



agricultures
tropicales en poche

La conservation des grains après récolte

Jean-François Cruz, D. Joseph Hounhouigan
et Francis Fleurat-Lessard
avec la collaboration de Francis Troude



Quæ
CTA
Presses
agronomiques
de Gembloux

Agricultures tropicales en poche
Directeur de la collection
Philippe Lhoste

La conservation des grains après récolte

Jean-François Cruz, D. Joseph Hounhouigan,
Francis Fleurat-Lessard

Avec la collaboration de Francis Troude

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 aux États du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et de l'Union européenne (UE). Il intervient dans les pays ACP pour améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, accroître la prospérité dans les zones rurales et garantir une bonne gestion des ressources naturelles. Il facilite l'accès à l'information et aux connaissances, favorise l'élaboration des politiques agricoles dans la concertation et renforce les capacités des institutions et communautés concernées.

Le CTA opère dans le cadre de l'Accord de Cotonou et est financé par l'UE.



CTA, PO Box 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas
www.cta.int

Éditions Quæ, RD 10, 78026 Versailles Cedex, France
www.quae.com

Presses agronomiques de Gembloux, Passage des Déportés, 2,
B-5030 Gembloux, Belgique
www.pressesagro.be

© Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux 2016

ISBN (Quæ) : 978-2-7592- 2437-1

ISBN (CTA) : 978-92-9081-608-9

ISBN (PAG) : 978-2-87016-144-9

ISSN : 1778-6568

Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} 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

Avant-propos	5
Remerciements	7
Introduction	9
1. Les caractéristiques des grains et les facteurs d'altération ...	11
Variabilité physique des grains	11
Structure physique des grains	12
Composition biochimique des grains	16
Propriétés physiques des grains	18
Activité biologique des grains	20
Facteurs physiques d'altération des grains	21
Agents biologiques d'altération des grains	29
Écosystème des grains stockés	31
2. Les pertes après récolte : principes de conservation	33
Définitions et historique	33
Pertes après récolte dans les grains	35
Principes de la conservation	43
3. La stabilisation des grains et les modes de séchage	45
Stabilisation des grains, rôle du séchage	45
Caractéristiques de l'air, diagramme de l'air humide	46
Principe du séchage	50
4. La conservation des grains au niveau paysan	77
Stockage villageois	77
Greniers traditionnels	78
Amélioration du stockage villageois	90
5. Le stockage en sacs	105
Pérennité du stockage en sacs	105
Conception des magasins de stockage en sacs	105
Équipements des magasins de stockage en sacs	116
Mise en place et gestion technique des stocks de grains	123



6. Le stockage en vrac	129
Importance du stockage en vrac	129
Silos de stockage	130
Principaux types de silos	133
Équipements des silos de stockage	140
7. Les insectes des stocks et les méthodes de lutte	155
Caractères généraux des insectes des grains et graines	155
Connaissance des groupes d'insectes et autres arthropodes vivant dans les denrées alimentaires	161
Approche préventive de la lutte contre les insectes granivores	182
Méthodes de lutte directe en cas d'infestation visible	184
Protection raisonnée et durable contre les insectes en post-récolte	196
8. La lutte contre les rongeurs	199
Principaux rongeurs déprédateurs des stocks	199
Dégâts causés par les rongeurs	202
Lutte contre les rongeurs	204
Conclusion	213
Sigles et acronymes	215
Bibliographie consultée	217
Sites Internet	223
Glossaire	225
Index	229



Avant-propos

La collection «Agricultures tropicales en poche» 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 et aux conseillers agricoles. Ils se révèlent être également d'utiles sources de références pour les chercheurs, les cadres des services techniques, les étudiants de l'enseignement supérieur et les agents des programmes de développement rural.

Le présent ouvrage est consacré à la conservation des grains. Il s'agit d'une problématique essentielle dans la lutte contre les pénuries alimentaires et donc contre la faim. En effet, la totalité de la production agricole destinée à l'alimentation ne parvient pas à ses destinataires en raison de pertes au cours de la phase dite de «post-récolte» (entre la récolte de la culture et la transformation des produits pour l'alimentation). Ces pertes peuvent atteindre 30% de la production brute en raison de mauvaises conditions de conservation, au cours du stockage ou de déprédations diverses par des champignons, insectes, rongeurs.

Dans le contexte d'augmentation de la demande alimentaire de ce début de ^{xxi} siècle, notamment en Afrique, il est donc essentiel, non seulement d'améliorer la production agricole vivrière mais aussi de lutter contre les pertes post-récolte. Cet ouvrage vise à y contribuer en effectuant une synthèse opérationnelle des connaissances anciennes et récentes dans ce domaine; il vient en complément d'un précédent ouvrage de la même collection, «Les semences» (Turner, 2013), et il devrait être suivi par un ouvrage complémentaire sur la transformation des grains.

Cet ouvrage collectif a été rédigé par Jean-François Cruz, chercheur au Cirad et spécialiste des technologies post-récolte des céréales, D. Joseph Hounhouigan, professeur de sciences et technologies alimentaires, doyen de la Faculté des Sciences agronomiques à l'Université Abomey-Calavi du Bénin, Francis Fleurat-Lessard, chargé de recherche à l'Inra Bordeaux-Aquitaine sur la sécurité sanitaire des céréales après récolte. Les auteurs ont bénéficié de la collaboration de Francis Troude, agro-machiniste spécialiste des technologies post-récolte au Cirad.



Cet ouvrage simple, clair et abondamment illustré est, de la volonté même des auteurs, plus technique que scientifique. Il aborde de façon pratique les différents aspects de la conservation des grains : séchage, stockage, lutte contre les insectes et les rongeurs. Il doit servir de référence pratique aux opérateurs des filières grains, mais également aux ingénieurs, chercheurs, techniciens, formateurs, étudiants et agents de développement des structures publiques ou privées qui œuvrent sur le terrain pour améliorer la conservation des grains en zones tropicales et ainsi réduire les pertes post-récolte. Il s'agit là d'un enjeu majeur de la lutte contre la faim.

Philippe Lhoste
Directeur de la collection Agricultures tropicales en poche



Remerciements

Les auteurs remercient Francis Troude, agro-machiniste et spécialiste des technologies post-récolte des grains au Cirad, aujourd'hui en retraite, pour sa collaboration à l'ouvrage. Ils remercient vivement les personnes qui ont contribué à la publication de cet ouvrage et notamment les différents relecteurs scientifiques : Philippe Lhoste, directeur de la collection Agricultures tropicales en poche, Michel Havard, chercheur Cirad agro-machiniste, Jean-Michel Méot, chercheur spécialiste du séchage des produits agricoles et alimentaires au Cirad, Jean-Marc Duplantier, chercheur spécialiste des rongeurs à l'IRD. Nos remerciements vont également à Claire Parmentier 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 céréales et les légumineuses constituent la base de l'alimentation pour une grande partie de l'humanité et la part de ces productions vivrières est prépondérante dans le régime alimentaire des populations les plus pauvres. En 2013, la production annuelle des céréales majeures, maïs, riz, blé, orge et sorgho a été de plus de 2680 millions de tonnes de grains, ce qui représente près de 50 % de la production agricole végétale totale au niveau mondial.

Pour faire face à l'augmentation des besoins alimentaires en raison de la croissance de leur population, de nombreux pays visent à assurer la sécurité alimentaire par l'accroissement de la production agricole et l'amélioration de la qualité des produits. La recherche agronomique permet d'obtenir de meilleurs rendements grâce notamment à la création de variétés améliorées et au développement des techniques de production toujours plus performantes.

Dans le contexte actuel du réchauffement climatique global, cette augmentation de la productivité des cultures pour un objectif d'auto-suffisance alimentaire se révèle difficile à atteindre dans de nombreux pays du Sud. Par contre, les initiatives de réduction des pertes de produits agricoles, en particulier après la récolte et lors de la transformation, paraissent à la portée de tous. L'essentiel des pertes est dû principalement au séchage insuffisant qui favorise le développement des moisissures et/ou au stockage défectueux qui facilite l'attaque des déprédateurs comme les insectes ou les rongeurs. Mais des pertes peuvent aussi se produire au cours des autres séquences du système post-récolte : récolte, stockage au champ, transport, battage, nettoyage, manutention, transformation.

On ne dispose pas toujours d'estimations précises des taux de pertes selon les régions, les filières ou les systèmes de stockage, mais des pertes moyennes de 10 à 15 % sont assez souvent annoncées dans un grand nombre de pays. Des niveaux supérieurs à 30 % sont parfois atteints dans des pays du Sud où les conditions climatiques sont défavorables à la conservation des denrées alimentaires et où les systèmes de stockage, notamment en milieu rural, sont rudimentaires. La FAO estime que les quantités de pertes et gaspillages alimentaires annuels au niveau mondial atteignent 30 % dans les filières céréalières.

Aujourd'hui, comme par le passé, la réduction des pertes après récolte doit être une composante essentielle de toute stratégie qui vise à



améliorer la disponibilité alimentaire sans accroître la pression sur le milieu naturel. Les pertes peuvent être diminuées par la bonne préparation des produits avant le stockage, par l'apport d'innovations techniques notamment en matière de séchage et de stockage et par la bonne conservation des denrées tout au long du stockage.



1. Les caractéristiques des grains et les facteurs d'altération

Le terme grain fait souvent référence à la semence des céréales, véritable fruit sec et indéhiscent appelé caryopse. Mais on utilise également le mot « grain » pour parler du fruit ou de la graine d'autres plantes comme les légumineuses (haricot, niébé), les plantes oléagineuses (tournesol, colza) ou encore les plantes stimulantes (caféier).

Variabilité physique des grains

Les grains ont une très grande diversité de forme, de taille ou de couleur. De forme sphérique, ovale, oblongue, ou parfois même polygonale, les grains ont, selon les espèces, des dimensions qui varient de moins de 1 mm (fonio) à plus de 25 mm (fève de cacao). Le poids de 1 000 grains peut ainsi varier de 0,5 g (fonio) à près de 1 500 g (fèves de cacao) (photo 1.1).

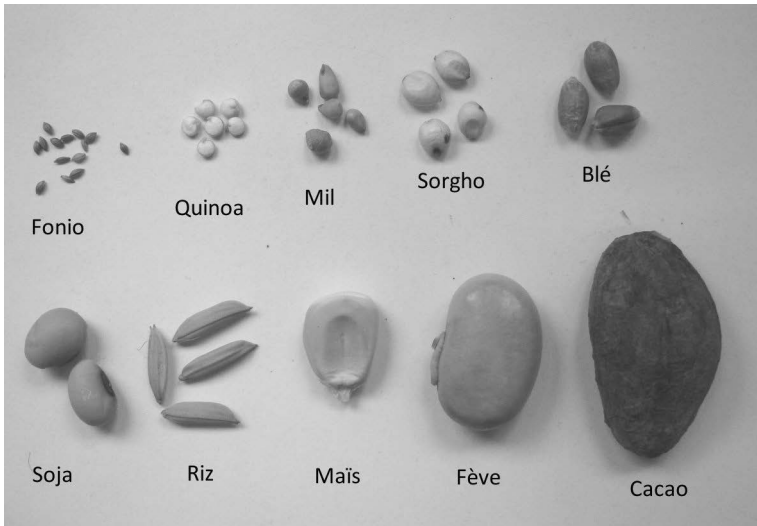


Photo 1.1.

Comparaison de la taille de différents grains (© Jean-François Cruz, Cirad).

Structure physique des grains

Les grains sont en fait de véritables plantes miniatures, protégées par des enveloppes et disposant de réserves pour se nourrir et se développer. Au XVIII^e siècle, l'Encyclopédie décrivait la graine comme « un bourgeon de plante abrégée, accompagné d'une pulpe qui lui tient lieu de placenta ».

Les grains sont constitués de trois parties : les enveloppes, l'albumen (figure 1.1) 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, dérivé de la paroi de l'ovaire, 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 certaines espèces, cette testa est fortement pigmentée et contient des tannins. Les enveloppes protègent le grain et ralentissent les échanges avec l'extérieur, mais elles peuvent être traversées par les microorganismes et par les gaz. Une partie du grain, le funicule, n'est pas protégé et permet la pénétration de vapeur d'eau et de certaines moisissures. 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 graines de céréales dites « nues » comme le maïs (figure 1.2b), le sorgho, le mil..., les graines de 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 qui ne sont pas intimement liées au grain comme peut l'être le péricarpe, mais elles améliorent considérablement sa protection comme dans le cas du riz paddy (figure 1.2a). Après élimination des balles, le riz décortiqué est appelé « riz cargo » car c'est sous cette forme qu'il est transporté dans les navires.

Les grains de légumineuses comme le haricot, le niébé, le soja, l'arachide, ne sont pas des fruits mais de véritables graines (figure 1.3).

Les différentes enveloppes protègent les grains de l'humidité, de certaines moisissures et de certains insectes, mais cette protection n'est



bien assurée que si ces enveloppes n'ont pas été altérées ou déchirées lors de la moisson ou du battage. Comme les grains endommagés risquent de contaminer les grains sains, il est important de les éliminer avant le stockage.

▮ L'albumen

L'albumen est l'élément principal des grains (75 à 90 % pour les céréales). Il représente l'organe de réserve essentiellement constitué de granules d'amidons enchâssés dans un réseau protéique plus ou moins dense. La première assise constitutive de l'albumen est l'assise protéique ou couche à aleurone, qui est une couche unicellulaire riche en protéines, en lipides et en minéraux. Pour de nombreuses céréales comme le maïs, le sorgho, le blé, etc., on distingue souvent l'albumen périphérique et les albumens vitreux et farineux. L'albumen périphérique comprend plusieurs couches de cellules compactes contenant beaucoup de protéines et des petits granules d'amidon. L'albumen vitreux est constitué de granules d'amidon polyédriques noyés dans une matrice protéique pour former une structure dense et compacte. L'albumen farineux, plus au cœur du grain, est plus ou moins important selon les espèces. L'albumen du riz est essentiellement vitreux alors que celui du blé tendre est farineux. Dans l'albumen farineux, les granules d'amidon sphériques sont beaucoup plus libres et parfois reliés par un mince réseau protéique discontinu (figure 1.1). La présence de vides d'air dans cet albumen farineux, à la structure beaucoup plus lâche, le rend opaque à la lumière tandis que l'albumen vitreux est translucide. Ces vides rendent les albumens farineux plus fragiles aux chocs lors de la manutention des grains.

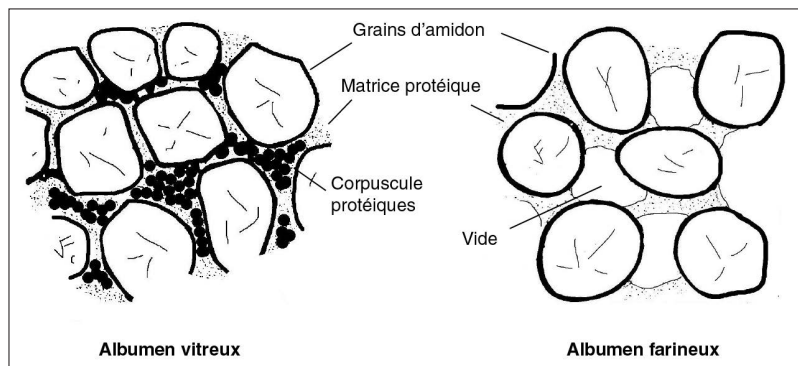


Figure 1.1.
Schéma de cellules de l'albumen.

Chez beaucoup de légumineuses (haricot, pois, etc.), l'albumen est digéré par les cotylédons qui deviennent alors l'organe de réserve. On a ainsi des grains sans albumen.

Lors du stockage, les déprédateurs que sont les insectes cherchent à consommer les réserves des grains contenues dans l'albumen, les cotylédons ou le germe. L'humidité et la chaleur dégagées par leur activité biologique favorisent les attaques par d'autres insectes ou engendrent des conditions favorables au développement des moisissures.

▮ Le germe

Le germe des céréales est formé de la plantule et d'un cotylédon ou scutellum. La plantule est une véritable plante miniature alors que le scutellum est un organe, riche en protéines, en lipides, en protéines, en minéraux et en vitamines qui joue le rôle de « placenta » pour permettre à la jeune plantule de se nourrir des réserves de l'albumen. Une fois éliminé, le germe constitue une autre partie du son. L'importance relative du germe par rapport au grain varie suivant les céréales. Le germe du riz ou du blé est très petit alors que celui du maïs, du sorgho ou du mil est très gros (tableau 1.1).

La proportion relative des différentes parties du grain pour plusieurs grandes céréales est donnée dans le tableau 1.1 (Miche, 1980).

Tableau 1.1. Comparaison des parties structurantes de plusieurs céréales (% du grain entier).

Céréale	Enveloppes	Albumen	Germe
Riz cargo	6	90	4
Maïs	6	83	11
Sorgho	8	82	10
Mil	8	75	17
Blé	15	82	3

Certains insectes déprédateurs s'attaquent aux germes des grains et les conséquences de la dégradation de la plantule en cours de stockage sont particulièrement graves dans le cas où les grains sont stockés en tant que semences. Une dégradation des semences réduit considérablement le taux de germination après semis et le rendement des récoltes. Par conséquent, les semences sont souvent stockées séparément des grains « tout venant » afin de leur assurer une meilleure protection.

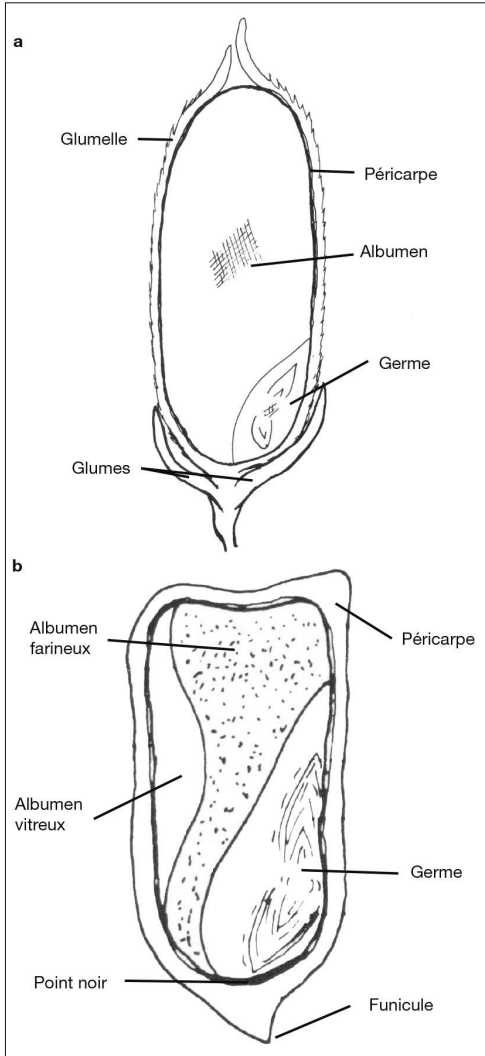


Figure 1.2.
Schéma des grains
de céréales :
a, riz paddy; b, maïs.

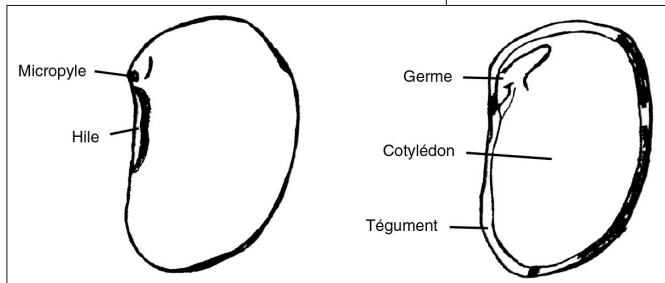


Figure 1.3.
Schéma d'une graine
de légumineuse.

Composition biochimique des grains

Les grains sont constitués de matière sèche et d'eau.

▮ La matière sèche

Les glucides

Les glucides sont présents principalement dans l'albumen des céréales sous la forme de granules d'amidon, de fibres (cellulose), non digestibles sauf par les herbivores, et de sucres simples (saccharose, glucose). L'amidon est un mélange de deux polymères du glucose : l'amylose, formée d'une chaîne continue mais enroulée de molécules de glucose et l'amylopectine, composée de nombreuses chaînes ramifiées de glucose. L'amidon des céréales est composé de 18 à 28 % d'amylose. Ces glucides jouent un rôle essentiel dans l'alimentation humaine comme aliment énergétique.

Les lipides

Les lipides sont aussi qualifiés de matières grasses. Dans les céréales, les lipides sont principalement concentrés dans le germe mais ils ne représentent que 3 à 4 % de la matière sèche. Pour les oléagineux comme l'arachide ou les oléoprotéagineux comme le soja, les lipides sont présents, surtout dans l'albumen, en quantité plus importante: 50 % pour l'arachide, 20 % pour le soja.

Les protides

Ce sont des composés azotés simples (acides aminés) ou formés de l'association complexe des acides aminés (protéines). Les céréales sont relativement pauvres en protéines (environ 10 %) alors que les légumineuses sont plus riches (plus de 20 %). Dans de nombreux pays du Sud, le régime alimentaire des populations est basé sur la consommation d'une céréale et d'une légumineuse comme c'est le cas en Amérique latine avec l'association maïs et haricot. La carence en lysine et en tryptophane de la céréale est compensée par la légumineuse qui est riche en ces acides aminés. Enfin, les enzymes sont des protéines qui, à faible dose, permettent d'accélérer les réactions biologiques, et notamment de dégradation de la matière vivante (hydrolyse de l'amidon et des protéines).

Les vitamines et les pigments

Les vitamines sont des composés chimiques complexes, essentiels à l'homme et aux animaux, Elles sont surtout concentrées dans le



péricarpe et le germe à des teneurs très faibles et sont plus vulnérables que les autres constituants du grain en cas de mauvais stockage. Les pigments sont spécifiques à chaque espèce et sont parfois précurseurs de vitamines (pigments caroténoïdes).

Les matières minérales

Les matières minérales sont contenues dans les grains en faibles quantités (1 à 4%). Le résidu minéral, obtenu après incinération de la matière organique, est constitué de macroéléments (phosphore, potassium, magnésium, soufre) et d'oligo-éléments (sodium, fer, zinc, manganèse, cuivre). Ces éléments minéraux sont, pour la plupart, concentrés dans les couches périphériques du grain, et sont donc, en grande partie, éliminés lors du décortiquage.

La composition biochimique succincte de diverses céréales (grains nus) est donnée dans le tableau 1.2.

Tableau 1.2. Composition biochimique de diverses céréales (source Fliedel *et al.*, 2004).

Céréale	Glucides (% MS)	Lipides (% MS)	Protides (% MS)	Matières minérales (% MS)
Riz cargo	86	2,5	10	1,4
Fonio décortiqué	85	3,5	10	1,1
Sorgho	84	3,5	11	1,2
Mil	83	4,0	12	1,2
Maïs	83	4,5	11	1,3

|| L'eau

L'eau, élément indispensable à la vie, est toujours présente dans les grains à une teneur plus ou moins élevée, selon l'origine des grains et le séchage auquel ils ont été soumis. Schématiquement, on considère que l'eau est associée aux grains sous deux principales formes (figure 1.4) :

- l'eau fortement liée aux molécules ;
- l'eau adsorbée.

L'eau adsorbée joue un rôle biologique important en favorisant les réactions du métabolisme et les attaques des microorganismes (moisissures). Parfois, certains distinguent aussi une eau d'imprégnation (autrefois qualifiée d'« eau libre ») mais qui est rarement présente dans les grains sauf aux fortes humidités (> 27 %).

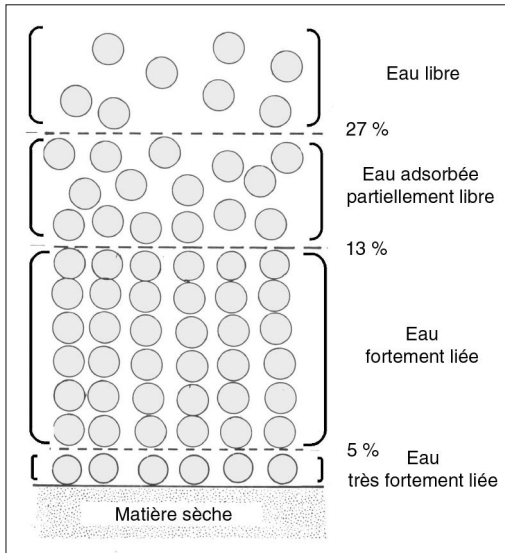


Figure 1.4.
Représentation schématique de fixation de l'eau dans le grain (d'après Arvalis-Institut du végétal).
en % d'humidité du produit

Le rôle de l'eau et les problèmes qu'elle engendre pour le stockage des grains sont présentés plus loin.

Propriétés physiques des grains

Il est important de connaître les propriétés physiques des grains pour mieux appréhender leur conservation.

La porosité

Les grains en masse constituent un matériau poreux dont 30 à 50 % du volume en place sont occupés par l'air interstitiel. Plus les grains sont petits (quinoa, fonio, éleusine, teff) et moins les espaces libres entre les grains sont importants. Pour les gros grains (maïs, pois du cap, fèves) les espaces libres sont importants et facilitent la ventilation. Les grains en masse se comportent comme un fluide et offrent des possibilités de manutention mécanique et pneumatique.

La masse volumique apparente (ou poids spécifique)

La masse volumique apparente, autrefois appelée « poids spécifique », permet de connaître la masse des grains par rapport au volume qu'ils