sur un tiers de la longueur. La récolte comprend quatre opérations : coupe, séchage, battage et nettoyage.

### ● La coupe

Elle est réalisée au couteau au-dessous du nœud paniculaire, à la faucille ou à la faux à 20-30 cm au-dessus du sol, ou encore avec des outils motorisés associant ou non la coupe et le battage. En Asie, les machines qui coupent seulement les panicules ou qui les égrènent sans couper la paille sont très appréciées.

### ● Le séchage

En système traditionnel, les tiges coupées sont laissées sur le sol trois à quatre jours pour un premier séchage. Puis les gerbes sont rassemblées en meule pour poursuivre le séchage tout en protégeant les grains des rayons du soleil. En cas d'utilisation d'une moissonneuse-batteuse, ce sont les grains qui sont séchés sur une aire de séchage ou dans des installations plus sophistiquées. L'opération de séchage est particulièrement importante dans les régions très pluvieuses et dans les systèmes de double ou triple culture annuelle du riz.

### ● Le battage

En système traditionnel, il est réalisé en frappant les gerbes contre une pierre, une planche ou un tonneau, au bâton, au fléau ou encore par le piétinement d'animaux ou de véhicules à moteur. Des batteuses à pédale sont largement utilisées en Asie

depuis plusieurs décennies. Le recours à la batteuse à moteur constitue souvent le premier pas vers la mécanisation de la culture du riz. Il existe un grand choix de capacités.

### ● **Le nettoyage**

Le nettoyage traditionnel est fait par vannage au vent. Les batteuses modernes sont équipées de dispositifs de ventilation qui permettent la séparation du grain des matières légères : pailles, poussières et grains vides.

### ● **L'étuvage et le décortilage**

Lorsque la production du riz est destinée à l'autoconsommation et à la vente de détail sur les marchés locaux, deux autres opérations sont réalisées à la ferme : l'étuvage et le décortilage.

L'étuvage est une pratique très ancienne. Aujourd'hui, 15 à 20 % de la production mondiale de riz serait étuvée. L'étuvage domestique consiste en un trempage du paddy dans de l'eau chaude suivi d'un séchage. Le principal objectif est de réduire le taux de brisure au décortilage. L'opération améliore aussi la valeur nutritive du riz en favorisant la migration des protéines et des vitamines depuis le tégument vers l'intérieur du grain (elles ne sont ainsi pas éliminées à l'usinage) et modifie sa qualité à la cuisson. Si le trempage est mal maîtrisé, des fermentations microbiennes anaérobies détériorent la qualité du riz et lui donnent une odeur désagréable.

Le décortilage consiste à séparer le caryopse de ses enveloppes, glumes et glumelles. Le produit obtenu est le riz cargo. Le décortilage à la ferme au pilon est de plus en plus rare. Il cède la place aux petites décortiqueuses motorisées artisanales présentes sur les marchés ruraux.

### ● **La qualité du riz**

De l'agriculteur au consommateur, chaque acteur de la filière a ses propres exigences de qualité. Pour les transformateurs et commerçants, le critère le plus important est le rendement au décortilage et au blanchiment. Le pourcentage de grains entiers dépend, outre les conditions de culture et les procédés de transformation, du format du grain. Les grains ronds et demi-longs sont peu sensibles aux conditions de transformation : même les décortiqueuses multi-usages et le décortilage manuel au pilon donnent de bons résultats. Par contre, l'obtention de rendements acceptables avec les grains longs nécessite des installations industrielles spécialisées ou la pratique de l'étuvage. Les classifications sur le marché se font en fonction de la longueur et du format, du goût (aromatique ou non) et de l'aspect après cuisson (gluant ou non).

#### **Catégories de longueur et format de grain**

Les catégories de longueur (L) du grain décortiqué sont les suivantes (en mm) : très long ( $L > 7$ ), long ( $6 < L < 7$ ), demi long ( $5 < L < 6$ ) et court ( $L < 5$ ).

Les formats de grain (longueur/largeur (L/l) du grain décortiqué) sont les suivants : mince ( $L/l > 3$ ), moyen ( $3 > L/l > 2,4$ ), épais ( $2,39 > L/l > 2$ ) et rond ( $L/l < 2$ ).

Pour les consommateurs, les critères d'appréciation les plus importants sont la tenue à la cuisson (riz plus ou moins collant en fonction de la teneur en amylose), l'aptitude au gonflement, le goût et la possibilité de conservation après la cuisson. Viennent ensuite la taille du grain et sa couleur, la fermeté et l'odeur du riz cuit, ainsi que la vitesse de cuisson. Les citadins peuvent parfois être plus sensibles que les ruraux à ces derniers critères, d'où l'engouement pour les riz Basmati et certaines variétés thaï à grain long, mince et aromatique.

## ● *La production actuelle et ses perspectives*

### ● **La situation actuelle et les évolutions récentes**

L'Asie domine la production mondiale avec 91 % de la production et 89 % des surfaces. L'augmentation continue de la production depuis 1975 s'est faite essentiellement par l'augmentation des rendements. Vient ensuite l'Amérique du Sud avec 3,6 % de la production et 4 % des surfaces, le Brésil représentant plus de 54 % de cette production. L'Afrique assure 2,9 % de la production mondiale sur 4,8 % des surfaces rizicultivées. En Afrique du Nord, l'Égypte dispose d'une riziculture très performante : des rendements moyens de 7 t/ha sur 450 000 ha. En Afrique de l'Ouest, l'essentiel des augmentations de production des vingt dernières années est lié à l'augmentation des superficies. Le plus grand producteur est le Nigéria, viennent ensuite la Côte d'Ivoire, la Guinée et le Mali.

**Tableau 9. Evolution de la production de riz dans le monde**

Continent ou pays	Superficies en 2000 (1 000 ha)	Production en 2000 (1 000 t)	Production 1970 (1 000 t)	Accroissement de la production 1970-2000 (%)
<b>Monde</b>	<b>154 000</b>	<b>598 240</b>	<b>316 380</b>	<b>90</b>
<b>Asie</b>	138 030	544 870	290 100	90
<b>Afrique</b>	7 650	16 730	7 330	130
<b>Amérique du Sud</b>	5 702	20 690	10 440	100
<b>Bangladesh</b>	10 900	36 360	16 710	120
<b>Chine</b>	30 300	189 810	113 100	70
<b>Inde</b>	45 790	129 440	63 340	105
<b>Indonésie</b>	11.610	51 180	19 330	165
<b>Thaïlande</b>	9 760	25 610	13 850	85
<b>Vietnam</b>	7 670	32 530	10 170	220
<b>Myanmar</b>	6 300	21 320	8 160	160
<b>Philippines</b>	4 040	12 390	5 580	120
<b>Brésil</b>	3 660	11 090	7 550	50

Source : FAO, 2002

## ● Les perspectives

La consommation annuelle moyenne de riz par habitant dans le monde varie de moins de 5 kg à près de 200 kg de riz blanchi ; la moyenne est de 65 à 70 kg. De 2000 à 2025, la demande de riz devrait augmenter à un rythme annuel de 1,7 % dans le monde et 2,1 % en Asie.

En Asie, l'augmentation de la production ne peut plus guère venir de l'augmentation des surfaces et on assiste à une stagnation des rendements (moyenne de 4,5 à 5 t/ha) dans l'écosystème irrigué qui fournit près de 80 % de la production. Cependant d'importantes marges de progrès subsistent dans l'écosystème aquatique sans maîtrise de l'eau où le rendement moyen est inférieur à 2 t/ha. En Afrique et en Amérique latine, l'augmentation de la production peut s'appuyer à la fois sur l'augmentation des superficies et l'amélioration des rendements.

À l'avenir, des contraintes plus globales pourraient peser sur la riziculture : le développement des villes empiétant sur les rizières, la disponibilité en eau, l'image négative dans l'opinion liée à la production de méthane, ainsi que l'augmentation du taux de CO<sub>2</sub> et l'effet de serre. Cependant le riz est aussi la seule plante de grande culture dont le génome est déjà entièrement séquencé. Cette avance devrait faciliter la levée des contraintes.

## LE SORGHO<sup>6</sup>

*Sorghum bicolor*

Anglais : sorghum

Espagnol : sorgo

### ● La classification botanique

Le sorgho cultivé appartient à la famille des poaceae et à la tribu des andropogoneae qui comprend aussi la canne à sucre et le maïs. Les sorghos cultivés pour le grain sont classés dans la sous espèce *bicolor* de l'espèce *Sorghum bicolor* (*Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*) qui est diploïde (n = 10).

Outre cette sous-espèce, on reconnaît, dans l'espèce *Sorghum bicolor*, deux autres sous-espèces qui peuvent donner des sorghos fourragers : *Sorghum bicolor* subsp. *Arundinaceum*, forme diploïde sauvage du sorgho cultivé avec lequel il se croise facilement et *Sorghum bicolor* subsp. *Drumondii*, forme intermédiaire issue de l'hybridation naturelle entre les deux autres sous espèces.

Il existe aussi deux autres espèces de sorghos tétraploïdes utilisées pour donner des sorghos fourragers : *Sorghum halepense* et *Sorghum almun*.

### ● Les utilisations du sorgho

Plante d'origine tropicale, le sorgho a conquis les régions sub-tropicales et tempérées au point de devenir la cinquième céréale mondiale.

6 Cf. chapitre 522.

En zone tempérée, le sorgho est d'abord cultivé pour l'alimentation animale. Toute la plante peut être utilisée. Cependant, selon le mode d'exploitation, on distingue les sorghos fourragers, les sorghos ensilage et les sorghos grain.

Dans les régions tropicales, le sorgho est essentiellement cultivé pour son grain destiné d'abord à l'alimentation humaine. Le grain peut être consommé entier. Il peut aussi être décortiqué pour faire des bouillies comme le tô en Afrique de l'Ouest, du couscous, des beignets ou des galettes. Le grain peut également être fermenté pour donner des boissons alcoolisées : bière traditionnelle d'Afrique de l'Ouest ou vin de sorgho en Chine. La paille de ces sorghos est un sous-produit intéressant. Elle peut être utilisée pour l'alimentation des animaux ou servir de combustible ou de matériau de construction.

À cela s'ajoutent d'autres utilisations du sorgho, à caractère industriel ou artisanal, qui donnent lieu à la sélection de types particuliers :

- > *sorghos papetiers* dont la tige riche en fibres est utilisée pour la fabrication de papier ou de panneaux de construction ;
- > *sorghos à grains riches en amidon* utilisés pour préparer des colles, des adhésifs ou du dextrose ;
- > *sorghos sucriers* qui peuvent produire des bio-carburants ou qui, selon la composition en oses du jus de la moelle, donnent des sirops ou du sucre cristallisable ;
- > *sorghos à balai* dont la hampe fructifère (panicule) dépouillée de ses grains sert à faire des balais durs ;
- > *sorghos tinctoriaux* dont les tiges et feuilles riches en pigments anthocyanés donnent après broyage et macération une teinture rouge utilisée en tannerie ou en poterie.

## ● **La plante et son environnement**

### ● **La plante**

#### ● **L'origine, la diversification et la diffusion**

La domestication du sorgho a vraisemblablement eu lieu il y a plusieurs millénaires en Afrique au sud-est du Sahara. Les plus vieux restes archéologiques de cette céréale ont été trouvés à la frontière Soudan-Egypte et ont été datés à plus de 6 000 ans avant J.C. Par la suite, d'autres centres géographiques ont été actifs dans la diversification du sorgho cultivé. En Afrique, on en connaît trois :

- > le centre ouest-africain qui a contribué à l'établissement des sorghos de race *guinea* ;
- > le centre est-africain riche en sorghos des races *caudatum* et *durra* ;
- > le centre sud-africain à l'origine des sorghos de race *kafir*.

Dès le troisième millénaire avant J.C., ces sorghos auraient gagné l'Asie. Leur présence est attestée dans la péninsule arabique vers 2500 avant J.C., puis en Inde vers 1800 avant J.C., et enfin en Chine qui a pu être un dernier centre de diversification dont témoigne l'originalité des sorghos *Kaoliang* qui y sont rencontrés.

L'arrivée du sorgho en Europe date de l'époque romaine. Transporté en Amérique à l'époque des grandes découvertes, le sorgho ne s'y est véritablement diffusé qu'à

partir du XIX<sup>e</sup> siècle, notamment aux Etats-Unis. Aujourd'hui le sorgho est présent sur tous les continents.

### ● **La morphologie**

Le sorgho possède un système racinaire puissant, capable de descendre rapidement à une grande profondeur du sol (jusqu'à 2 m) pour y extraire l'eau et les éléments minéraux. Cette particularité explique en partie les qualités de rusticité et de résistance à la sécheresse observées chez les sorghos.

L'appareil végétatif d'une plante de sorgho comprend une tige principale accompagnée de talles issues du développement de bourgeons adventifs situés à la base du brin maître. Le nombre de talles par plante varie en fonction des caractéristiques variétales et des conditions de culture. Il est élevé chez les sorghos fourragers (environ une dizaine de talles par plante), moyen chez les sorghos de race *guinea* et faible voir nul chez les hybrides sélectionnés, notamment quand ils sont semés à forte densité.

La hauteur de la plante de sorgho dépend du nombre de nœuds émis (donc de la durée du cycle végétatif) et de la taille des entre-nœuds (sous contrôle génique). La hauteur de la plante à maturité peut varier de 50 cm à 5m. La grosseur des tiges varie également, avec un diamètre basal pouvant aller de 5 mm à 4 cm. Les tiges ont généralement une croissance érigée. Les tissus internes sont secs ou juteux, insipides ou sucrés.

Suivant le cycle des variétés, le nombre de feuilles portées par tige varie de quelques unités à plus de trente. Leur longueur varie de 30 à 135 cm et leur largeur de 1,5 à 13 cm au niveau le plus large. La nervure centrale des feuilles est de couleur blanche ou jaune chez les sorghos à tige sèche. Chez les sorghos juteux, la coloration est verte avec souvent une fine bande centrale blanche. Enfin, il existe des sorghos à nervure brune liée à une mutation de la lignine, qui améliore la valeur fourragère des pailles. Sous l'action d'attaques parasitaires ou de blessures, des tâches se manifestent sur les feuilles. Si ces tâches sont de couleur rouge, elles caractérisent un sorgho de type *anthocyané*. Si elles sont de couleur jaune, elles désignent un sorgho de type *tan*.

L'entre-nœud supérieur qui porte l'inflorescence est appelé pédoncule. Il est droit sauf chez les sorghos de race *durra* où l'on voit souvent des pédoncules crossés.

L'inflorescence est une panicule. Elle est constituée d'un axe central, le rachis, d'où partent des branches primaires souvent groupées en verticille le long du rachis. Ces ramifications primaires portent des ramifications secondaires qui, à leur tour, peuvent donner des ramifications tertiaires. La ramification ultime est un racème. Il porte une paire d'épillets, l'un sessile et fertile, l'autre pédicellé et stérile. L'épillet sessile comporte deux fleurs. Sauf cas particulier (sorgho à grain double), seule la fleur supérieure est complète. Les épillets sessiles peuvent être aristés. Le nombre d'épillets fertiles par panicule est variable (habituellement de 2000 à 4000).

La graine de sorgho est un caryopse composé de trois parties principales : l'enveloppe qui constitue le péricarpe, le tissu de réserve ou albumen et, enfin, l'embryon. Entre le péricarpe et l'albumen peut s'insérer une couche hautement pigmentée, la couche brune encore appelée testa. Sa présence ou son absence est une caractéristique variétale. Riche en tanins, elle confère aux grains des qualités de résistance aux moisissures et aux oiseaux. En revanche, elle colore les préparations culinaires, leur donne de l'amertume et diminue leur digestibilité. L'albumen présente au centre du grain une

partie farineuse plus ou moins importante qui est entourée par une partie vitreuse. L'albumen est normalement blanc. Il existe cependant des sorghos à albumen jaune. Cette particularité leur vient d'une haute teneur en pigments caroténoïdes qui améliore la qualité nutritive des grains. En contrepartie, elle augmente leur sensibilité aux moisissures.

La couleur du grain de sorgho est une caractéristique variétale due à plusieurs facteurs génétiques. Elle peut aller du blanc au brun très foncé en passant par le jaune, l'orangé, le rouge. Globalement, plus la couleur du grain est claire et plus sa teneur en tanins est faible et sa valeur nutritive bonne. Le poids de 1 000 graines est généralement compris entre 15 et 40 grammes.

### ● **La reproduction, les ressources génétiques et la sélection**

Le sorgho cultivé est une plante considérée comme autogame. Son taux d'allogamie est faible. Il est de l'ordre de 5 % en moyenne. Il est cependant différent selon les variétés : nul pour les variétés dont les fleurs ne s'ouvrent pas au moment de la fécondation, il peut atteindre 30 % pour certains sorghos fourragers ou de race *guinea*.

Le sorgho cultivé pour le grain (*Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*) présente une grande diversité morphologique. Une classification simplifiée définit cinq races principales, d'après les caractéristiques de la panicule et de l'épillet :

- > *les bicolor* sont les sorghos aux caractères les plus primitifs. Ils sont présents en Afrique et en Asie. Leur panicule est lâche et leurs grains, très petits, sont enveloppés par des glumes couvrantes et adhérentes. On y trouve des sorghos à balai, des sorghos papetiers et des sorghos fourragers ;
- > *les guinea* sont les sorghos typiques d'Afrique de l'Ouest, mais ils sont aussi cultivés en Afrique australe. Ils sont généralement de grande taille et photopériodiques, avec une panicule lâche. Leur grain elliptique est pris dans des glumes ouvertes. Ils sont bien adaptés aux zones de culture du sorgho les plus pluvieuses. Cette race, très diversifiée, est d'abord appréciée pour la qualité de ses grains. On y distingue plusieurs types, dont le type *margaritifera*, caractérisé par des grains petits et vitreux, le type *gambicum* à gros grains assez vitreux et le type *guineense* à gros grains peu vitreux ;
- > *les durra* se rencontrent essentiellement en Afrique de l'Est, au Moyen-Orient et en Inde. Ils ont une panicule compacte souvent portée par un pédoncule croisé et des grains globuleux. Ils se distinguent par la grosseur de leur grain et leur résistance à la sécheresse ;
- > *les kafir* sont répandus en Afrique australe. Ce sont des sorghos peu diversifiés, de taille plutôt courte, peu ou non photopériodiques. Leur panicule est compacte et cylindrique. Ils sont intéressants pour leur précocité ;
- > *les caudatum* sont surtout cultivés en Afrique du Centre et de l'Est. Leur panicule a une forme variable. Leurs grains sont dissymétriques, aplatis sur la face ventrale et bombés sur la face dorsale. Ils produisent beaucoup de grains souvent farineux et de médiocre qualité.

En raison de son autogamie préférentielle, le sorgho est souvent sélectionné sous forme de matériel fixé. La production semencière de ces cultivars demande d'isoler les parcelles de multiplication par rapport aux autres champs de sorgho (100 mètres minimum) et d'épurer les plantes hors types le plus tôt possible.

L'obtention d'hybrides est possible grâce à la stérilité mâle génocyttoplasmique. Les sélectionneurs des zones tempérées privilégient leur création mais leurs contraintes de fabrication et d'utilisation les rendent difficilement vulgarisables dans les régions tropicales.

En zone tropicale, les programmes de sélection valorisent le matériel local, soit directement par l'identification de meilleurs écotypes, soit par croisement suivi de sélection généalogique pour transférer leurs caractéristiques intéressantes à des lignées sélectionnées : qualité du grain, photopériodisme, résistance aux ravageurs, etc.

Pour la sélection de lignées pour le grain, un certain nombre d'objectifs sont fréquemment pris en compte.

Au point de vue morphologique, ce sont :

- > une taille moyenne d'environ 2 m ;
- > un tallage faible ;
- > une panicule bien fournie et aérée avec une bonne exsertion du pédoncule ;
- > un rapport grain/paille élevé.

Au point de vue physiologique il s'agit :

- > d'une bonne vigueur à la levée ;
- > d'une bonne adaptation à la durée de la saison des pluies. Ce critère amène à sélectionner le matériel pour différents niveaux de photopériodisme ;
- > d'une résistance aux principaux parasites locaux (striga, maladies foliaires, moisissures des grains, foreurs des tiges, punaises des panicules, cécidomyie) ;
- > d'une sénescence tardive, caractère lié à la résistance à la sécheresse de fin de cycle et la résistance à la verse ;
- > d'un rendement élevé et régulier.

Du point de vue de l'utilisateur, la qualité du grain (adaptation aux contraintes de la transformation et aux goûts des consommateurs) représente également un critère important de sélection.

### Quelques bonnes variétés locales

Parmi les principales variétés de sorgho grain disponibles pour l'Afrique, on peut citer de bonnes variétés locales comme Tiemarifing et Foulatieba (Mali), Sarioso 1 et 9 (Burkina Faso), IS 15401 (Cameroun), El Mota (Niger), KLM2 (Tchad), E 35-1 (Ethiopie), Framida (ZAF). Ce matériel est proposé pour des systèmes culturaux traditionnels et de bonnes lignées sélectionnées sont proposées pour des systèmes culturaux semi-intensifs (cf. tableau 10).

**Tableau 10. Lignées sélectionnées pour des systèmes culturaux semi-intensifs**

Cycle végétatif compris entre 90 et 100 jours (non photosensibles)	Cycle végétatifs compris entre 100 et 120 jours (peu photosensibles)	Cycle végétatifs supérieurs à 120 jours (photosensibles)
IRAT 11, IRAT 202, IRAT 204, IRAT 207 (adapté à l'irrigation de contre saison), BF 88-2/31-3, ICVS 901, Sorvato 28	CIRAD 406, CIRAD 436 (Sarioso 13), CIRAD 437 (Sarioso 14), IRAT 9, IRAT 11, Sarioso 10, F2-20, ICSV 1049, S 35, ICVS 111	IRAT 174

Des hybrides ont fait leur preuve en système de culture intensif (hybrides américains comme nk 300, français comme Argence et Aralba ou sélectionnés en Afrique : IRAT 180, IRAT 372, IRAT 382, ICSH 89002 NG).

Peu de sorghos fourragers ont été évalués en zone tropicale. On peut citer les variétés Piper et Green Leaf.

### **Les établissements fournisseurs de semences de sorgho**

CIRAD, 34398, Montpellier Cedex 5, France.

ICRISAT, Patancheru 502324, Andhra Pradesh, Inde.

Novartis France S.A., BP 410, F-92845, Rueil Malmaison Cedex, France.

RAGT Semences, BP 31, 12033 Rodez cedex 9, France.

Rustica Prograin Génétique, Domaine de Sandreau, 31700 Mondoville, France.

Semences de Provence (UCASP), rue G. Monge, ZIS, 13200 Arles, France.

## ● **L'écologie et l'environnement du sorgho**

La graine de sorgho n'est pratiquement pas dormante. Pour germer, elle demande un sol humide et des températures moyennes journalières supérieures à 12°C. Si les conditions sont bonnes ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ), les semences lèvent en trois ou quatre jours. L'optimum de température pour la croissance est d'environ 30°C.

À un stade jeune ou suite à une reprise de croissance après une coupe ou un stress physiologique, certaines variétés de sorgho peuvent empoisonner le bétail qui les pâture. Leur toxicité est due à un composé présent dans les parties végétatives, la dur-rhine, qui produit de l'acide cyanhydrique pendant la digestion. Il convient donc d'être prudent quand on alimente du bétail avec de jeunes plantes ou des repousses de sorgho. La toxicité disparaît à la floraison.

La plupart des variétés locales, notamment africaines, sont photopériodiques de jours courts. La floraison est déclenchée lorsque la durée du jour raccourcit et devient inférieure à une valeur seuil. Il existe une liaison entre cette valeur seuil et la fin de la saison des pluies du lieu d'origine des variétés locales. Quelle que soit la date de semis, celles-ci y fleuriront à une date relativement fixe qui permet un calage de la maturation des grains sur le début de la saison sèche. En conséquence, plus le semis est réalisé tôt, plus la durée du cycle végétatif est longue. Suivant les dates de semis, une même variété photopériodique aura un cycle variant de 90 à 160 jours. Le paysan a l'assurance que ses variétés arriveront à maturité à la fin de la saison des pluies, quelles que soient les contraintes qu'il aura subies lors des semis.

Les besoins en eau du sorgho sont inférieurs à ceux du maïs : aux Etats-Unis, pour des variétés proches sur le plan de la croissance, on estime que le maïs exige un supplément d'eau de 20 % par rapport au sorgho pour produire un kg de matière sèche. La supériorité du sorgho consiste en une meilleure aptitude à supporter les périodes de sécheresse, surtout en début de culture.

### **La consommation totale d'une culture pluviale de sorgho**

Elle a été mesurée et évaluée aux alentours de :

- 400 mm pour une variété de 90 jours ;
- 550 à 600 mm pour une variété de 110-120 jours.

La sensibilité du sorgho à la sécheresse est maximale de la fin de la montaison au début de la floraison.

En Afrique, le sorgho est cultivé seul ou en association avec d'autres plantes comme le niébé dans des types de sols variés, généralement plus argileux que ceux réservés aux mils. Dans les régions sèches, il se comporte bien dans certains sols argileux de bas-fonds ou dans des terres alluviales. Certaines variétés peuvent supporter un excès d'humidité pour un temps limité. Enfin, le sorgho est plus tolérant aux sols acides et salés que le maïs.

## ● **La culture du sorgho**

### ● **Les grands systèmes de culture**

Le sorgho rentre essentiellement dans des systèmes de culture pluviale conduits soit manuellement, soit avec la traction animale, soit avec la traction motorisée, laquelle pourrait concerner environ dix millions d'hectares (soit environ 23 % des surfaces cultivées). À une plus petite échelle, il est aussi cultivé en condition irriguée dans des périmètres aménagés notamment dans les vallées fluviales africaines comme celle du Sénégal, du Niger ou du Nil.

En Afrique, il existe des systèmes traditionnels de culture originaux : la culture de décrue et la culture repiquée à base de variétés spécialisées, surtout de race durra. Toutes deux sont des cultures décalées par rapport à la saison des pluies. Elles utilisent les réserves en eau de sols argileux inondés au cours de l'hivernage. Quand l'eau se retire au début de la saison sèche, la culture est mise en place soit par semis direct (sorghos de décrue de la vallée du fleuve Sénégal) soit par repiquage de plantules préalablement préparées en pépinières : sorghos repiqués Muskuwaari ou Babouri du Cameroun et Berbéré du Tchad dans les vallées du Logone et du Chari où ils connaissent actuellement un grand succès.

### ● **Les itinéraires techniques**

#### ● **La mise en place**

Compte tenu des contraintes économiques du système de fumure, on recommande en général de placer le sorgho après une culture de rente. La succession sorgho sur sorgho pose des problèmes sur les sols peu argileux. En effet, des toxines secrétées par les racines de sorgho en fin de cycle peuvent exercer un effet dépressif sur la culture suivante (le sorgho ou une autre espèce), surtout lorsque l'activité biologique des sols est faible comme c'est le cas dans les sols sableux. Ces toxines ont une durée de vie limitée et peuvent être évitées par un semis retardé.

Le semis est l'opération la plus délicate de la culture du sorgho car l'énergie germinative des graines est médiocre. Bien que pouvant être semé sans préparation du sol, notamment en zone tropicale, le sorgho profite d'un travail préalable du sol. Le semis doit être réalisé dans un sol bien humide mais sans excès d'eau, à une profondeur d'environ 2 cm avec des graines saines et récentes traitées par un mélange fongicide-insecticide. Traditionnellement, le sorgho est semé manuellement en poquets de 5 à 6 graines. En culture intensive, on utilise un semoir. Les densités de semis varient beaucoup selon les systèmes de culture :

**Tableau 11. Densité de semis selon les systèmes de culture**

Système de culture	Nombre de poquets à l'hectare	Nombre de plantes à l'hectare	Quantité de semence à l'hectare
Sorgho traditionnel repiqué de décrue	10 000		2 kg à la main
Sorgho traditionnel pluvial	25 000		4-5 kg à la main
Sorgho pluvial intensifié	30 000	90 000	6-8 kg à la main
Sorgho irrigué	100 000	300 000	10 kg avec semoir

### ● **L'entretien**

Le démariage est rarement effectué en culture traditionnelle, si ce n'est dans le but de faire des repiquages pour compenser les poquets manquants (dans ce cas, le repiquage doit être fait avec des plantules âgées de trois à quatre semaines). En culture intensifiée avec un semis en poquet, le démariage doit intervenir rapidement, une dizaine de jours après la levée et laisser trois pieds par poquet. On recommande de faire le premier sarclage au même moment. Par la suite, les sarclo-binages doivent être réalisés de façon à empêcher les mauvaises herbes de concurrencer le sorgho.

### ● **La fumure**

Pour produire 2 t/ha, on estime qu'il faut apporter, suivant les situations, 35 à 45 kg/ha de N. Cet azote est complètement valorisé par la plante uniquement si les quantités disponibles de phosphore assimilable par la plante sont suffisantes. Cela dépend de la richesse du sol en cet élément et des restitutions. Pour le même niveau, une fumure d'entretien correcte se situe entre 20 et 30 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Le complément potassique dépend de la richesse du sol en cet élément et de la quantité de paille restituée sous quelque forme que ce soit : enfouissement direct, compost, fumier ou poudrette. Si l'engrais est cher ou peu disponible, le système de fumure doit être conçu en fonction du précédent cultural dans le cadre de la rotation. Ainsi, en zone cotonnière africaine, le sorgho qui succède au cotonnier profite des effets résiduels de la fumure PK.

La fumure minérale doit être étroitement associée à la fumure organique, sous forme de fumier ou de compost. L'engrais minéral de fond PK ou NPK doit être épandu de préférence à la volée avant les préparations du sol précédant le semis. S'il n'y a pas de travail du sol, il doit être épandu au semis. Un épandage complémentaire d'azote est à faire au début de la montaison.

### ● **La défense des cultures**

Les ravageurs du sorgho sont nombreux.

Tableau 12. Les ravageurs du sorgho en Afrique

Niveau de manifestation	Maladie fongique	Insecte ravageur	Autre
Plantules		lules, mouche du pied ( <i>Atherigona soccata</i> )	
Racines			<i>Striga sp.</i> (plante parasite)
Feuilles et tiges	Maladies foliaires dont l'antracnose ( <i>Colletotrichum graminicola</i> ) Pourriture des tiges ( <i>Macrophomina phaseolina</i> )	Foreurs des tiges : <i>Busseola fusca</i> , <i>Eldana saccharina</i> , <i>Sesamia sp.</i> , <i>Acigona ignefusalis</i> , <i>Chilo partellus</i>	
Panicule et grain	Charbons : Charbon couvert ( <i>Sporisorium sorghi</i> ), Charbon nu ( <i>Spacelotheca cruenta</i> ), Charbon de la panicule ( <i>Sporisorium reiliana</i> ), Charbon allongé ( <i>Tolytasporium ehrenbergii</i> ) Moisissures de grains ( <i>Fusarium</i> , <i>Curvularia</i> , <i>Alternaria</i> )	Cécidomyie ( <i>Stenodiplosis sorghicola</i> ) Punaises des panicules ( <i>Eurystylus oldii</i> ) Insectes des stocks	Oiseaux granivores Rongeurs

Les méthodes de lutte contre les insectes et les maladies fongiques font généralement appel à des techniques culturales (élimination des résidus de récolte, rotations, semis groupés) et à des variétés résistantes. L'utilisation de variétés photopériodiques permet de bien caler les cycles des variétés sur la fin de l'hivernage et de limiter les attaques de moisissures des grains auxquelles le sorgho est très sensible. Le recours aux variétés photopériodiques permet aussi de grouper les floraisons pour diluer les attaques des oiseaux et freiner la succession des cycles de multiplication des insectes ravageurs (cécidomyie et punaises notamment). Quant à la lutte chimique contre les maladies et insectes, elle se justifie seulement dans des systèmes de culture très intensifs.

Le *striga* (plusieurs espèces) est une plante parasite d'abord souterraine qui se fixe sur le sorgho à l'aide de suçoirs émis au niveau des racines. Il émerge du sol à la fin du stade végétatif des sorghos et fleurit à leur maturité en produisant de nombreuses et très petites graines. Le *striga* est très difficile à éliminer. On préconise l'arrachage des plantes avant leur floraison, l'utilisation de variétés de sorgho tolérantes ou résistantes, les rotations et les associations culturales. Des traitements herbicides, comme ceux à base de 2-4 D amine, donnent également de bons résultats.

Compte tenu de la médiocre énergie germinative des graines de sorgho, il est important d'assurer une protection chimique des semences par un mélange insecticide-fongicide approprié. À cette fin, il est possible d'utiliser, en Afrique de l'Ouest, un produit comme le Calthio DS® composé de lindane et de thirame (le thirame protégeant le sorgho contre le charbon couvert qui est transmissible par les graines). Un meilleur protocole de traitement est cependant une association du type suivant : traitement des semences à la récolte avec un insecticide comme le Percal M® (à base de perméthrine et de malathion) ou la K-othrine 2,5 PM® (à base de deltaméthrine) puis, juste avant le semis, enrobage des semences avec le Calthio DS®. Au moment du semis, des granulés à base de carbofuran (insecticide systémique) dans le poquet ou la ligne de semis

assure, en plus, une protection efficace des jeunes plantes contre les iules, la mouche du pied (*Atherigona soccata*) et les chenilles de foreurs des tiges.

Pour la conservation des stocks de sorgho, il est fortement recommandé d'utiliser des insecticides adaptés à la protection des denrées à usage alimentaire. De même, la lutte contre les rongeurs sur les lieux de stockage est recommandée soit par des appâtements spécifiques (anticoagulant) ou par une protection mécanique (bonne étanchéité des greniers ou magasins). Avant de décider d'un traitement phytosanitaire, on recommande de consulter le service national de la protection des végétaux pour s'assurer que le produit recommandé est bien homologué ou enregistré dans le pays.

### ● La récolte et les rendements

À maturité, soit trente à quarante jours après la floraison, lorsque le grain a pris sa couleur définitive, il est recommandé de récolter sans tarder et de préserver les panicules de l'humidité. On évite ainsi les attaques d'oiseaux et celles des moisissures auxquelles les graines de sorgho sont exposées si elles restent sur pied.

En Afrique, les rendements en grains moyens sont de 7-8 q/ha en culture traditionnelle, de 20 à 30 q/ha en culture pluviale intensifiée, d'une soixantaine de q/ha en culture très intensifiée.

### ● Les temps de travaux

Les temps présentés constituent une synthèse de données obtenues en culture pluviale et manuelle de sorgho en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Mali, Niger). Les données sont exprimées en jours/ha pour un travail fait par un exploitant travaillant à raison de huit heures par jour. En culture attelée, les données sont comptées en jours/ha pour un attelage travaillant six heures par jour. Dans les deux cas, la récolte est réalisée manuellement.

Tableau 13. Les temps de travaux selon les modes de culture (nombre de jours)

	Culture manuelle (8 h de travail par jour)	Culture attelée (2 bœufs ; journée de 6 heures de travail)
<b>Préparation du sol :</b>		
Grattage	5	1
Labour		4
Hersage		1
<b>Semis</b>		4 à 5 1
<b>Démariage et repiquage</b>	10	
<b>Sarclage</b>	25	2
<b>Epannage d'engrais</b>		2
<b>Buttage</b>		2
<b>Récolte</b>		7 à 8 8 à 10

### ● La récolte et les opérations post-récolte

En culture traditionnelle tropicale, le sorgho est récolté à la fin de la saison des pluies sous forme de panicules à 15-20 % d'humidité. La paille restante est aussi de plus en plus souvent récoltée. Le séchage des panicules est conduit au champ ou à proximité des habitations. La conservation est généralement faite en grenier traditionnel sous

forme de panicules. Le battage est effectué au bâton, sur des aires aplanies et nettoyées, par couche de panicules de 10 à 15 cm d'épaisseur<sup>7</sup>. Pour des quantités plus modestes correspondant à des besoins journaliers, le travail est fait au mortier et au pilon. Le battage est suivi d'un vannage.

### Différentes batteuses

Pour un battage mécanisé, on peut utiliser des machines à poste fixe entraînées par des moteurs thermiques. Ce sont des batteuses à céréales polyvalentes classiques, équipées de grilles de nettoyage adaptées aux grains de sorgho. Les modèles les plus répandus ont des débits compris entre 500 et 1500 kg/h. Ce sont aussi des égreneuses qui sont conçues pour d'autres céréales mais qui conviennent au sorgho après des réglages appropriés : cas de la Bamba de Bourgoin en France pour le maïs ou de la BS 1000 de la SISMAR au Sénégal pour le mil. Avec un débit de près de 1 000 kg/h, la BS 1000 est plutôt destinée à des groupements villageois ou des entrepreneurs privés assurant de village en village des chantiers de battage. Avec un débit plus faible, la Bamba est plus adaptée aux communautés rurales.

## ● La production actuelle et les perspectives

### ● Les évolutions récentes

Les données présentées proviennent des statistiques FAO (2001). Elles considèrent les aires de production du sorgho par continent en y précisant, si nécessaire, les principaux producteurs rencontrés.

Tableau 14. La production de sorgho dans le monde

	Superficie (millions d'hectares)	Production (millions de tonnes)	Rendement (t/ha)
<b>Afrique dont :</b>	<b>21,59</b>	<b>18,78</b>	<b>0,87</b>
Nigeria	6,89	7,71	1,12
Soudan	4,20	2,49	0,59
Burkina Faso	1,23	1,02	0,83
<b>Asie dont :</b>	<b>11,90</b>	<b>11,43</b>	<b>0,96</b>
Inde	9,98	7,42	0,74
Chine	0,94	2,96	3,14
<b>Amérique dont :</b>	<b>7,30</b>	<b>24,99</b>	<b>3,42</b>
USA	3,55	13,61	3,83
Mexique	1,93	6,20	3,21
Argentine	0,61	2,90	4,74
<b>Australie (Océanie)</b>	<b>0,60</b>	<b>1,42</b>	<b>2,39</b>
<b>Europe</b>	<b>0,18</b>	<b>0,73</b>	<b>3,95</b>
<b>Total</b>	<b>41,57</b>	<b>57,36</b>	<b>1,38</b>

<sup>7</sup> Comper 50 kg de grain obtenus par heure de battage pour un travailleur.

Entre 1979 et 2000, la production mondiale de sorgho a globalement diminué de 0,7 % par an. Durant cette période, la production a augmenté en Afrique (3,5 % par an, essentiellement par extension des surfaces), mais elle a décliné dans la plupart des autres régions du monde, en Amérique du Sud et surtout aux Etats-Unis où le prix de soutien du sorgho, comparativement au coton et au maïs, a été réduit et où la mise au point de variétés de maïs plus tolérantes à la sécheresse a concurrencé le sorgho.

Aujourd'hui, la production mondiale de sorgho paraît globalement stabilisée. Les perspectives sont plutôt celles d'une augmentation qui viendrait des pays en développement :

- > en Afrique où la consommation s'accroît en suivant la croissance démographique ;
- > en Asie où l'augmentation des revenus devrait stimuler l'utilisation des sorghos pour l'alimentation animale ;
- > en Amérique latine et aux Caraïbes où l'industrie animale, déjà bien établie, devrait continuer à se développer.

Dans les pays industrialisés, la production de sorgho devrait peu augmenter. Il est cependant possible que les atouts économiques du sorgho, relativement peu exigeant en eau et en intrants, retournent progressivement en sa faveur la concurrence avec le maïs.

## ● **La filière et ses perspectives**

Dans les pays dont la production est surtout tournée vers l'alimentation humaine, la filière sorgho est à construire, encouragée par un pilotage par l'aval avec l'idée que les producteurs investiront plus facilement dans l'intensification de la culture s'ils ont la possibilité d'en tirer un revenu. À cette fin, il convient de diversifier les utilisations du sorgho non seulement pour l'alimentation humaine mais aussi pour l'alimentation animale. Les défis à surmonter pour les producteurs concernent le niveau des prix ainsi que la régularité et la qualité de l'approvisionnement.

Dans les pays industrialisés, la filière développe des utilisations autres que l'alimentation animale. Elle est toutefois confrontée à la concurrence du maïs qui bénéficie d'un soutien des prix et d'une politique des organismes stockeurs réticents à faire des distinctions de qualité dans les récoltes de sorgho. Aux Etats-Unis, la filière sorgho les y encourage pourtant. Une stratégie de marketing a ainsi été mise en place pour donner un autre nom au sorgho destiné à l'alimentation humaine, afin de mieux le distinguer de celui destiné à l'alimentation animale. Par ailleurs, économe en eau et en intrants, efficace dans la détoxification des sols riches en azote, le sorgho est une céréale écologiquement intéressante qui pourrait aussi profiter de l'inexistence actuelle sur le marché de variétés transgéniques. Il y a là des avantages que la filière sorgho doit pouvoir faire valoir dans un contexte de croissance des exigences de respect de l'environnement.

## ● **Les questions à la recherche**

Dorénavant la recherche sur le sorgho ne doit plus seulement viser l'augmentation de la production. Il lui faut aussi travailler à en diversifier les usages et mettre l'accent sur la qualité : qualité de l'agriculture qui produit le sorgho et qualité de la production pour satisfaire les consommateurs.

Ces objectifs généraux se déclinent de façon plus particulière dans les pays de culture traditionnelle du sorgho où la recherche doit fournir aux paysans des variétés intermédiaires entre leurs variétés locales et les variétés hautement productives qu'ils rejettent généralement. Ces variétés doivent en effet pouvoir rentrer dans un système plus intensifié sans perdre la rusticité et la qualité des grains des variétés paysannes. À cette fin, la recherche s'engage de plus en plus dans une valorisation du germoplasme local selon une démarche participative. En liaison avec les paysans, il s'agit de mieux valoriser la diversité du sorgho, encore riche de potentialités.

## LES CÉRÉALES SECONDAIRES

---

### ● *L'éleusine*

*Eleusine corocana* (L.) Gaertner

*Français* : éleusine, mil rouge, korocan

*Anglais* : finger millet, african millet, korocan, indian millet

*Espagnol* : coracán, raji, mijo africano

*Famille des Poaceae*

### ● *La plante*

Originare d'Ouganda et d'Éthiopie, l'éleusine est une céréale cultivée pour ses graines en Afrique de l'Est et du Sud et en Inde. Elle constitue la base de l'alimentation humaine dans de nombreuses régions, et est utilisée pour la semoule, le pain, la bière et comme fourrage. Nourrissante, elle contient des acides aminés essentiels (méthionine).

C'est une plante annuelle touffue, aux nombreuses ramifications dans tous les sens, de 40 à 130 cm de haut et à feuilles étroites. Au sommet de la tige, l'épi forme un groupe de doigts de 3 à 13 cm de longueur. Le poids de mille graines est de 2,6 g. La fécondation se réalise par auto-pollinisation et les croisements entre lignées sont donc difficiles à réaliser.

L'éleusine est adaptée à de nombreux milieux mais résiste mal à la sécheresse. Elle tolère des précipitations modérées (500 mm à 1 000 mm annuels bien distribués) pendant la saison de croissance. Elle supporte des températures élevées (jusqu'à 35°C), mais ce sont les zones de montagnes ou de collines (moyenne des températures maximum de 27°C et moyenne des températures minimum de 18°C) qui lui conviennent particulièrement. C'est une plante de jours courts (optimum : douze heures d'ensoleillement par jour). Elle se développe dans tous les types de sols et tolère un excès d'eau ponctuel.

### ● *La culture*

En Asie, l'éleusine est semée en ligne. En Afrique, elle est semée à la volée. Ses graines de très petite taille exigent un lit de semence très fin et plat, ce qui demande beaucoup de travail. Le désherbage est également un problème important de la culture. Le cycle dure de deux mois et demi à six mois, ce qui permet de réaliser deux cultures par an.

La récolte est réalisée à la main. On coupe les épis en laissant un bout de tige qui permet d'en d'attacher plusieurs. On les empile en tas pendant quelques jours. Cela provoque une fermentation qui facilite ensuite le vannage. L'éleusine peut être stockée longtemps sans être attaquée par les insectes. La transformation en farine est difficile du fait de la taille de la graine.

La production annuelle mondiale est de 4,5 millions de tonnes de grains, dont 2 millions en Afrique. Les surfaces cultivées diminuent au Congo démocratique, au Burundi et au Rwanda en raison de la quantité de travail nécessaire pour désherber, récolter et vanner, alors que cette céréale était la plus diffusée dans ces zones. Les prix de l'éleusine augmentent du fait de la baisse de la production et elle devient une céréale de fête. Au Kenya, par exemple, le prix de l'éleusine est deux fois plus élevé que celui du sorgho ou du maïs. En revanche, au Népal, la surface cultivée en éleusine augmente de 8 % par an.

## ● Le fonio

*Digitaria exilis*

Anglais : hungry rice, fonio millet

Espagnol et portugais : digitaria

Famille des Poaceae

## ● La plante

C'est une céréale cultivée depuis très longtemps en Afrique, du Sénégal au Tchad, dans les zones de savane où elle peut constituer l'aliment principal. Le fonio est apprécié pour sa finesse et ses qualités gustatives et permet la fabrication de bière par fermentation. Sa paille constitue un bon fourrage pour le bétail. C'est une des céréales les plus nutritives : sa graine est riche en méthionine et cystéine, acides aminés essentiels absents de la plupart des autres céréales.

C'est une plante annuelle érigée, de 30 à 75 cm de haut, au tallage multiple et rampant qui ne facilite pas le sarclage. L'inflorescence est une panicule en forme de doigts qui porte deux à cinq grappes filiformes de 15 cm de long portant des graines minuscules, blanches, jaunes, fauves ou pourpres. On compte 1 600 à 2 500 grains par gramme. La floraison est insensible à la durée du jour. Il existe des variétés à cycle court (40 à 60 jours) ou à cycle long (165 à 180 jours).

Le fonio tolère des sols relativement pauvres, sableux, latéritiques. Il pousse là où rien d'autre ne pousse. Sa rapidité de maturation permet son développement dès qu'il y a un minimum de pluies (250 mm à 1 500 mm, généralement 400 mm). Les variétés précoces sont cultivées en conditions sèches et les variétés tardives en conditions humides. C'est une plante exigeante en lumière qui se développe correctement à des températures de 28°C à 30°C et peut être semée jusqu'à 1 500 m d'altitude (Fouta Djallon, Nigeria).

## ● La culture

Les graines sont semées à la volée après une bonne pluie et recouvertes par une fine couche de terre. Elles germent en trois à quatre jours et la croissance est ensuite rapide. Le taux de germination est élevé. La graine perd sa capacité germinative après

deux ans. Selon les conditions, la dose de semis varie de 2 à 3 kg de graines/ha à 10 à 20 kg de graines/ha. Du fait de la densité et de la rapidité de croissance de la plante, le fonio nécessite peu de désherbage. En conditions difficiles, il peut être repiqué. La surveillance de la culture au moment de la maturation des graines est indispensable afin de limiter les attaques d'oiseaux.

La plante est récoltée entièrement, coupée à sa base avec un objet tranchant, liée en gerbes, séchée et stockée sous couvert. Les épis sont battus ou foulés au pied et les glumes sont séparées des graines dans un mortier. Compte tenu de la taille de la graine, celle-ci est difficile à décortiquer et à vanner. On mélange les grains à du sable afin d'augmenter l'effet abrasif. Les graines sont lavées à plusieurs reprises et ensuite séchées au soleil. La conservation de la graine s'effectue sans problème.

Les rendements sont très faibles : 150 à 600 kg/ha. Chaque année, en Afrique de l'Ouest, 300 000 ha sont semés en fonio, ce qui fournit une base alimentaire pour trois à quatre millions de personnes. Le fonio redevient une céréale recherchée, son prix est le triple de celui du mil et le double de celui du riz.

## ● **Les larmes de job**

*Coix lacryma jobi L.*

Anglais : job's tear ou adlay

Famille des *Poaceae*

C'est une plante originaire de l'Asie du Sud mais actuellement présente dans toutes les zones tropicales, comme adventice ou comme plante cultivée. Elle est cultivée de façon extensive aux Philippines, en Indochine, en Thaïlande, en Birmanie et au Sri Lanka. Elle est utilisée comme céréale auxiliaire, spécialement comme substitut du riz. Elle était cultivée en Inde avant que le maïs ne la remplace. Sa fermentation donne de la bière et du vin.

C'est une plante annuelle dans les zones tempérées, pérenne dans les zones sans gel, de 1 à 2 m de hauteur, ramifiée, à limbes de 20 à 50 cm de long et 1 à 5 cm de large enlacés en forme de cœur, avec plusieurs épillets terminaux. La graine est blanche à bleutée ou noire, globuleuse, de 6 à 12 mm de long. Elle se multiplie par graines.

Elle tolère des sols pauvres ou latéritiques, à pH variant de 4,5 à 8,4, et des terrains en pente ou mal drainés. Elle est cultivée sous des pluviosités variant de 610 à 4 300 mm d'eau et des températures annuelles de 10 à 28°C. Son cycle est de 120 à 150 jours. Elle est semée à une profondeur de 2,5 cm dans des poquets espacés de 60 cm. Elle a besoin de pluies au moment du semis.

Au moment de la récolte les plantes sont coupées à la base et les graines sont séparées par battage. Les graines sont séchées au soleil. Le passage au moulin permet d'obtenir une farine qui peut être mélangée avec de la farine de blé pour faire du pain.

## ● **Le millet commun**

*Panicum miliaceum* L.

Français : millet commun, grand millet

Anglais : proso millet, common millet, indian millet

Espagnol : mijo común, mijo, mijo major, proso millo

Portugais : milho miúdo

Famille des *Poaceae*

Domestiqué en Asie centrale et orientale, le millet est souvent cultivé par les nomades du fait de son aptitude à mûrir rapidement. Actuellement cette céréale alimentaire est produite dans la Communauté des Etats indépendants, en Asie centrale.

C'est une plante annuelle au port dressé dont la hauteur varie généralement de 30 cm à 100 cm, mais peut dépasser 1,5 m. Les racines sont peu profondes. Cette plante robuste, à tiges fortes et à feuilles larges, est recouverte de longs poils et possède deux types d'inflorescence : des panicules fermées en balai et des panicules largement ouvertes. Les graines sont volumineuses (> 3 mm de longueur ; poids de 1 000 graines compris entre 4,7 et 7,2 g).

Le millet est particulièrement adapté aux climats continentaux secs (plus tempérés que les autres mils) et préfère des sols humides et argilo-calcaires.

L'enveloppe de la graine, difficile à enlever, contient un taux élevé de fibres non digestibles et donne une impression de réplétion importante lorsqu'elle est consommée.

## ● **Le millet indigène**

*Paspalum scrobiculatum* L.

Anglais : kodo ou kodra millet

Famille des *Poaceae*

C'est une céréale mineure, cultivée de l'Inde (sauf sur le plateau du Deccan) à la Malaisie et au Pacifique. On la trouve également en Afrique. Elle a été diffusée dans le monde tropical où elle est parfois utilisée comme fourrage (très digestible, même après une longue conservation). C'est parfois une mauvaise herbe des plantes cultivées.

C'est une graminée annuelle en touffe, qui atteint 90 à 135 cm de hauteur, sans stolon, à tiges ascendantes et érigées, ramifiées parfois. Les feuilles sont glabres ou parfois poilues sur les bords. La graine est enfermée dans un involucre dur, corné, persistant et difficile à retirer.

En Malaisie, la plante produit des graines pendant trois à quatre mois. Elles tombent rapidement quand elles sont mûres. La propagation peut se faire par semis ou par transplantation des talles. La levée de dormance des graines récemment récoltées peut se faire de façon mécanique ou par scarification.

C'est une plante de zones humides découvertes, cultivée jusqu'à 1 200 mètres d'altitude. Elle tolère les inondations et résiste peu à la sécheresse. La température optimale de croissance est de 25 à 27°C. C'est une plante héliophile, qui peut se développer dans des sols peu fertiles s'il y a peu de compétition, mais elle préfère des sols fertiles.

Le lit de semence doit être préparé finement puis les graines sont généralement semées en rangées séparées de 1,3 m.

## ● **Le millet des oiseaux**

*Setaria italica* (L.) Beauv.

*Français* : millet des oiseaux, millet d'Italie, millet à grappe

*Anglais* : foxtail millet, german millet, italian millet

*Espagnol* : mijo minor, mijo de Italia, mijo de pájaros, panizo común

*Portugais* : milho painço

*Famille des Poaceae*

Originaire de l'est de l'Asie, le millet des oiseaux est cultivé en Asie (Chine, Japon, Inde), en Afrique sahélienne et dans les pays de l'ex-Union soviétique. C'est l'une des plus anciennes céréales cultivées pour l'alimentation humaine. Elle est également utilisée comme fourrage et pour l'alimentation des oiseaux.

C'est une graminée annuelle, effilée, érigée, feuillue, de 0,30 à 1,50 m de hauteur, à panicule dense en forme de pointe. Les graines sont contenues dans des enveloppes de couleur. Mille grains pèsent 2g. Son système racinaire est superficiel et le millet des oiseaux craint la sécheresse. Il est adapté aux sols peu fertiles et souvent cultivé dans des conditions difficiles : chaleurs intenses et faibles pluies. Son cycle est court et il mûrit rapidement pendant les mois d'été chauds.

C'est une céréale que l'on sème souvent pour profiter au mieux des dernières pluies ou quand il est trop tard pour semer une autre espèce. Il existe ainsi une variété de millet qui possède un cycle de 65 à 70 jours pour le foin et de 75 à 90 jours pour les graines. Celles ci doivent être traitées au moment du semis pour éviter le mildiou et les taches sur les feuilles.

Le millet des oiseaux est considéré dans de nombreux pays comme une adventice des céréales.

## ● **Le panic**

*Echinochloa crus-galli*

*Français* : panic, pied de coq

*Anglais* : prickly grass, barnyard grass

*Espagnol* : pata de gallo, zacate de agua

*Famille des Poaceae*

Originaire du Japon, sa culture s'est diffusée dans les régions chaudes tempérées et tropicales (Inde, Chine et Afrique de l'Est). Le panic est utilisé également comme fourrage (il convient pour l'ensilage mais pas pour le foin). En Egypte, il est employé pour la régénération des sols alcalins ou salés. Cette espèce est considérée comme une adventice dans de nombreux pays.

C'est une herbe annuelle touffue, petite et souvent maigre, à tiges érigées décomposantes de 80 à 150 cm de hauteur. De nombreuses tiges se développent à la base. Les feuilles sont plates, glabres, longues de 30 à 50 cm et larges de 1 à 2 cm. Les panicules

sont vertes ou pourpres, de 8 à 30 cm de long et fortement feuillues. La plante se multiplie par graines.

La température optimale de germination est de 35°C (maximum à 40°C et minimum entre 5 et 10°C). Le panic tolère les sols basiques et la latérite (pH compris entre 5 et 8), la salinité, les mauvaises herbes et l'excès d'eau. Il pousse avec des précipitations annuelles comprises entre 300 et 2 500 mm et une température moyenne annuelle de 14 à 16°C. C'est une espèce adaptée à toutes les zones humides, une adventice commune des champs de riz ou du bord des routes.

C'est une culture à cycle court, qui produit une récolte en six semaines. Son tallage est très important.

## ● **Le teff**

*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter

*Français* : teff, mil éthiopien

*Anglais* : abyssinian love grass, teff grass

*Espagnol* : teff

*Famille des Poaceae*

En 1980 en Ethiopie, la moitié de la surface agricole était cultivée en teff. C'est une céréale consommée de façon quotidienne, sous forme de galettes. Elle peut également être cultivée comme fourrage (Afrique du Sud).

C'est une plante annuelle touffue, de 30 à 120 cm de haut, aux feuilles longues, effilées, étroites et lisses. Son système racinaire est superficiel. Les graines sont de petite taille (1 à 1,5 mm de long et 2 500 à 3 000 graines par gramme), de couleur variable (jaune, blanc laiteux, noir, rouge ou marron). Plus la couleur est sombre, plus les arômes de la graine sont nombreux. Elle ne contient pas de gluten.

C'est une céréale de climat à saison sèche longue, qui tolère le froid, et est cultivée en altitude (entre 1 800 et 2 100 m en Ethiopie). La plante est photosensible et fleurit en jours de douze heures.

C'est une culture à cycle court (quarante cinq à soixante jours) ou à cycle plus long (cent vingt à cent soixante jours), à maturité rapide. Elle est semée tardivement et récoltée en saison sèche. Elle peut être semée comme une culture de secours si les cultures principales (blé, sorgho, maïs) ne produisent pas. Le teff sert alors de culture de soudure, qui demande peu de soins et résiste aux maladies.

Le rendement varie de 300 kg à 3 000 kg/ha. La moyenne en Ethiopie est de l'ordre de 900 kg. La graine est facile à stocker et ne craint pas les attaques des insectes.

Le teff est produit presque exclusivement en Ethiopie : en 1996, 1,4 millions d'hectares ont produit 0,9 millions de tonnes de graines, soit environ le quart de la production céréalière du pays. Un début de production commerciale existe aux Etats-Unis et en Afrique du Sud. La population allergique au gluten augmente aux Etats-Unis, et le teff pourrait constituer une céréale de substitution.

## Bibliographie

### Maïs

AGPM. *Encyclopédie pratique du maïs*, 1981, AGPM, 178 p.

DE LÉON C. *Maladies du maïs. Guide d'identification au champ*, 1986, CIMMYT Mexico, 90 p.

INRA. *Physiologie du maïs*, 1984, INRA, 574 p.

SPRAGUE G.F. ET DUDLEY J.W. ed., *Corn and corn improvement*, 3<sup>ème</sup> édition, 1988, John Wesley, 986 p.

### Riz

ARRAUDEAU M., 1998. *Le riz irrigué*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris. 2 volumes, 659 p.

AUBIN J-P. ET DAGALIER J-C, 1997. *Mécanisation de la riziculture*. Ministère français de la Coopération, CIRAD. CIRAD, Montpellier, France, 278 p.

JACQUOT M. ET COURTOIS B., 1986. *Le riz pluvial*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris.

### Sorgho

CHANTEREAU J., NICOU R., 1991. *Le sorgho*. Maisonneuve et Larose, Paris, France, 159 p.

DOGGETT H., 1988. *Sorghum*, 2nd ed. Longmann Scientific & Technical, Harlow, UK., 512 p.

*Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine*, FAO, Rome 1995.

*Sorghum in Lost crop of Africa*, volume 1, 1996. National Academy Press, Washington, D.C., USA : 127-213.

### Céréales secondaires

CILSS, Centre régional de formation et d'application en agrométéorologie et hydrologie opérationnelle  
Programme AGRHYMET. *Les grandes cultures sahéliennes*. Tome xiv. *Reproduction du cours de M. Santens Patrice*, Niamey 1979, N°120. 4 p.

GRAIN DE SEL, bulletin trimestriel de l'inter-réseau, développement rural, N° 5, mars 1997. *Céréale oubliée, le fonio revient*, pp 10-11.

*Lost crop of Africa, Tome 1 : Grains*, 1996, National Academy Press, Washington D.C., USA.

PLANT RESOURCES OF SOUTH-EAST ASIA (PROSEA), *Pulses, Edible fruits and nuts, Dye and tannin-producing plants, Forages, Timber trees : Majors commercial timbers, Rattans, Bamboos, Vegetables*. N° 1-4, 5(1), 6-8, CD Rom, Wageningen, 1997.

## Quelques organismes de recherche

### Riz

ADRAO : 01 B.P. 2551, Bouaké 01, Côte d'Ivoire. ([www.cgiar.org/warda](http://www.cgiar.org/warda)).

CIAT : Apartado Aéreo 6713, Recta Cali-Palmira, Cali, Colombia ([www.ciat.cgiar.org](http://www.ciat.cgiar.org)).

CIRAD : Avenue du Val de Montferrand, 34398 Montpellier Cedex 5, France ([www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)).

IRRI : PO Box 3127, Makati City 1271, Philippines ([www.cgiar.org/irri](http://www.cgiar.org/irri)).

### Sorgho

CIRAD, 34398, Montpellier Cedex 5, France.

ICRISAT, Patancheru 502 324, Andra Pradesh, Inde.

INTSORMIL, Management Entity, University of Nebraska, 113 Biochemistry Hall, Lincoln, NE 68583-0748, USA.

ROCARS (Réseau Ouest et Centre Africain de recherche sur le sorgho), BP 320, Bamako, Mali.