



agricultures  
tropicales en poche

# La transformation des grains

Jean-François Cruz, D. Joseph Hounhouigan,  
Michel Havard et Thierry Ferré



Quæ  
CTA  
Presses  
agronomiques  
de Gembloux



Agricultures tropicales en poche  
Directeur de la collection  
Philippe Lhoste

# La transformation des grains

Jean-François Cruz, D. Joseph Hounhouigan,  
Michel Havard et Thierry Ferré

Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux

## À propos du CTA

Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) est une institution internationale conjointe des États du Groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et de l'Union européenne (UE). Il intervient dans le cadre des Accords de Cotonou et est financé par l'UE. Pour plus d'information sur le CTA, visitez : [www.cta.int](http://www.cta.int)



CTA, PB 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas  
[www.cta.int](http://www.cta.int)

Éditions Quæ, RD 10, 78026 Versailles Cedex, France  
[www.quae.com](http://www.quae.com) – [www.quae-open.com](http://www.quae-open.com)

Presses agronomiques de Gembloux, Passage des Déportés, 2,  
B-5030 Gembloux, Belgique  
[www.pressesagro.be](http://www.pressesagro.be)

### Pour citer cet ouvrage :

Cruz J.F., Hounhouigan D.J. Havard M., Ferré T., 2019. La transformation des grains. Collection Agricultures tropicales en Poche, Quæ, Presses agronomiques de Gembloux, CTA, Versailles, Gembloux, Wageningen. 182 p. + cahier quadri 16 p.

© Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux 2019

Éditions Quæ

PAG

ISBN papier : 978-2-7592-2783-9

ISBN papier : 978-2-87016-167-8

ISBN pdf : 978-2-7592-2784-6

ISBN pdf : 978-2-87016-168-5

ISBN ePub : 978-2-7592-2785-3

ISBN ePub : 978-2-87016-169-2

CTA

ISBN (version numérique) : 978-92-9081-669-0

Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation des éditeurs ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.



# Table des matières

Remerciements .....	7
Introduction .....	9
<b>1. Importance des céréales et des autres grains dans l'alimentation .....</b>	<b>11</b>
Les céréales, base de l'alimentation mondiale .....	11
Les légumineuses, complémentaires des céréales .....	14
<b>2. Amélioration de la qualité de la matière première .....</b>	<b>17</b>
La structure des grains, les facteurs d'altération et la qualité .....	17
Le nettoyage des grains .....	28
Le séchage des grains .....	34
Le stockage des grains .....	37
<b>3. Transformation du riz .....</b>	<b>45</b>
Le riz paddy et sa transformation .....	45
La transformation artisanale du riz .....	48
La transformation industrielle du riz .....	57
La transformation semi-industrielle du riz .....	68
La valorisation des coproduits .....	70
<b>4. Décorticage des céréales sèches et des autres grains .....</b>	<b>73</b>
Le décorticage des mils et des sorghos .....	73
Le décorticage du maïs .....	81
Le décorticage du fonio .....	89
Le décorticage de légumineuses : néré, niébé, soja .....	96
<b>5. Mouture et broyage des grains .....</b>	<b>105</b>
Les différents types de mouture .....	105
Les matériels de mouture .....	108
La fabrication locale de broyeurs .....	118
Le choix et l'utilisation d'un moulin ou broyeur à marteaux .....	119
La gestion et le coût de fonctionnement d'un moulin .....	121
Les miniminoteries .....	126
<b>6. Élaboration de produits transformés .....</b>	<b>129</b>
Les produits roulés secs : couscous, <i>dégué</i> , bouillies .....	129



Les nouveaux produits du fonio.....	139
Les farines infantiles.....	144
<b>7. Impact de la mécanisation et développement des petites entreprises</b> .....	<b>151</b>
L'impact sur le travail et sur l'emploi des femmes.....	152
Le développement de différents types d'entreprises de transformation.....	154
Le développement de services en appui à la mécanisation de la transformation.....	160
Le développement du secteur de la transformation et l'environnement.....	162
Perspectives.....	164
<b>Conclusion</b> .....	<b>167</b>
Références bibliographiques .....	169
Glossaire .....	177



## Avant-propos

La collection *Agricultures tropicales en Poche (AtP)* est gérée par un consortium comprenant le CTA de Wageningen (Pays-Bas), les Presses agronomiques de Gembloux (Belgique) et les Éditions Quæ (France). Cette collection comprend trois séries d'ouvrages pratiques consacrés aux productions animales, aux productions végétales et aux questions transversales.

Ces guides pratiques sont destinés avant tout aux producteurs, aux techniciens, aux conseillers agricoles et aux acteurs des filières agroalimentaires. En raison de leur caractère synthétique et actualisé, ils se révèlent être également d'utiles sources d'informations pour les chercheurs, les cadres des services techniques, les étudiants de l'enseignement supérieur et les agents des programmes de développement rural.

Ce nouveau livre aborde la transformation des grains et prolonge le livre sur la conservation des grains paru dans la même collection<sup>1</sup>. Il complète également deux ouvrages parus sur le fonio<sup>2</sup> et le sorgho<sup>3</sup>. L'objet est, cette fois, de présenter les différents procédés de transformation des céréales et d'autres grains en ciblant principalement les petites et moyennes entreprises comme principaux acteurs des systèmes de transformation des produits alimentaires dans les pays du Sud.

Les grains, et particulièrement les céréales et les légumineuses, restent la base de l'alimentation dans la plupart des pays du Sud où ils constituent souvent l'essentiel des rations alimentaires. Si l'accroissement de la production agricole a permis de répondre, en partie, à l'augmentation de la demande alimentaire, il reste indispensable d'améliorer la conservation et la transformation des produits agricoles pour réduire les pertes post-récolte et répondre à une demande qui évolue. L'amélioration des techniques et des équipements pour la transformation des grains contribue significativement à l'allègement du travail domestique des femmes qui sont chargées de ces tâches dans les familles rurales pour la préparation des repas.

Aujourd'hui, en effet, la demande alimentaire se modifie avec l'accroissement de l'urbanisation qui est un facteur essentiel de l'évolution des filières. Le développement d'un nouveau mode de vie induit également de nouvelles habitudes alimentaires. Les ménages urbains n'ont plus assez de temps pour préparer les repas selon des recettes traditionnelles

---

1. *La conservation des grains après récolte*, Jean-François Cruz *et al.*, 2016.

2. *Le fonio, une céréale africaine*, Jean-François Cruz *et al.*, 2011.

3. *Le sorgho*, Jacques Chantereau *et al.*, 2013.

de leur région d'origine. Le marché de l'alimentation évolue et les consommateurs ne sont plus seulement demandeurs de denrées de base, mais recherchent souvent des produits déjà transformés, prêts à cuire ou prêts à consommer, et fabriqués selon des procédés satisfaisant leur perception de la qualité organoleptique et respectant les règles d'hygiène et l'environnement. La transformation des produits agricoles est donc confrontée à une nouvelle donne, à de nouveaux défis.

La conservation et la transformation des produits agricoles apparaissent en effet comme des enjeux importants des prochaines décennies pour satisfaire la sécurité et les besoins alimentaires d'une population en augmentation en Afrique notamment. L'amélioration des techniques de transformation des produits agricoles permettra d'accroître la productivité de ces opérations et aussi de diminuer la pénibilité du travail des femmes qui effectuent le plus souvent ces opérations de transformation des grains. Les processus de mécanisation de cette transformation exigent du temps et des investissements, et ils devront s'appuyer sur les organisations de producteurs et sur le secteur privé. Ces technologies contribueront à ajouter de la valeur aux productions agricoles et à en améliorer la commercialisation, tout en réduisant les pertes et les gaspillages. Cet ouvrage contribue à accompagner ces dynamiques auprès des acteurs de ces filières et notamment les petites et moyennes entreprises.

Cet ouvrage est coordonné par Jean-François Cruz, chercheur au Cirad et spécialiste des technologies post-récolte des grains. Les co-auteurs sont D. Joseph Hounhouigan, professeur en sciences et technologie alimentaires à la Faculté des Sciences agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi du Bénin, Michel Havard, agronome au Cirad et spécialiste de la mécanisation agricole en Afrique subsaharienne et Thierry Ferré, chercheur au Cirad et spécialiste des processus d'innovation dans l'agroalimentaire.

Ces auteurs se sont attachés à produire une synthèse simple, actualisée et illustrée des connaissances sur la transformation des produits agricoles en zone tropicale. Cet ouvrage pourra servir de référence pratique aux opérateurs des filières grains et notamment aux transformateurs mais également aux centres de formation et aux différentes structures qui œuvrent sur le terrain pour améliorer cette phase essentielle qu'est la transformation des grains dans les filières agroalimentaires. Les versions numériques (pdf et ePub) sont en accès libre.

Philippe Lhoste

Directeur de la collection Agricultures tropicales en Poche



## Remerciements

Les auteurs remercient vivement les personnes qui ont contribué à la publication de cet ouvrage et notamment les relecteurs scientifiques : Philippe Lhoste, directeur de la collection Agricultures tropicales en Poche et Claire Mouquet-Rivier, chercheure à l'IRD. Nos remerciements vont également à Eléonore Beckers des Presses agronomiques de Gembloux et à Claire Jourdan-Ruf des Éditions Quæ pour le travail accompli dans la mise en forme finale de cet ouvrage.





## Introduction

Les grains et notamment les céréales et les légumineuses représentent encore plus des deux tiers de l'apport calorique en Afrique subsaharienne. Le riz, le maïs, le mil ou le sorgho, parfois associés au haricot, au niébé ou à l'arachide, constituent généralement la base de l'alimentation des populations autant en zone urbaine qu'en zone rurale. On ne consomme cependant pas des produits mais des plats élaborés à partir des produits transformés. Du produit récolté au plat consommé, les grains doivent ainsi subir une succession d'opérations de post-récolte et de première transformation (décorticage, mouture) pour être intégrés aux préparations culinaires. Durant des siècles, ces opérations ont traditionnellement été réalisées par les femmes au moyen d'équipements rudimentaires tels que le pilon et le mortier, mais ces tâches longues et fastidieuses sont aujourd'hui de moins en moins acceptées, notamment en milieu urbain, en raison de leur très grande pénibilité.

À partir des années 1960, le développement de filières industrielles de transformation des grains a été promu, mais les quelques unités implantées (rizeries ou maïseries) ont rapidement été confrontées à des problèmes de quantité et de qualité des approvisionnements et à des difficultés de commercialisation des produits transformés (Morris, 1986). Parallèlement se sont diffusés, depuis les quartiers des villes jusqu'aux gros villages, de très nombreux petits équipements comme les décortiqueurs à riz et les moulins motorisés (Cruz et Havard, 1994b). Ces petites unités de transformation, souvent gérées par des artisans et des groupements de femmes, ont permis et permettent encore de réaliser des prestations de service au bénéfice de clients qui viennent y transformer leurs grains pour la consommation journalière ou pour la vente sur les marchés.

Depuis les années 1990, la transformation des produits locaux pour le marché intérieur s'est progressivement structurée à partir de micro-activités marchandes, généralement assurées par des femmes, à partir de leurs savoir-faire domestiques. Avec près de 30 % du marché alimentaire urbain, le secteur artisanal et celui des petites et moyennes entreprises (PME) représente un secteur économique considérable (Bricas *et al.*, 2016). Il valorise surtout des produits locaux qu'il adapte aux modes de vie urbains et au pouvoir d'achat limité et fractionné d'une importante partie de la population. Il contribue à construire une culture alimentaire valorisant à la fois les traditions rurales et inventant des identités spécifiquement urbaines.



Selon la FAO, un des principaux problèmes à résoudre est de moderniser le système agroalimentaire afin qu'il soit compétitif sur des marchés régionaux, nationaux et mondiaux tout en offrant à une population jeune et diverse des possibilités d'entrepreneuriat, d'améliorer ses conditions de vie et de trouver un emploi (FAO, 2015). La modernisation des filières agroalimentaires en pleine croissance permettra de fabriquer des produits de qualité qui répondent aux besoins changeants des populations urbaines, l'accent étant mis sur des aliments sains, de qualité et prêts à l'emploi.

Cette modernisation nécessite l'utilisation de techniques et d'équipements adaptés aux besoins des secteurs artisanaux et semi-industriels. Aujourd'hui, la recherche doit se focaliser sur la production et le développement de technologies améliorées combinant les procédés technologiques modernes et les pratiques traditionnelles de transformation des produits alimentaires. Les groupes cibles sont principalement les petites et moyennes entreprises et les groupes de femmes qui représentent les principaux acteurs des systèmes de transformation des produits alimentaires. Cet ouvrage sur la transformation des céréales et autres grains permet de faire le point sur les technologies existantes au niveau artisanal et semi-industriel et d'identifier les opérations unitaires susceptibles d'amélioration technologique en visant l'efficacité technique et économique en termes d'énergie et d'environnement, et en se concentrant sur les qualités nutritionnelles et sanitaires des produits obtenus.



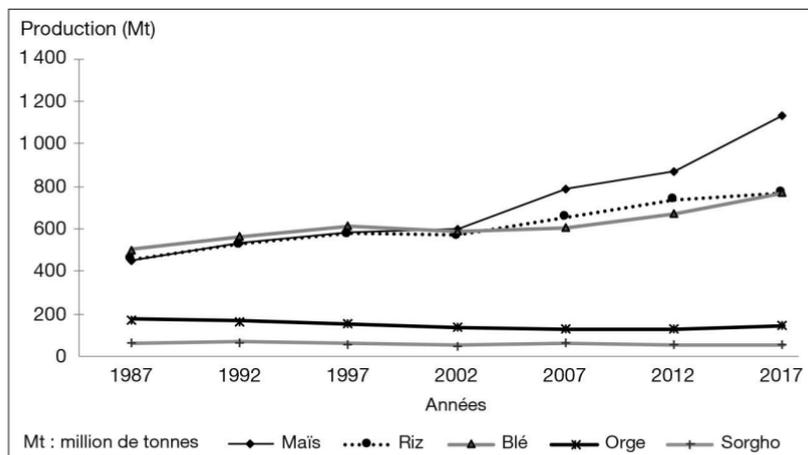
# 1. Importance des céréales et des autres grains dans l'alimentation

Les céréales sont des plantes cultivées pour leurs grains riches en amidon et destinés à l'alimentation humaine ou animale. Ces plantes appartiennent essentiellement à la famille des Poacées ou graminées auxquelles on associe parfois d'autres plantes, appelées par certains pseudo-céréales, comme le sarrasin ou blé noir (Polygonacées), le quinoa et l'amarante (Chénopodiacées) ou la chia (Lamiacées). Depuis leur domestication, au Néolithique, les céréales ont constitué pour l'homme une ressource alimentaire riche en éléments nutritifs, peu volumineuse, facile à conserver et à transporter et bien adaptée aux milieux et aux climats les plus variés.

## Les céréales, base de l'alimentation mondiale

Depuis des siècles, trois céréales, le blé, le riz et le maïs, constituent la base alimentaire de nombreuses populations de la planète. Le blé, qui est l'une des premières plantes à avoir été cultivée il y a plus de 10000 ans dans le fameux «croissant fertile» de Mésopotamie, reste la principale céréale des climats tempérés avec une production de 772Mt (millions de tonnes) en 2017. Il est généralement consommé après broyage en farine (blé tendre) pour la fabrication de pains et de pâtisseries ou en semoule (blé dur) pour la fabrication de pâtes alimentaires ou de produits roulés de type couscous. Le riz est la première céréale des pays tropicaux avec une production voisine de 770Mt en 2017. Originaire d'Asie de l'Est, cette céréale est aujourd'hui cultivée, en riziculture pluviale ou irriguée, dans la plupart des continents et sous de nombreux climats tropicaux, subtropicaux ou méditerranéens. Le riz est essentiellement consommé sous la forme de grains entiers, plus ou moins blanchis selon les habitudes alimentaires des consommateurs. Le maïs est la céréale des anciennes civilisations d'Amérique centrale qui a été introduite en Europe et en Afrique au XVI<sup>e</sup> siècle. C'est une céréale des climats subtropicaux qui a été adaptée à de nombreux climats puisqu'on la retrouve aussi bien en Ukraine qu'en Chine ou au Canada. En 2017 sa production atteint environ 1 135Mt.

Si le blé et le riz sont quasi exclusivement destinés à l'alimentation humaine, le maïs est très utilisé pour l'alimentation animale, notamment dans les pays occidentaux. L'évolution de la production mondiale des principales céréales est illustrée en figure 1.1.



**Figure 1.1.**

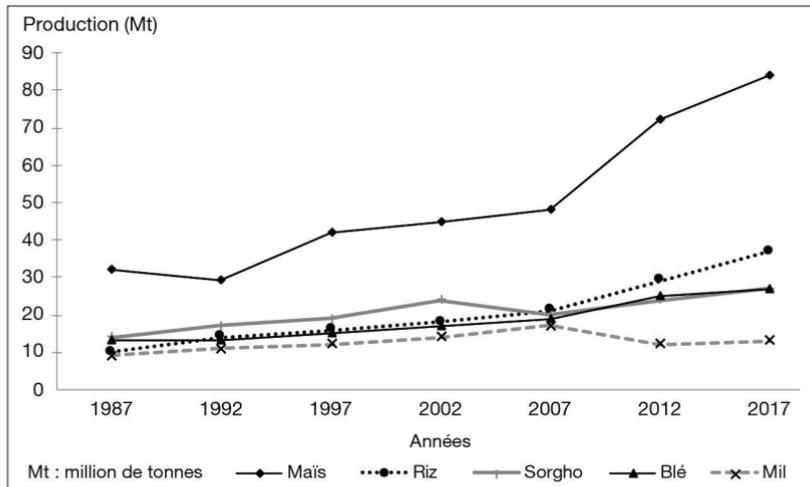
Évolution de la production mondiale (en Mt) des principales céréales sur une période de trente ans (entre 1987 et 2017) (source FAOSTAT).

En Afrique, le sorgho joue un rôle particulier comme céréale rustique, bien adaptée aux régions semi-arides en raison de ses besoins modérés en eau. Domesticqué il y a plus de 8000 ans dans l'Est du continent (Éthiopie, Soudan), il constitue, avec le mil pénicillaire, une culture vivrière de base pour les nombreuses populations des zones sèches d'Afrique subsaharienne. Localement, le sorgho est très lié à son statut de culture de subsistance pour le petit paysannat et reste dans bien des pays une culture fondée sur des variétés locales aux rendements limités (de 700 à 1500 kg/ha) mais fiables (Chantereau *et al.*, 2013). Le sorgho et le mil sont consommés sous forme de bouillies, pâtes, couscous ou galettes. Toutes les préparations traditionnelles sont réalisées à base de farines ou de semoules plus ou moins grossières obtenues après décorticage et mouture des grains. L'évolution de la production africaine des principales céréales est illustrée en figure 1.2.

Du point de vue nutritionnel, les grains entiers des principales céréales sont des aliments essentiellement glucidiques avec 60 à 75 % de glucides digestibles constitués principalement d'amidon, et comprenant un taux de fibres diététiques variable de 5 à 15 %. Les céréales apparaissent



ainsi comme des aliments énergétiques : 1400 à 1600 kJ/100g. Leur teneur en protéines reste modeste et varie le plus souvent de 8 à 13% avec un déficit en lysine mais une richesse en méthionine et cystéine chez certaines céréales comme le fonio (Cruz *et al.*, 2011). Les lipides essentiellement concentrés dans le germe des grains sont en faible quantité (2 à 4%) et pratiquement éliminés lors du décorticage. Les céréales sont peu minéralisées avec comme élément minéral majoritaire le phosphore et une faible teneur en calcium. Les céréales sont généralement pauvres en vitamine A à l'exception du maïs jaune et de certains mils qui contiennent des caroténoïdes actifs. La vitamine C fait défaut également. Les germes sont riches en vitamine E et des vitamines du groupe B sont présentes mais les opérations de décorticage en éliminent une bonne partie (Favier, 1989).



**Figure 1.2.**

Évolution de la production (Mt) des principales céréales en Afrique sur une période de trente ans (entre 1987 et 2017) (source FAOSTAT).

Pour équilibrer l'apport nutritionnel, notamment protéique, il est généralement recommandé d'associer les céréales aux légumineuses riches en arginine et assez bien pourvues en lysine. Historiquement, en France, les bouillies de céréales et de légumineuses accompagnées de pain étaient des aliments de base pour la population. On retrouve cette association d'une céréale et d'une légumineuse dans de nombreux plats traditionnels de différentes régions du monde. En Amérique centrale, le classique *Gallo Pinto* avec du riz et des haricots rouges ou noirs est



un véritable plat national. En Asie, on retrouve de nombreux plats à base de riz et de soja et l'Afrique du Nord est célèbre pour son fameux couscous de blé dur avec pois chiches.

## Les légumineuses, complémentaires des céréales

Les légumineuses ou Fabacées sont des plantes dicotylédones surtout cultivées pour leurs graines qui tiennent une place importante dans l'alimentation humaine et animale en raison de leur intérêt nutritionnel élevé. Les graines de légumineuses, parfois appelés légumes secs, renferment, en effet, entre 20 et 25 % de protéines et même 35 % pour le soja. La production mondiale des principales légumineuses est donnée dans le tableau 1.1.

Le soja, originaire d'Asie de l'Est, et l'arachide, originaire d'Amérique centrale, sont les deux principales légumineuses produites dans le monde avec respectivement des productions qui ont atteint 353 Mt et 47 Mt en 2017. Même si le soja reste très consommé en Asie, sous la forme d'aliments fermentés ou non, une grande partie de la production est aujourd'hui utilisée en alimentation animale. L'arachide est, quant à elle, surtout destinée à l'huilerie.

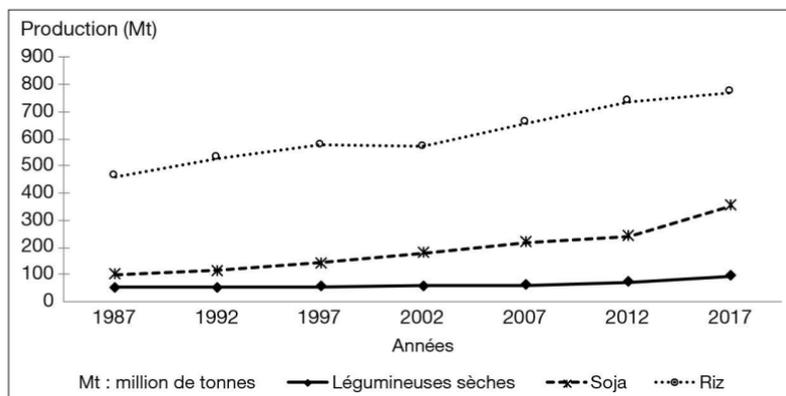
Les principales légumineuses sèches utilisées directement en alimentation humaine sont, par ordre d'importance, les haricots secs, les pois secs, les pois chiches, les lentilles, les doliques ou niébé, les pois d'Angole et les fèves.

**Tableau 1.1.** Production mondiale (en Mt) des principales légumineuses en 2017.

Légumineuse	Production (Mt)
Soja	353
Arachides non décortiquées	47
Haricots secs	31
Pois secs	16
Pois chiches	15
Lentilles	8
Doliques	7
Pois d'Angole	7
Fèves sèches	5



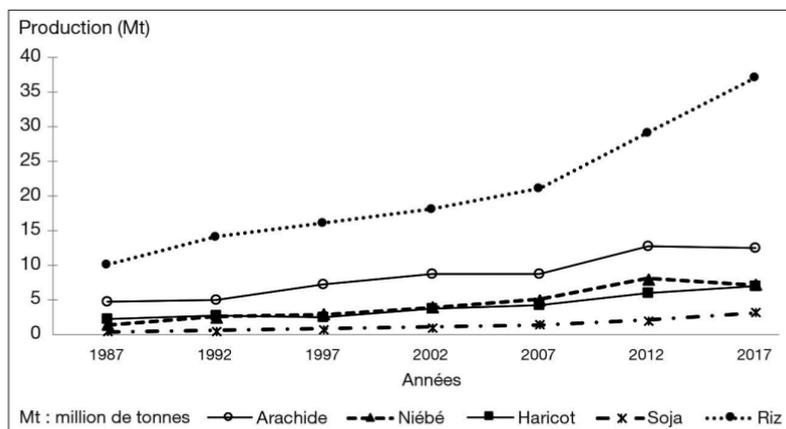
Sauf pour le soja, la production mondiale des légumineuses augmente beaucoup moins rapidement que celle des céréales (figure 1.3) et leur part dans la production totale de l'agriculture mondiale se réduit d'autant.



**Figure 1.3.**

Évolution comparée de la production (Mt) mondiale des légumineuses, du soja et du riz sur une période de trente ans (entre 1987 et 2017) (source FAOSTAT).

En Afrique, les principales légumineuses produites sont l'arachide, le niébé et le haricot, mais, comme au niveau mondial, leurs productions augmentent beaucoup moins rapidement que celle d'une céréale comme le riz (figure 1.4). On note, depuis une vingtaine d'années, un petit développement de la production du soja notamment en Afrique australe et au Nigeria.



**Figure 1.4.**

Évolution comparée de la production (Mt) de légumineuses et du riz en Afrique sur une période de trente ans (entre 1987 et 2017) (source FAOSTAT).



Du point de vue nutritionnel, la plupart des légumineuses sont des Amylacées protéinées. Elles sont riches en arginine, assez bien pourvues en lysine mais déficitaires en méthionine et cystéine. Elles complètent donc bien les céréales qui sont pauvres en lysine, mais équilibrées pour les autres acides aminés. Les légumineuses sont également plus riches en divers minéraux comme le potassium, le calcium et le fer que les céréales et contiennent divers oligo-éléments comme le cuivre et le zinc, et elles sont source de vitamines du groupe B.

La présence de facteurs anti-nutritionnels (des inhibiteurs de protéases et des tannins) peut affecter leur digestibilité, mais ils sont généralement éliminés à la cuisson. Les problèmes de ballonnements ou flatulences peuvent être évités en employant des méthodes traditionnelles comme le trempage, la germination ou la fermentation. On a également constaté que le décorticage améliore la digestibilité et l'assimilation des protéines en éliminant le tégument des graines qui contiennent des polyphénols ou tannins (Redhead et Boelen, 1990).



## 2. Amélioration de la qualité de la matière première

La qualité de la matière première intègre les différentes caractéristiques et propriétés des grains. Les critères de qualité sont multiples et concernent l'ensemble des caractéristiques physiques, technologiques, biochimiques et organoleptiques des produits. Selon les populations, certains critères peuvent également tenir compte d'aspects culturels liés aux habitudes alimentaires. En général, les industries agroalimentaires recherchent des grains «sains, loyaux, marchands et sans flair». Ils doivent être d'une bonne homogénéité pour faciliter leur transformation. La propreté et le bon état sanitaire d'un produit restent des qualités essentielles. Le nettoyage, le séchage et le bon stockage des grains sont des opérations indispensables pour améliorer la qualité de la matière première.

### La structure des grains, les facteurs d'altération et la qualité

Les grains ont une très grande diversité de forme, de taille ou de couleur (voir cahier couleur photo 1). De forme sphérique, ovale, oblongue, ou parfois même polygonale, les grains de céréales ont, selon les espèces, des dimensions qui varient de moins de 1 mm (fonio) à plus de 10 mm (maïs). Le poids de 1000 grains peut ainsi varier de 0,5 g (fonio) à près de 350 g (maïs).

#### ▮ La structure physique des grains de céréales

Les grains de céréales sont des fruits secs indéhiscents appelés caryopses qui ne contiennent qu'une graine. Ces organismes vivants sont de véritables plantes miniatures, protégées par des enveloppes et disposant de réserves pour se nourrir et se développer. Les grains sont constitués de trois parties : les enveloppes, l'albumen et le germe.

#### Les enveloppes

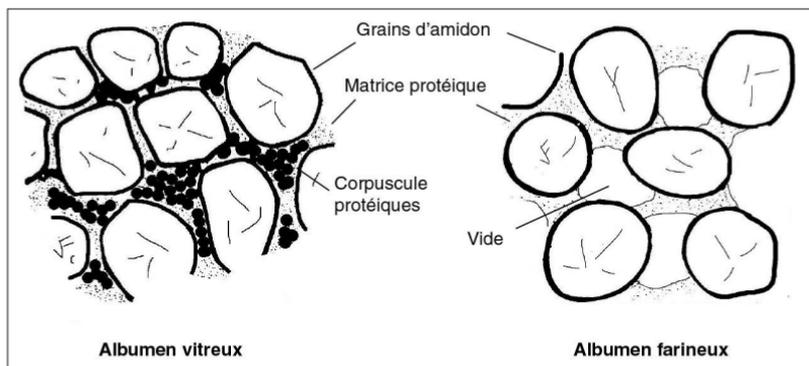
Les grains de céréales sont protégés par une ou plusieurs enveloppes. Les couches cellulaires les plus externes constituent le péricarpe qui

correspond aux téguments du « fruit ». Sur sa face interne, le péricarpe est souvent soudé à une couche cellulaire appelée testa qui correspond au tégument de la graine (Turner, 2013). Pour certains grains, comme le sorgho, cette testa est parfois fortement pigmentée et contient des tannins. Lors de la transformation des grains, les enveloppes, qui représentent environ 8% du grain, donnent le son, substance riche en fibres, en minéraux, en vitamines et en protéines.

Par opposition aux céréales dites « nues » comme le mil, le sorgho, le maïs ou le blé, certaines céréales, telles que le riz ou le fonio, sont dites « vêtues » car elles possèdent encore certaines enveloppes externes provenant de la fleur. Ces enveloppes, appelées balles, sont constituées des glumelles et des glumes et ne sont pas intimement liées au grain comme peut l'être le péricarpe, mais elles améliorent sa protection comme dans le cas du riz paddy (voir cahier couleur photos 2 et 3).

### L'albumen

L'albumen est l'amande des céréales et représente 75 à 90 % des grains. Comme principal tissu de réserve, il est essentiellement constitué de granules d'amidons enchâssés dans un réseau protéique plus ou moins dense. La première couche cellulaire de l'albumen est l'assise protéique ou couche à aleurone, riche en protéines, en lipides et en minéraux. Certaines céréales, comme le maïs et le sorgho, possèdent un albumen vitreux et un albumen farineux. L'albumen vitreux est constitué de granules d'amidon noyés dans une matrice protéique pour former une structure dense et compacte (figure 2.1). Dans l'albumen farineux, les granules d'amidon sont beaucoup plus libres et reliés par un mince réseau protéique discontinu.



**Figure 2.1.**

Schéma de cellules de l'albumen (Cruz *et al.*, 2016).