

**UNIVERSITE DU BURUNDI
FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE
SCIENCE ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS
MASTERE 2
OPTION : TECHNOLOGIE POST RECOLTE**

CONCEPTION ET GESTION DES STRUCTURES DE STOCKAGE

(45 H CM et 30H TP)

TITULAIRE DU COURS

Pr NZIGAMASABO Aloys

TABLE DE MATIERE

RESUME	1
OBJECTIFS DU COURS.....	1
I.INTRODUCTION.....	2
II. CONSERVATION DES CEREALES.....	2
II.1.VARIABILITE PHYSIQUE DES GRAINS	2
II.2.STRUCTURE PHYSIQUE DES GRAINS	3
II.2.1. ALBUMEN.....	3
II.2.2.LE GERME	4
II.3.COMPOSITION BIOCHIMIQUE DES GRAINS.....	4
II.3.1.LA MATIERE SECHE.....	4
II.3.1.1.LES GLUCIDES	4
II.3.1.2.LES LIPIDES	4
II.3.1.3.LES PROTIDES.....	5
II.3.1.4.LES VITAMINES ET LES PIGMENTS	5
II.3.1.5.LES MATIERES MINERALES	5
II.3.2.L'EAU.....	6
II.3.4.PROPRIETES PHYSIQUES DES GRAINS	6
II.3.4.1.LA POROSITE	6
II.2.4.2.LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (OU POIDS SPECIFIQUE).....	6
II.3.4.3.LA FAIBLE CONDUCTIBILITE THERMIQUE.....	7
II.3.4.4.L'HYGROSCOPICITE.....	7
II.3.5.ACTIVITE BIOLOGIQUE DES GRAINS	7
II.4. FACTEURS PHYSIQUES D'ALTERATION DES GRAINS	8
II.4.1.LA TEMPERATURE	8
II.4.2.L'HUMIDITE.....	9
II.5.AGENTS BIOLOGIQUES D'ALTERATION DES GRAINS	9
II.5.1.LES MOISSURES	9
II.5.2.LES INSECTES	10
II.5.3.LES RONGEURS	10
II.5.4.LES OISEAUX	11
II.6.PRINCIPES DE LA CONSERVATION	11

II.7.PRINCIPE DU SECHAGE	12
II.7.1.LE SECHAGE PAR ENTRAINEMENT A L’AIR CHAUD	12
II.7.2.TECHNIQUES DE SECHAGE DES GRAINS.....	12
II.7.2.1.LE SECHAGE NATUREL	12
II.7.2.1.1.SECHAGE NATUREL TRADITIONNEL	12
II.7.2.2.LE SECHAGE ARTIFICIEL.....	13
II.8.STOCKAGE DES GRAINS.....	17
II.8.1.LE STOCKAGE EN SACS	18
II.8.1.1.CONCEPTION DES MAGASINS DE STOCKAGE EN SACS.....	18
II.8.1.1.1. IMPLANTATION ET EXPOSITION	19
II.8.1.1.2. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES MAGASINS	19
II.8.1.1.3. PRINCIPES DE CONSTRUCTION DES MAGASINS	21
II.8.1.2. EQUIPEMENTS DES MAGASINS DE STOCKAGE EN SACS	24
II.8.1.2.1.LES SACS.....	25
II.8.1.2.2.LES PALETTES POUR L’EDIFICATION DES PILES	25
II.8.1.2.3.LES MATERIELS DE PESEE.....	26
II.8.1.2.4.LES MATERIELS D’ANALYSE ET DE TRAITEMENT	26
II.8.1.2.5.MATERIELS DE TRAITEMENT DES STOCKS ET DES LOCAUX.....	26
II.8.1.2.6.MATERIELS DE NETTOYAGE ET DE RECONDITIONNEMENTDES PRODUITS.....	26
II.9.MISE EN PLACE ET GESTION TECHNIQUEDES STOCKS DE GRAINS	27
II.9.1.LA MISE EN PLACE DES STOCKS	28
II.9.2.LE CONTROLE ET L’HYGIENE DES STOCKS	28
II.9.3.LE STOCKAGE EN VRAC	29
II.9.3.1.SILOS DE STOCKAGE.....	29
II.9.3.1.1.LES CELLULES DE PETITE CAPACITE	29
II.9.3.1.2. LES SILOS DE GRANDE CAPACITE	30
II.9.3.1.2.1. LES SILOS VERTICAUX	31
II.9.3.1.2.2. LES SILOS HORIZONTAUX	34
II.9.3.1.3.EQUIPEMENTS DES SILOS DE STOCKAGE	34
II.9.3.1.3.1.LA RECEPTION DES GRAINS	34
II.9.3.1.3.3.LA VIDANGE DES CELLULES	37
II.9.3.1.4.LE NETTOYAGE DES GRAINS	38
II.9.3.1.5.LA VENTILATION DES GRAINS	40
II.9.3.1.6.LA SILOTHERMOMETRIE	41

II.10. LES INSECTES DES STOCKS ET LES METHODES DE LUTTE.....	41
II.10.1. RAVAGEURS PRIMAIRES	42
II.10.2. LES INSECTES RAVAGEURS SECONDAIRES.....	44
II.10.3. APPROCHE PREVENTIVE DE LA LUTTE CONTRE LES INSECTES GRANIVORES	45
II.10.3.1. NETTOYAGE ET VIDE SANITAIRE DANS LES LOCAUX ET LES CELLULES VIDES.....	45
II.10.3.2. SECURISATION DES LOCAUX, DES STRUCTURES DE STOCKAGE ET DES ATELIERS DE TRANSFORMATION.....	46
II.10.3.3. METHODES ET OUTILS DE DETECTION PRECOCE ET DE SURVEILLANCE DES INFESTATIONS.....	46
II.10.4. METHODES DE LUTTE DIRECTE EN CAS D'INFESTATION VISIBLE	47
II.10.4.1. TRAITEMENTS INSECTICIDES AUTORISES SEULEMENT SUR LES GRAINS.....	48
II.10.4.2. UTILISATION DES GAZ INSECTICIDES POUR LA FUMIGATION	49
II.11. LA LUTTE CONTRE LES RONGEURS.....	50
II.11.1. PRINCIPAUX RONGEURS DEPREDATEURS DES STOCKS.....	51
II.11.2. DEGATS CAUSES PAR LES RONGEURS.....	53
II.11.3. LUTTE CONTRE LES RONGEURS.....	54
II.11.3.1. LA LUTTE PREVENTIVE.....	54
II.11.3.2. LA LUTTE ACTIVE ET CURATIVE	56
II.12. LES MOISSURES.....	58
III. CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES	59
III.1. CONSIDERATIONS RELATIVES À LA CONCEPTION D'ENTREPOT DE STOCKAGE	60
III.1.1. CONCEPTION FONCTIONNELLE	60
III.1.2. CONCEPTION STRUCTURALE.....	60
III.1.3. CONTROLE DE L'ENVIRONNEMENT	60
III.2. TYPES DE STOCKAGE	61
III.2.1. STOCKAGE EN VRAC	61
III.2.2. STOCKAGE SUR PALETTES.....	61
III.3. TAILLE DE L'ENTREPOT	61
III.3.1. CONCEPTION STRUCTURALE.....	61
III.3.2. CONTROLE DE L'ENVIRONNEMENT.....	62
III.4. GESTION DES STOCKS.....	62
IV. CONSERVATION DES RACINES ET TUBERCULES.....	62
IV.1. ACTIVITES A EFFECTUER DANS LES CHAMPS	63
IV.1.1. LA RECOLTE EN FONCTION DES BESOINS	63



IV.1.2.TAILLE AVANT RECOLTE.....	64
IV.1.3.PREVENTION DES DOMMAGES	64
IV.1.4.LA SUBERIFICATION DES RACINES ET DES TUBERCULES.....	64
IV.1.5.LA SUBERIFICATION DES BULBES	65
IV.2.STOCKAGE DES RACINES, DES TUBERCULES ET DES BULBES	65
IV.2.1.STOCKAGE DANS DES SILOS EN PLEIN CHAMP	66
IV.2.2.STOCKAGE DANS DES HUTTES VENTILEES	66
IV.3.MESURES SPECIFIQUES POUR AUGMENTER LA DUREE DE CONSERVATION	67
IV.3.1.MANIOC.....	67
IV.3.2. IGNAME.....	67
IV.3.3.PATATE DOUCE	68
IV.3.4.POMME DE TERRE	68
IV.3.5.OIGNON	69
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	70

RESUME

Le cours de Conception et de Gestion des Structures de Stockage, dispensé à l'Université du Burundi, aborde les techniques fondamentales de conservation et de gestion des produits alimentaires post-récolte. L'importance croissante de la gestion des stocks est soulignée, notamment face aux défis liés à la sécurité alimentaire et à la durabilité des ressources.

Le contenu du cours est divisé en plusieurs sections, incluant l'introduction aux principes de conservation des céréales, la variabilité physique et la structure biochimique des grains, ainsi que les facteurs d'altération. Les étudiants exploreront également les méthodes de séchage, de stockage, et les techniques de lutte contre les agents biologiques nuisibles tels que les insectes et les rongeurs. Des aspects pratiques, tels que la conception d'entrepôts et les équipements nécessaires pour une gestion efficace des stocks, sont également couverts.

Les défis spécifiques liés à la conservation des fruits, légumes, racines et tubercules sont également abordés, avec des méthodes adaptées à chaque type de produit pour garantir leur qualité pendant le stockage.

OBJECTIFS DU COURS

Le cours vise à :

- ✓ **Comprendre les facteurs de détérioration** des produits alimentaires après la récolte.
- ✓ **Connaître les techniques de manutention et de stockage** appropriées pour les produits alimentaires.
- ✓ **Apprendre à concevoir des structures de stockage** adaptées aux différents types de produits (céréales, fruits, légumes).
- ✓ **Développer des compétences en gestion technique des stocks**, incluant la mise en place et le contrôle de l'hygiène.
- ✓ **Identifier les agents de détérioration** (insectes, rongeurs, moisissures) et les méthodes de lutte contre eux.
- ✓ **Promouvoir des pratiques durables** pour assurer la sécurité alimentaire et l'efficacité des systèmes de stockage.

Ce cours se veut une approche intégrative pour préparer les étudiants à relever les défis actuels et futurs dans le domaine de la gestion des stocks agricoles.

I. INTRODUCTION

Les exploitants récoltent des produits végétaux qui exigent une certaine transformation avant d'être propres à la consommation humaine. Ils ne sont disponibles qu'en de courtes périodes de l'année, mais les hommes souhaitent pouvoir les consommer de façon régulière tout au long de l'année. Il faut donc trouver un moyen de les stocker. Les conditions d'entreposage des récoltes sont très variables d'un produit à un autre. Pour les denrées durables, comme les céréales en grain, elles sont relativement simples; pour les denrées périssables, telles que les fruits ou les légumes, l'entreposage de longue durée revient très cher. On peut vaincre ces difficultés soit en prolongeant la saison de production des cultures périssables, soit en les transformant partiellement ou totalement en produits concentrés plus faciles à conserver.

Le produit récolté doit être entreposé de sorte que:

- ✓ Sa qualité ne s'altère pas pendant la période d'entreposage;
- ✓ La quantité entreposée ne diminue pas;
- ✓ Il soit protégé contre les attaques de ravageurs, les maladies et les pertes physiques;
- ✓ Il soit accessible en temps et en quantité voulus.

Les principaux produits récoltés demandant des installations d'entreposage sont:

- ✓ Les denrées durables (céréales en grain);
- ✓ Les denrées périssables (fruits et légumes);
- ✓ Les denrées semi-périssables (plantes-racines et tubercules).

Les produits périssables exigent un certain traitement. Les denrées semi-périssables, comme l'igname et la patate douce, peuvent nécessiter des soins particuliers et des structures spécialisées pour être entreposées sans dommage. Le coût du traitement et celui de l'entreposage sont des considérations à ne pas négliger lorsqu'on établit une stratégie de stockage. Les denrées durables sont, par rapport aux deux autres catégories, relativement faciles à entreposer.

II. CONSERVATION DES CEREALES

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).

II.1. VARIABILITE PHYSIQUE DES GRAINS

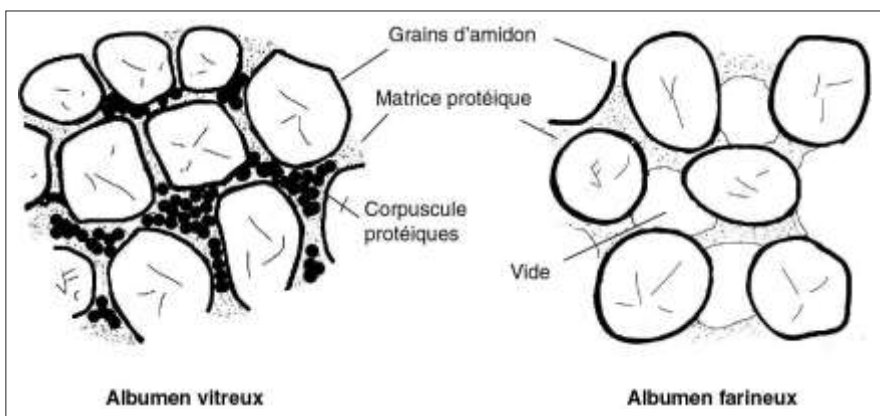
Les grains ont une très grande diversité de forme, de taille ou de couleur. De forme sphérique, ovale, oblongue, ou parfois même polygonale, les grains ont, selon les espèces, des dimensions qui varient de moins de 1 mm (fonio) à plus de 25 mm (fève de cacao). Le poids de 1 000 grains peut ainsi varier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

II.2. 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 et le germe.

II.2.1. 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. 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.



II.2.2.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 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.

II.3.COMPOSITION BIOCHIMIQUE DES GRAINS

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

II.3.1.LA MATIERE SECHE

II.3.1.1.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.

II.3.1.2.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.

II.3.1.3.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).

II.3.1.4.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).

II.3.1.5.LES MATIERES MINERALES

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.

Céréales	Glucides (%MS)	Lipides (% MS)	Protéines (% 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

II.3.2.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 %).

II.3.4.PROPRIETES PHYSIQUES DES GRAINS

II.3.4.1.LA POROSITE

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.

II.2.4.2.LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE (OU POIDS SPECIFIQUE)

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

Tableau 1.3. Masse volumique apparente de différents produits stockés en vrac

Produit	Forme	Poids spécifique (kg / m ³)
Riz	Panicules	100
	Grains paddy	550 – 650
	Grains cargo	700 – 750
Maïs	Épis nus	450
	Grains	700 -750
Sorgho	Grains	650 – 750
Mil	Grains	800
Fonio	Grains paddy	650
Blé	Grains	750 – 800
	Gousses	400
Haricot sec	Grains	700 – 800
	Grains	680 – 780
Soja	Grains	680 – 780
Arachide	Coques	200 – 350
	Graines	550 – 650

Café	Cerises fraîches	650
	Coques	440
	Grains verts	700 – 750
Cacao	Fèves fraîches	900
	Fèves fermentées	700
	Fèves sèches	650

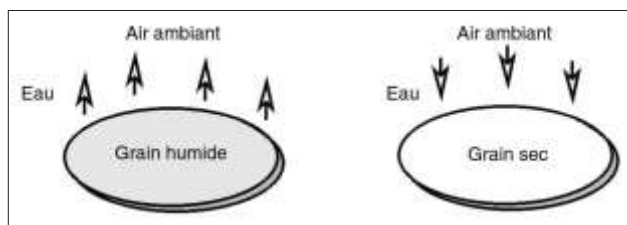
II.3.4.3.LA FAIBLE CONDUCTIBILITE THERMIQUE

Les grains en masse ont une faible conductibilité thermique et ils se comportent ainsi comme un matériau isolant. Cette caractéristique peut être à l'origine de pertes importantes dues à des échauffements localisés. Si une partie des grains stockés est l'objet d'attaques d'insectes, leur activité biologique va produire de la chaleur qui ne va pas se dissiper facilement du fait de la faible conductibilité thermique des grains. Les fortes températures qui peuvent alors être atteintes altèrent la valeur nutritive des stocks et peuvent aller jusqu'au brunissement des grains (réactions de Maillard) et à la perte du pouvoir germinatif dans le cas de semences.

Cette caractéristique peut parfois présenter un avantage. C'est le cas pour les stocks de grains conservés en cellules métalliques. Les fortes fluctuations de température extérieure ne se répercutent que très peu à l'intérieur des masses stockées et si l'on réussit à refroidir les grains, grâce par exemple à une ventilation aux heures fraîches, ils ne se réchaufferont que lentement (Troude et Cruz, 1987).

II.3.4.4.L'HYGROSCOPICITE

Les grains constituent un matériau hygroscopique susceptible d'échanger de l'eau, sous forme vapeur, avec l'air ambiant. Un grain humide placé dans un air sec va céder de l'eau au milieu ambiant alors qu'un grain sec peut s'humidifier au contact d'un air humide (figure 1.5). Ces différents échanges sont fonction du degré d'humidité de l'air et de sa température et se poursuivent jusqu'à ce qu'un état d'équilibre (appelé équilibre hygroscopique) s'établisse entre l'air et le grain.



II.3.5.ACTIVITE BIOLOGIQUE DES GRAINS

Les grains sont des organismes vivants qui, même en vie ralentie, sont le siège de réactions du métabolisme. Par ailleurs, les grains sont toujours associés à des

microorganismes (spores de moisissures) présents sur leur surface et l'on parle alors du complexe grains-microorganismes. Si les grains sont placés dans des conditions ambiantes particulièrement chaudes et humides comme celles des régions tropicales, ils vont accroître leur activité biologique en consommant l'énergie emmagasinée dans leurs réserves sous forme d'amidon. La respiration qui a lieu en présence d'oxygène (aérobiose) est une manifestation de l'activité vitale des grains. Elle peut être assimilée à la dégradation d'un glucide simple et schématisée comme suit :

Durant le stockage, l'activité biologique des grains entraîne donc une perte de matière sèche, ici l'amidon, tout en produisant de la vapeur d'eau, du gaz carbonique et de la chaleur. L'humidité et la chaleur ainsi produites peuvent alors accélérer le processus de respiration et de dégradation. Ce phénomène apparaît couramment dans les lots de grains stockés trop humides où l'on observe de forts échauffements pouvant un temps favoriser la germination et le développement de moisissures pour aboutir finalement à la prise en masse des grains.

La vitesse de dégradation du produit peut être appréciée de façon précise en laboratoire en mesurant la quantité de CO₂ dégagée par 100 g de matière sèche de grain en 24 h. La perte de 0,5 % de matière sèche due aux phénomènes de respiration est un critère de détérioration des céréales qui permet d'évaluer le temps maximal de leur conservation sans risque (Steele et al., 1969).

En l'absence d'oxygène (anaérobiose), il peut y avoir un processus de fermentation, le plus souvent alcoolique, caractérisé par la production de gaz carbonique, d'alcool et un léger dégagement de chaleur.

II.4. FACTEURS PHYSIQUES D'ALTERATION DES GRAINS

II.4.1. LA TEMPERATURE

La température est le premier facteur physique qui vient à l'esprit lorsque l'on veut caractériser le milieu ambiant qui règne dans les pays du Sud. Les températures élevées de 20 °C à 40 °C qui y règnent couramment accélèrent les activités biologiques des organismes vivants. Ce facteur joue ainsi un rôle important dans la conservation des grains car il commande la vitesse de dégradation des grains, mais aussi la vitesse de développement des microorganismes et des insectes.

En première approximation on vérifie que, jusqu'à 28 °C, le dégagement de chaleur des céréales double lorsque la température s'élève de 5 °C. L'échauffement des grains par la respiration est un phénomène qui s'auto-accélère et qui peut conduire à la mort des grains à partir de 50 °C. Pour les semences la température constitue un facteur essentiel de conservation du pouvoir germinatif qui sera détruit si on dépasse 40 °C pour les céréales et 35 °C pour les oléagineux.

Des températures permettent de caractériser les plages de germination et de développement des insectes et des microorganismes :

- ✓ Germination 16 °C à 42 °C ;
- ✓ Insectes 13 °C à 41 °C ;
- ✓ Moisissures et bactéries – 8 °C à + 80 °C.

L'optimum des activités biologiques se situe souvent vers 30 °C, température couramment observée en régions tropicales.

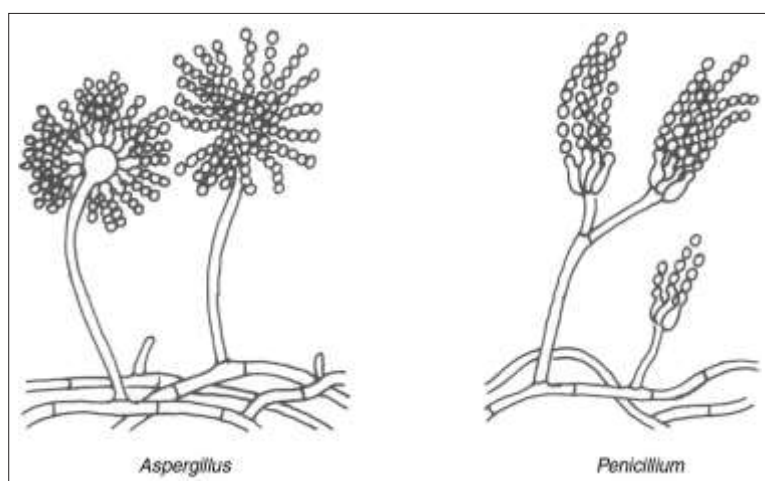
II.4.2.L'HUMIDITE

L'humidité des grains stockés est le facteur de détérioration le plus important. Il a déjà été rappelé que des grains stockés humides sont le siège d'échauffements, de développements de moisissures et parfois de germinations. L'un ou l'autre de ces phénomènes est la preuve manifeste d'un mauvais.

II.5.AGENTS BIOLOGIQUES D'ALTERATION DES GRAINS

II.5.1.LES MOISSURES

Des microorganismes comme les bactéries, les levures et les moisissures sont toujours présents sur la surface des grains. Au cours du stockage, ce sont surtout les moisissures qui constituent la menace la plus fréquente car elles peuvent se développer dès que l'humidité relative de l'air dépasse 65 % (ou $aw > 0,65$) alors que les levures ou les bactéries ne se développent que sur des grains très humides (respectivement aw de 0,85 et de 0,90). Il existe de nombreuses espèces de moisissures et les spécialistes distinguent généralement entre la parcelle cultivée et le silo, une flore du champ, une flore intermédiaire et enfin une flore de stockage dont les espèces les plus caractéristiques sont les *Aspergillus* spp. et les *Penicillium* spp. représentées en figure



Comme pour les grains, les facteurs essentiels de développement des

microorganismes sont l'humidité, la température et la composition du milieu ambiant auxquels peuvent également s'ajouter des facteurs tels que le pH, la nature du substrat ou des facteurs biotiques de compétition entre espèces.

Les espèces de moisissures xérotolérantes se développent dès que l'humidité relative de l'air dépasse 65 % mais la plupart des espèces préfèrent une humidité supérieure à 85 %. Vis-à-vis de la température, le domaine de développement des microorganismes est très large et s'étend de - 8 °C à + 80 °C mais il est généralement plus restreint pour chacune des espèces avec un optimum se situant entre 20 °C et 40 °C. Enfin les moisissures sont réputées aérobies même si certaines espèces se contentent de traces d'oxygène et si d'autres résistent à l'anaérobiose. Par leur respiration, elles sont les principales responsables de l'échauffement des stocks de grains insuffisamment séchés (Richard Molard, 1982).

II.5.2.LES INSECTES

Dans les pays du Sud, les insectes sont d'importants déprédateurs des stocks de grains. Ils sont souvent nuisibles par les larves qui consomment l'intérieur des grains et dont l'activité biologique déprécie la denrée. Les insectes qui s'attaquent aux céréales au cours du stockage sont des Coléoptères de très petite taille et certains Lépidoptères.

Les Coléoptères, par exemple : Sitophilus ou charançon

Les adultes possèdent une paire d'ailes antérieures sclérifiées appelées « élytres » qui protègent la paire d'ailes membraneuses utilisées pour le vol. Ces élytres leur confèrent une certaine résistance qui leur permet de se déplacer dans la masse des grains à la recherche de conditions favorables de développement (température, humidité, teneur en oxygène, présence d'impuretés fines...). Les larves, souvent responsables des dégâts, sont vermiformes.

Les Lépidoptères, par exemple : Sitotroga cerealella, l'alucite du maïs

Vulgairement appelés papillons, ils possèdent deux paires d'ailes membraneuses recouvertes d'écailles. Relativement fragiles, ils n'infestent que la surface des stocks. Les adultes ne vivent qu'une quinzaine de jours. Ce sont exclusivement les larves, appelées chenilles, qui avec leurs fortes pièces buccales peuvent attaquer les grains.

Le développement de la plupart des espèces se situe à des températures de 15 à 35 °C avec souvent un optimum aux environs de 25 à 30 °C. Les insectes ne résistent généralement pas à une teneur en oxygène inférieure à 1 % et beaucoup d'entre eux ont des difficultés à se développer dans des grains très secs (< 9 %).

II.5.3.LES RONGEURS

Les principaux rongeurs déprédateurs des stocks de céréales sont le rat gris ou surmulot (*Rattus norvegicus*), le rat noir (*Rattus rattus*) et la souris (*Mus musculus*). Ces rongeurs, qui vivent pratiquement sous tous les climats, se nourrissent aux dépens des hommes et sont à l'origine de pertes importantes dans les greniers et les magasins de stockage. En Afrique subsaharienne, ce sont les rats à mamelles multiples

(*Mastomys* spp.) qui prédominent dans les villages et en Asie, le rat bandicot et le rat polynésien sont aussi considérés comme des nuisibles.

En rongant, ces déprédateurs percent les sacs et endommagent les structures de stockage. Ils consomment les grains et les souillent de leurs excréments et sécrétions. Mais les rongeurs sont aussi vecteurs de maladies transmissibles à l'homme (peste, fièvres hémorragiques). Les produits ou denrées contaminés par leurs fèces, leur urine ou leurs parasites constituent un risque pour les manutentionnaires qui manipulent ces produits et pour les consommateurs.

II.5.4.LES OISEAUX

Les masses de grains stockés dans les greniers ou les entrepôts attirent naturellement les oiseaux granivores (pigeons, tourterelles, moineaux). Ils consomment les grains et souillent les stocks de leurs fientes, plumes ou cadavres. Il est cependant relativement aisé de les empêcher d'atteindre les stocks de grains en grillageant les ouvertures d'aération et en colmatant toutes les fentes des bâtiments de stockage.

II.6.PRINCIPES DE LA CONSERVATION

Les facteurs de dégradation des denrées stockées ont été largement décrits dans le chapitre 2. Pour assurer une bonne conservation des produits, les techniques qui doivent être mises en œuvre sont celles qui permettent d'agir efficacement sur ces différents facteurs (tableau 2.6).

Tableau 2.6. Facteurs d'altération et techniques et opérations post-récolte recommandées.

Facteur d'altération	Techniques et opérations post-récolte
Humidité	Technique de séchage
Température	Technique de ventilation, technique du froid
Air interstitiel	Atmosphère modifiée, stockage hermétique(gaz neutre, vide)
Déprédateurs - insectes	Désinsectisation, lutte physique et traitements insecticides
rongeurs	Déprédateurs - Lutte contre les rongeurs

Dans de nombreux pays du Sud il existe un besoin important d'innovations techniques notamment en matière de séchage et de stockage. Au niveau de l'exploitation familiale, les quantités à gérer restent relativement modestes et portent sur quelques centaines de kilogrammes ou quelques tonnes. Les pertes peuvent être diminuées par la bonne préparation (nettoyage, séchage) des produits avant le stockage, l'amélioration des systèmes de stockage traditionnels et l'introduction de nouveaux systèmes de stockage en zones rurales comme par exemple la diffusion de petits silos métalliques. Les solutions technologiques doivent rester simples, peu onéreuses, faciles d'entretien et adaptées aux problèmes spécifiques à résoudre.

Au niveau du stockage communautaire ou commercial où les quantités stockées vont de quelques centaines à quelques milliers de tonnes, les besoins en innovation sont sans doute plus importants. Ils concernent l'ensemble des séquences de post-récolte

et peuvent faire appel à des solutions techniques plus sophistiquées. Le séchage reste l'opération la plus cruciale car il permet de stabiliser les produits avant leur conservation. Le stockage en vrac est à promouvoir car il facilite grandement le contrôle et la maîtrise de la qualité. Le froid ou les atmosphères modifiées restent des techniques très coûteuses qui ne peuvent être envisagées que sur des produits à haute valeur ajoutée comme les semences, le cacao...

Les chapitres suivants font le point sur les différentes techniques de conservation des grains et sur les améliorations possibles.

II.7.PRINCIPE DU SECHAGE

II.7.1.LE SECHAGE PAR ENTRAINEMENT A L'AIR CHAUD

Le séchage par air chaud est fondé sur l'échange de chaleur et d'humidité entre l'air et le produit à sécher. Le séchage par entraînement est le mode de séchage le plus utilisé pour les grains.

L'eau adsorbée, plus ou moins faiblement liée au grain, est éliminée par l'opération de séchage. L'eau libre, non adsorbée, est déjà en grande partie éliminée par le séchage naturel au moment de la récolte.

Au contact de l'air chaud, l'eau des couches périphériques du grain est évacuée sous l'effet du gradient d'humidité entre l'air et le grain. L'eau contenue au centre du grain migre vers les parties périphériques séchées en fonction du gradient de concentration. Au cours du séchage, cette diffusion de cellule à cellule est de plus en plus freinée par les cellules qui ont tendance à retenir leur eau. Les derniers pourcents (ou points) d'humidité sont donc beaucoup plus difficiles à retirer que les premiers.

L'échange d'eau entre l'air et le produit tend vers une limite qui est donnée par les courbes d'équilibre air-grain.

II.7.2.TECHNIQUES DE SECHAGE DES GRAINS

Les techniques utilisées pour le séchage des grains sont de deux grands types : le séchage naturel et le séchage artificiel.

II.7.2.1.LE SECHAGE NATUREL

II.7.2.1.1.SECHAGE NATUREL TRADITIONNEL

Le séchage naturel des grains ou des produits agricoles par exposition au soleil est une technique ancestrale encore largement utilisée dans de nombreux pays en développement. Pour la plupart des céréales, on pratique un préséchage naturel, au champ, en laissant les produits sur pied plusieurs semaines après qu'ils aient atteint leur maturité. Cette technique a l'avantage d'être simple et peu coûteuse mais peut exposer la récolte à de nombreux risques : égrenage naturel, attaques de déprédateurs (insectes, oiseaux, rongeurs), dégâts par les animaux, vols, etc. On récolte les céréales en épis et ce sont ces épis (maïs, mil...) (photo 3.1) ou gerbes (riz,

sorgho, fonio...) qui sont séchés au champ, souvent sous la forme de meules, ou transportés au village pour être exposés au soleil sur des nattes ou sur les terrasses ou les toits des habitations (voir cahier couleur, photo 10).

Après égrenage ou battage, les grains, encore humides, sont étalés en couches minces sur le sol plus ou moins préparé (aire de séchage) ou sur des claies ou encore sur des nattes pour les lots de plus faible quantité

✓ **AIRES DE SECHAGE**

L'exposition des produits sur des surfaces planes est la technique la plus simple et la plus courante pour sécher des épis ou des grains. Dans les exploitations ou les villages, les aires de séchage sont souvent constituées de terre battue alors qu'elles sont généralement bétonnées dans les centres de stockage. La plateforme est construite un peu en surélévation par rapport au niveau du sol et légèrement en pente pour faciliter l'évacuation des eaux de pluie. Le produit à sécher, étalé en couche mince, est fréquemment remué à l'aide de râteaux pour améliorer le séchage et le rendre plus homogène. En fin de journée, les grains sont mis en sac pour être ainsi conservés durant la nuit puis, le matin suivant, à nouveau étalés sur l'aire afin de poursuivre le séchage

✓ **BACHES EN PLASTIQUE**

Pour de faibles quantités de produits en gousses, en épis ou en grains, des bâches en plastique peuvent être utilisées comme des aires de séchage portatives (Hall, 1971). On choisit des bâches de couleur noire ou sombre de manière à ce qu'elles absorbent bien le rayonnement solaire. On préfère si possible des bâches avec œillets pour permettre le passage d'un cordon coulissant afin de refermer facilement la bâche en cas de pluie.

✓ **CLAIES OU TABLES DE SECHAGE**

L'amélioration majeure consiste à élever l'aire de séchage par rapport au sol, en utilisant des claies horizontales posées sur des supports métalliques ou en bois et recouvertes de tissus, nattes tressées ou bâches en plastique.

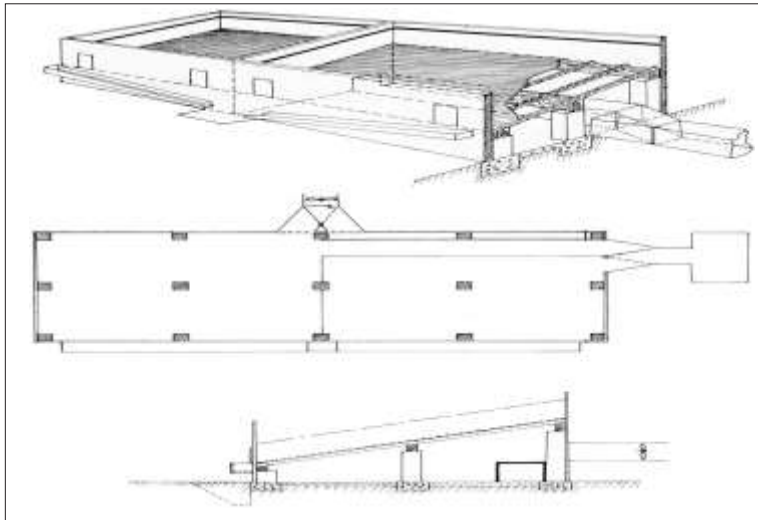
II.7.2.2.LE SECHAGE ARTIFICIEL

On parle de séchage artificiel lorsque l'on utilise un brûleur (au fioul, à gaz, à biomasse...) ou une résistance électrique pour réchauffer artificiellement l'air de séchage et que l'on se sert de moyens mécaniques (ventilateurs) pour insuffler cet air de séchage au travers des masses de grains humides. Ces techniques de séchage artificiel sont plus sophistiquées, plus onéreuses et plus exigeantes en énergie que les techniques de séchage naturel mais sont souvent nécessaires pour sécher des quantités importantes de grains (plusieurs tonnes) et obtenir des produits stables et commercialisables.

✓ **Les séchoirs statiques**

Les séchoirs statiques sont généralement des séchoirs à cases où les grains sont séchés par lots successifs. Ces séchoirs horizontaux ont donc un fonctionnement discontinu. De conception simple et facile à construire, ces séchoirs sont en métal, en bois, en briques ou en parpaings avec un fond horizontal ou incliné, en tôle perforée (figure 3.9 et voir cahier couleur, photo 15).

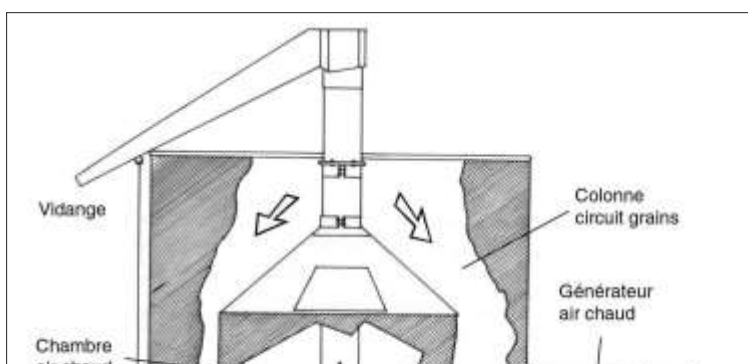
Les principaux investissements sont l'achat de la tôle perforée et surtout du générateur d'air chaud qui fonctionne le plus souvent au fioul.



Ces séchoirs à case sont utilisés avec des températures d'air chaud de 40 à 50 °C et des débits spécifiques d'environ 2 000 m³ / h / m³ de grains. Les capacités de ces séchoirs sont de 1 à 4 tonnes / jour avec des temps de séchage de 6 à 12 h selon l'humidité initiale du produit. Pour diminuer l'hétérogénéité de séchage dans la masse de grains, il est souvent recommandé de limiter l'épaisseur de la couche de grains à un maximum de 50 cm. La consommation thermique spécifique de tels séchoirs est importante et peut atteindre 6 300 à 8 300 kJ / kg d'eau évaporée (soit 1 750 à 2 300 kWh / tonne d'eau évaporée).

✓ **Les séchoirs à recirculation**

Comme dans le séchoir statique, le séchage est réalisé par lots successifs. La masse de grains humides est introduite dans le séchoir et recyclée en permanence jusqu'à atteindre le niveau de siccité souhaité. Ces séchoirs sont généralement mobiles de forme cylindrique avec des parois en tôle perforée et une chambre centrale par laquelle est insufflé l'air chaud (figure 3.13). L'air, mis en pression dans la chambre centrale, est évacué vers l'extérieur en traversant ainsi la masse des grains. L'axe de l'ensemble est constitué d'une tubulure équipée d'une vis sans fin de gros diamètre qui réalise le brassage des grains de bas en haut. Ce système favorise l'homogénéisation du séchage et permet la vidange des grains en fin de cycle. Il peut néanmoins engendrer un taux de casse de quelques pourcents.



Selon les constructeurs, ces séchoirs permettent de sécher de 10 à 100 tonnes de maïs par jour (de 27 % à 13 % d'humidité) ou de 5 à 50 tonnes de riz paddy (de 21 % à 13 %) pour des cycles de 4 à 7 heures. Leur consommation thermique spécifique est donnée pour environ 4 000 à 5 000 kJ / kg d'eau évaporée (soit de l'ordre de 1 100 à 1 400 kWh / tonne d'eau évaporée).

✓ **La cellule sécheuse**

C'est une technique parfois utilisée en Amérique du Nord où le séchage In Bin Drying (figure 3.14) est réalisé dans une cellule de stockage spécialement équipée d'un faux fond perforé et d'un système de ventilation avec générateur d'air chaud (Sauer, 1992). Il s'agit là d'un séchage statique en couches épaisses avec un air réchauffé jusqu'à 50 °C à 60 °C voire 70 °C pour du maïs à une humidité initiale inférieure à 30 %.

Le ventilateur est mis en marche et une première couche d'environ 80 cm d'épaisseur de grains humides est versée dans la cellule pour la mise en route du système de brassage. Puis la cellule est intégralement remplie et le brûleur est allumé. À l'issue du séchage, le brûleur est arrêté alors que le ventilateur et le système de brassage continuent de fonctionner pour permettre le refroidissement des grains secs. Lorsque les grains sont secs puis refroidis, on peut alors vider la cellule intégralement au moyen d'une vis racleuse qui équipe le fond de la cellule. Un nouveau cycle de séchage est alors effectué. En fin de séchage, cette cellule sécheuse peut également être utilisée comme simple cellule de stockage.

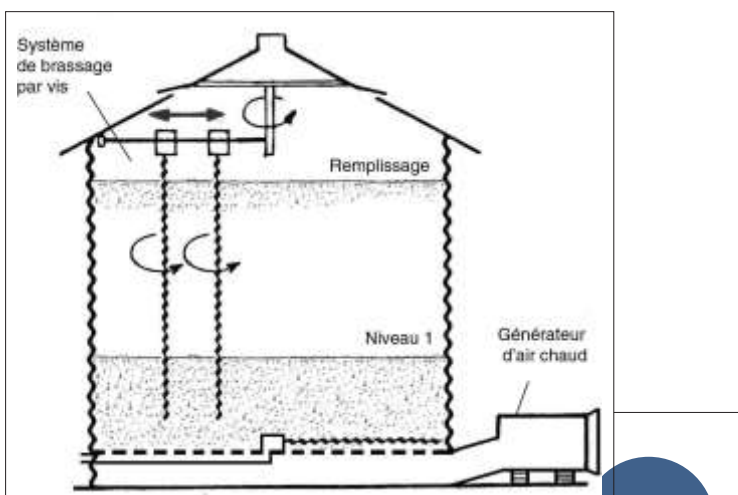


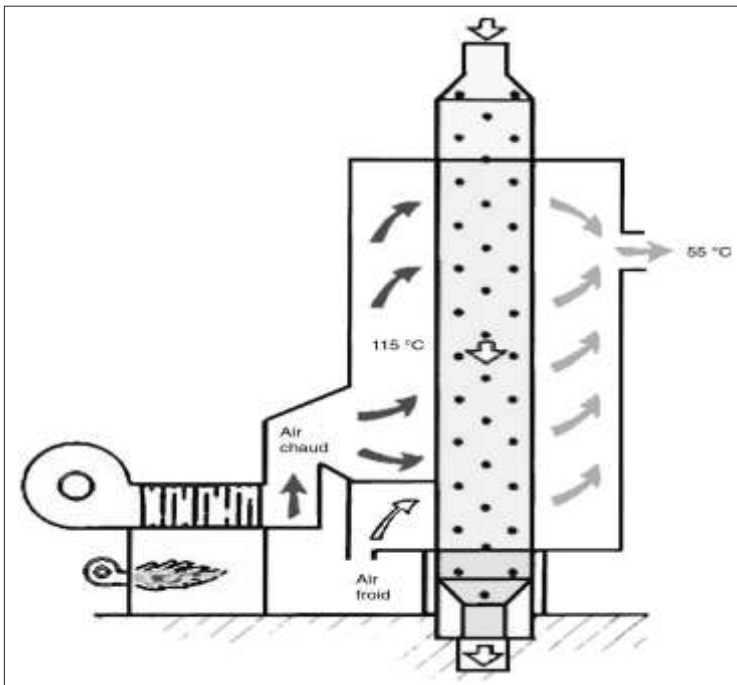
Figure 3.14. Cellule de séchage In Bin Drying

Ce mode de séchage est réalisé dans un silo séchoir : une couche d'environ 50 cm de grains humides est séchée dans un faux plafond, à la partie supérieure de la cellule. Le générateur d'air chaud est placé à la partie supérieure de la cellule alors que le système de ventilation reste comme précédemment placé en partie inférieure. La température de l'air va de 50 à 80 °C. Une fois séché, le lot de grains est vidangé dans la cellule et un nouveau lot de grains humides est chargé à la partie supérieure.

Les séchoirs continus

Les séchoirs à colonne

Les séchoirs continus sont les séchoirs les plus utilisés par les organismes stockeurs ou les grands producteurs de grains dans de nombreux pays (voir cahier couleur, photo 16). Dans ces séchoirs verticaux (figure 3.15),



La masse de grains humides est introduite par la partie supérieure du séchoir puis descend progressivement dans le séchoir où elle est traversée par un courant d'air chaud. Cette lente progression par gravité dans le corps du séchoir est due à l'évacuation en continu des grains par la partie inférieure. Après avoir été séchée et avant d'être évacuée vers les cellules de stockage, la masse de grains est traversée par de l'air froid pour ramener les grains à la température ambiante (figure 3.15).

Dans la plupart des séchoirs, la colonne de séchage est constituée de séries de dièdres permettant l'arrivée de l'air chaud et l'évacuation de l'air usé après qu'il ait traversé les grains. Les dièdres ou canaux d'air chaud et d'air usé sont des gaines en tôle, en forme de V renversé et disposées habituellement en quinconce (figure 3.16). La couche de grains entre ces dièdres n'est que d'une vingtaine de centimètres.

Les températures de l'air de séchage sont variables selon le type de produits à sécher. Pour le maïs, l'air chaud est généralement à 110 ou à 120 °C pour des grains dont l'humidité est supérieure à 35 % ; pour les protéagineux la température est limitée à 90 °C, pour le sorgho à 65 °C, pour le tournesol à 60 °C, pour le riz paddy à 45 °C afin de diminuer les risques de clivage des grains et de brisures. Pour les semences ou les céréales brassicoles on limite la température de séchage à 40 °C pour ne pas altérer leur faculté germinative.

Les débits spécifiques des séchoirs continus étaient relativement élevés dans les années 1980-1990 et pouvaient atteindre 2 500 à 3 000 m³ / h / m³ de grains voire plus de 6 000 m³ / h / m³ en Amérique du Nord pour accroître la vitesse de séchage. Aujourd'hui, les débits spécifiques sont plus raisonnables et voisins de 2 000 m³ / h / m³ de grains pour améliorer le rendement calorifique des séchoirs. La consommation thermique spécifique de tels séchoirs est moindre que pour les séchoirs statiques et atteint 4 000 à 5 000 kJ / kg d'eau évaporée (soit environ 1 100 à 1 400 kWh / tonne d'eau évaporée).

Les séchoirs à double colonne

Dans les années 1970-1980, des constructeurs ont proposé des séchoirs continus mobiles afin de mieux répondre aux besoins des producteurs et des entreprises de travaux agricoles qui souhaitaient amortir leur équipement de séchage en le faisant fonctionner sur une plus grande durée. Les séchoirs comprennent une chambre centrale de mise en pression de l'air chaud entourée de deux colonnes de grains. Le séchoir est alimenté à la partie supérieure et les grains descendent par gravité au fur et à mesure de l'extraction des grains secs comme le montre la figure 3.17. Les grains sont refroidis en partie inférieure du séchoir.

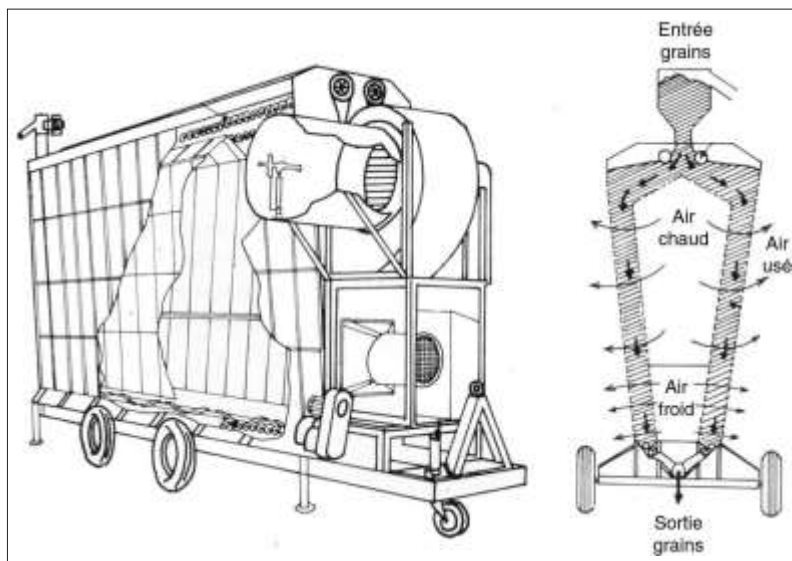


Figure 3.17.
Séchoir continu mobile à deux colonnes (d'après Ceemat)

II.8.STOCKAGE DES GRAINS

On entend par "stockage" la phase du système après-récolte durant laquelle les produits sont conservés, de façon appropriée, afin de garantir la sécurité alimentaire des populations en dehors des périodes de production agricole.

Les principaux objectifs du stockage des produits peuvent se résumer de la façon suivante:

- Permettre, sur le plan alimentaire, une utilisation différée (sur une base annuelle et pluriannuelle) des produits agricoles récoltés;
- Assurer, sur le plan agricole, la disponibilité en semences pour les cycles culturaux suivants;
- Garantir, sur le plan agro-industriel, l'approvisionnement régulier et continu en matières premières des industries de transformation;
- Équilibrer, sur le plan commercial, l'offre et la demande de produits agricoles, en stabilisant ainsi les prix sur le marché.

Pour atteindre ces objectifs généraux, il faut évidemment adopter des mesures visant à préserver, dans le temps, la qualité et la quantité des produits stockés.

II.8.1.LE STOCKAGE EN SACS

La technique de stockage des grains en sacs dans des magasins ou des entrepôts est encore très largement répandue dans les pays du Sud alors qu'elle a pratiquement disparu dans les pays du Nord depuis le milieu du XXe siècle. Dans les années 1980, de nombreux observateurs ou spécialistes considéraient que cette évolution était inéluctable et que le stockage commercial en vrac allait rapidement supplanter le stockage en sacs dans toutes les régions du globe.

En ce début du XXIe siècle, le stockage commercial en sacs perdure en Afrique, en Amérique latine et en Asie car il reste bien adapté à la commercialisation des grains qui s'effectue prioritairement en sacs dans la plupart des régions agricoles de ces continents (voir cahier couleur, photos 26 et 27). Ce mode de stockage permet l'utilisation de bâtiments existants ou exige un investissement plus faible que le stockage en vrac lorsque la construction d'infrastructures neuves s'avère nécessaire. En situation d'urgence ou par manque d'infrastructures, le stockage en sacs peut même être réalisé à l'extérieur. Ce stockage à l'air libre est fréquemment utilisé pour le stockage des arachides sous la forme de pyramides de sacs qui peuvent contenir plusieurs centaines de tonnes de marchandise.

II.8.1.1.CONCEPTION DES MAGASINS DE STOCKAGE EN SACS

Les magasins de stockage des grains en sacs ne doivent pas être de simples abris comme c'est trop souvent le cas mais doivent répondre à différents critères de conception de manière à limiter l'influence des différents facteurs de dégradation des stocks.

Les principales exigences sont les suivantes :

- empêcher l'entrée d'eau ou d'humidité dans les magasins ;
- protéger les stocks contre les fortes températures ;
- éviter l'entrée des déprédateurs des stocks (insectes, rongeurs, oiseaux).

Par ailleurs, une bonne conception de l'infrastructure doit faciliter la manutention des sacs et les contrôles de la qualité des stocks et leur traitement éventuel.

Les principaux points que le responsable de la conception et de la construction d'un magasin doit prendre en compte sont les suivants :

- L'implantation et l'exposition ;
- Le dimensionnement et les ouvertures ;

- La construction comprenant le sol, les élévations, la toiture, les ouvertures (les portes, les fenêtres, les aérations...);
- Les équipements.

II.8.1.1.1. IMPLANTATION ET EXPOSITION

Le choix du site d'implantation est un facteur très important de réussite. L'implantation doit être prévue en bordure d'un axe routier praticable en toute saison, notamment en saison des pluies, et dans une zone alimentée par les réseaux d'eau et d'électricité, mais si possible à l'écart des zones d'habitation. La topographie des lieux est à prendre en compte pour éviter les zones basses, inondables, et la proximité d'eaux stagnantes ou courantes (rivières ou marigots), et préférer les points hauts comme les sommets d'une colline ou d'une butte d'où les eaux de ruissellement s'évacuent facilement (Proctor, 1994). Dans tous les cas, le porteur de projet a intérêt à consulter les services de l'équipement ou du génie rural avant de fixer le choix définitif de l'implantation.

Pour éviter de trop fortes températures dans le magasin, il est nécessaire de limiter les surfaces exposées au rayonnement solaire qui dans les régions tropicales est intense à l'Est et à l'Ouest. Le bâtiment doit donc être orienté est-ouest pour ne présenter que ses pignons (petites façades) aux rayons du soleil. Lorsque le soleil est au zénith et que le rayonnement est intense, les façades sont protégées par les avancées du toit. L'orientation du magasin doit aussi être choisie afin que l'axe longitudinal du bâtiment soit parallèle aux courbes de niveaux de manière à réduire au mieux les volumes de terre déplacés lors du nivellement.

II.8.1.1.2. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES MAGASINS

Les dimensions d'un magasin de stockage sont fonction des quantités de produits à entreposer et de considérations relatives à la bonne gestion des stocks. Les principaux paramètres à prendre en compte sont les suivants :

- Le volume spécifique des denrées stockées en sac ;
 - L'individualisation du stock en plusieurs lots ;
 - La hauteur des piles de sacs selon la nature des sacs utilisés
 - La largeur des allées de manutention et de contrôle ;
 - La nécessité de locaux annexes (aire de travail, bureau, laboratoire, locaux de rangement).
- **Volume spécifique des denrées stockées en sac**

Le volume spécifique des principales denrées stockées en sacs est donné dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1. Volume spécifique de quelques denrées stockées en sacs

Produit stocké en sacs	Volume spécifique (m ³ / tonne)
Mil	1,25

Niébé, haricot, pois, lentille	1,30
Riz usiné, blé, café	1,60
Maïs, sorgho, arachide décortiquée	1,80
Riz paddy	1,90
Soja, cacao	2,00
Farine de maïs, farine de blé	2,10
Graines de coton	2,50

○ Hauteur des piles de sacs

Pour une quantité de produits donnée, l'emprise des stocks au sol est fonction de la hauteur des piles de sacs. Cette hauteur dépend d'abord de la nature des sacs utilisés. Les sacs en plastique de polypropylène tissé qui ont tendance à glisser les uns sur les autres ne doivent pas être empilés sur une hauteur supérieure à 3 m, alors que les sacs en fibres naturelles (jute ou sisal), plus rugueux et plus adhérents, peuvent être empilés sur des hauteurs de 5 à 6 m. La hauteur des piles est également fonction de la nature du produit à stocker. Pour les grains conditionnés en sacs de jute, on peut empiler plus de 30 couches de sacs alors que pour les farines, on limite l'empilage à 20 couches pour éviter des compactations trop importantes au niveau des couches inférieures. Le savoir-faire du personnel pour édifier des piles de sacs stables est également une donnée importante à prendre en compte pour estimer les hauteurs d'empilement maximales.

Enfin, il faut tenir compte de la nécessité de laisser un espace suffisant au-dessus des piles de sacs pour que le personnel y accède et puisse contrôler les stocks. En pratique, la hauteur des piles est inférieure de 1 m à la hauteur des murs du magasin pour qu'un homme puisse se déplacer facilement en tous points de la surface du tas de sacs.

○ Séparation des stocks en plusieurs lots

Le stockage en un seul lot permet d'obtenir le meilleur coefficient d'utilisation du volume offert. Dans la pratique, cette solution est rarement applicable et n'est pas à recommander sauf peut-être pour des très petits magasins. Dans la plupart des cas, il est nécessaire d'individualiser les lots selon la nature des produits à stocker et si l'on stocke un seul produit, il est également recommandé de faire plusieurs tas de manière à faciliter la gestion des livraisons, les contrôles et les traitements éventuels. Il est indispensable de prévoir un couloir de circulation et d'inspection de 1 m de large entre les piles de sacs et les murs du magasin et de réserver des allées de manutention de 2 à 3 m de large.

○ Forme du bâtiment et locaux annexes

Pour faciliter la manutention et la gestion des stocks, l'usage montre qu'il est préférable de concevoir des bâtiments de forme rectangulaire. Dans la pratique, on préconise des proportions où la longueur est égale au double de la largeur (figure 5.1).

Afin d'améliorer le coefficient d'utilisation du volume offert par le magasin et de permettre une bonne gestion des stocks, il est généralement indispensable de prévoir des locaux annexes au bâtiment principal de stockage. Il est ainsi nécessaire de prévoir un bureau-laboratoire pour le

magasinier, des locaux pour l'entreposage de différents matériels (bascules, sacherie, bâches en plastique, appareils et produits insecticides, matériels de nettoyage...) et une aire de travail pour le nettoyage, le traitement et le reconditionnement de lots de grains. Cette aire de service peut être réalisée en prolongeant la toiture en pignon ou en long pan afin d'aménager une aire couverte pour la réception,

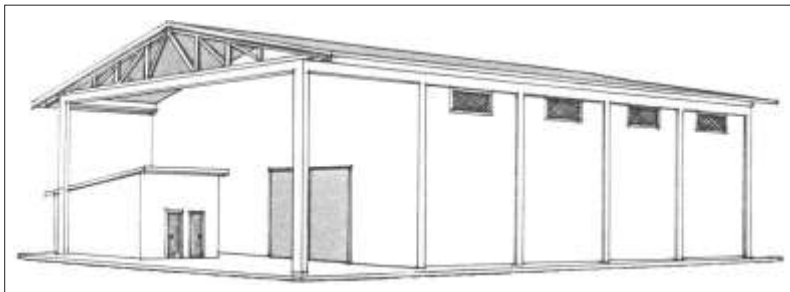


Figure 5.1.
Vue extérieure d'un magasin avec une aire de services en pignon
(d'après Cruz *et al.*, 1989).

Le reconditionnement éventuel et l'expédition des sacs de grains (figure 5.1). Dans les centres de stockage importants comprenant plusieurs magasins, il est souvent préférable de prévoir un bâtiment propre dédié aux services et regroupant l'ensemble des locaux annexes.

II.8.1.1.3. PRINCIPES DE CONSTRUCTION DES MAGASINS

Des plans standards pour magasins à grains ont été publiés par la FAO dans les années 1980 qui restent pour la plupart encore utilisables aujourd'hui. Il s'agit donc ici de rappeler quelques informations concernant la construction des magasins.

○ Les fondations

Pour l'implantation du magasin, il faut bannir les terrains argileux ou les remblais instables et choisir des sols bien drainés de bonnes portances avec une résistance à la pression supérieure à $0,2 \text{ N} / \text{mm}^2$ (ou $2 \text{ kg} / \text{cm}^2$). Toutes les charges du bâtiment se répartissent sur des poteaux qui sont supportés, à la base, par des plots de fondation ou une semelle isolée en béton armé.

○ L'ossature du magasin et les murs

L'ossature du magasin est constituée des poteaux soutenant la charpente et reliés entre eux par des chaînages. Elle est généralement en béton armé mais elle peut aussi être constituée d'éléments métalliques. On doit éviter autant que possible l'édification de poteaux à l'intérieur du magasin car ils sont une gêne importante à l'édification et à la gestion des piles de sacs.

Les murs sont parfois constitués de parois légères réalisées en plaques de fibrociment ou en tôles d'acier galvanisé ou d'aluminium. Ces matériaux ont l'avantage d'être d'une mise en œuvre rapide mais ils ont l'inconvénient d'être fragiles et de faible inertie thermique. Les murs des magasins sont plus généralement réalisés en parpaings (blocs de béton ou briques) pour donner une certaine résistance au bâtiment et assurer une bonne inertie thermique. La face interne des murs du magasin ne doit présenter aucun décrochement susceptible de gêner les

opérations de manutention et de contrôle des stocks. Les saillies des poteaux doivent donc toujours être prévues à l'extérieur du bâtiment. Enfin, il est nécessaire de prévoir tout autour du magasin, une dalle trottoir d'environ 1 m de large et légèrement pentue pour éviter que les eaux qui ruissellent du toit n'affouillent le bas des murs.

Les murs doivent être recouverts d'un enduit de ciment sur les deux faces et d'un badigeon de chaux sur la face externe pour renvoyer le rayonnement solaire et limiter l'accumulation de chaleur dans le magasin. L'intérieur du magasin est souvent recouvert d'une couche de peinture de couleur claire pour obtenir une surface aussi lisse que possible et faciliter ainsi le nettoyage des murs et la lutte contre les insectes.

- **Les ouvertures du magasin**

Les ouvertures du magasin comprennent les portes et les aérations.

- ✓ **Les portes**

Les petits magasins ne disposent généralement que d'une seule porte, ce qui rend difficile la bonne gestion des stocks. Il est toujours préférable de concevoir des bâtiments avec deux portes de manière à faciliter la manutention des stocks et à permettre d'appliquer la règle dite « FIFO » (first in, first out). Situées d'un même côté du bâtiment, elles peuvent être protégées des pluies par l'avancée du toit et plus facilement surveillées depuis le bureau du magasinier (figure 5.6).

Les portes doivent être de dimensions suffisantes avec une largeur minimum de 3 m et une hauteur de 2,5 m. Elles doivent être réalisées avec soin pour assurer une bonne fermeture du magasin et empêcher l'entrée des insectes et des rongeurs. À cet effet, les portes à battants permettent une meilleure fermeture des magasins que les portes coulissantes. Il est préférable que les portes à battants s'ouvrent vers l'extérieur « à l'anglaise » pour ne pas encombrer l'intérieur du magasin et réduire le volume de stockage. Les portes métalliques sont souvent préférées aux portes en bois car elles sont plus résistantes. Dans le cas de portes en bois, il est indispensable de recouvrir la partie inférieure de la face externe d'un feuillard métallique pour les protéger de l'attaque des rongeurs (chapitre 8).

- ✓ **Les ouvertures d'aération**

Les ouvertures d'aération sont indispensables pour assurer le renouvellement de l'air et réduire les risques d'échauffement à l'intérieur du magasin. Elles jouent également le rôle de fenêtres en assurant un éclairage naturel. Les aérations basses sont à proscrire car elles présentent plus d'inconvénients que d'avantages avec des risques d'entrées d'eau, de rongeurs...

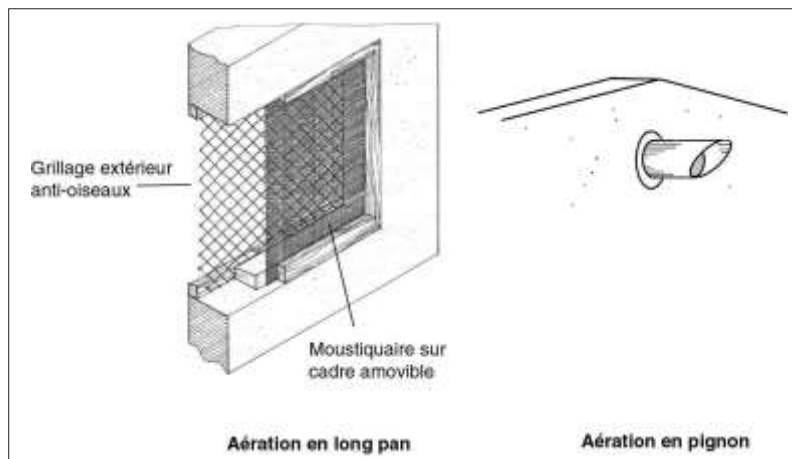


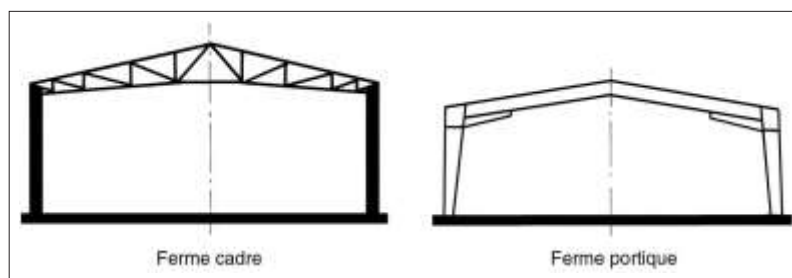
Figure 5.4. Aérations de magasins équipées de protections (d'après Cruz *et al.*, 1989).

Les aérations doivent être placées en partie haute des murs en long pan pour être protégées des pluies par l'avancée du toit. Elles doivent être en nombre suffisant (deux par travée) et de taille suffisante (au minimum 40 cm x 80 cm) pour jouer un rôle efficace.

Ces ouvertures doivent être équipées extérieurement d'un grillage anti-oiseaux et intérieurement d'une moustiquaire fixée sur un cadre amovible pour faciliter le nettoyage. La figure 5.4 montre que l'espace entre ces deux protections doit être suffisant (au moins 10 cm) pour éviter que les oiseaux ne viennent picorer les insectes retenus prisonniers dans la moustiquaire. En haut des pignons, le magasin doit être pourvu d'une petite aération, également protégée par un grillage et une moustiquaire, pour évacuer l'air chaud et humide qui pourrait s'accumuler sous le faîtage du toit.

✓ **La toiture**

La charpente des magasins est souvent réalisée en treillis métalliques. Les fermes sont ainsi constituées d'un entrait et d'arbalétriers en fers profilés reliés par un treillis de fers cornières soudés ou fixés au moyen de boulons ou de rivets. La charpente peut également être en bois, mais ce matériau est moins facile à entretenir et constitue un refuge pour les insectes déprédateurs. Les charpentes métalliques permettent des portées plus importantes que les



Différents types de fermes métalliques

fermes en bois. Il existe également des fermes portiques métalliques regroupant poteaux et charpentes mais elles sont rarement disponibles localement (Cruz et al., 1988).

Les pannes métalliques sont disposées longitudinalement et permettent d'espacer les fermes de 7 à 8 m alors que des pannes en bois limitent l'espacement entre fermes à 4 ou 5 m. Pour les bâtiments dont la largeur dépasse 5 m il est conseillé de prévoir un toit à deux pans avec une pente suffisante d'au moins 15 % pour favoriser l'évacuation des eaux de pluies.

La couverture des bâtiments est souvent réalisée en matériau léger comme les tôles d'acier galvanisé ou d'aluminium. Les plaques en fibrociment sont plus isolantes que les tôles mais moins aisées à poser car elles sont plus lourdes et plus fragiles. Lors de la pose il faut un recouvrement d'au moins 20 cm sur la longueur et d'une onde en largeur. La jonction entre le haut des murs et le toit doit être très soignée pour assurer une bonne étanchéité et éviter l'entrée de déprédateurs (oiseaux, rongeurs, insectes).

Comme cela a été rappelé précédemment, il est nécessaire de prévoir un débordement de toiture d'environ 1 m pour protéger correctement les ouvertures d'aération et les murs des pluies et du rayonnement solaire direct. Du côté des portes, le débordement du toit peut atteindre plusieurs mètres de manière à couvrir totalement l'aire de travail (figure 5.6).

✓ **Le sol du magasin**

Le sol du magasin doit être réalisé après la pose du toit pour éviter que le rayonnement solaire direct n'entraîne une prise trop rapide du béton lors du coulage de la dalle. Un grand soin doit être porté à la réalisation du sol du magasin pour qu'il résiste à la charge des piles de sacs et pour éviter les remontées d'humidité du terrain sous-jacent. Sur le terrain compacté, on prépare une première couche de base, on la recouvre d'un béton de propreté puis on place un écran imperméable à l'eau (film de polyéthylène 150 µm...) pour éviter les remontées capillaires et enfin on coule une dalle de béton armé (figure 5.7). Cette dalle doit comporter des joints de dilatation pour éviter d'éventuelles fissurations toujours difficiles à contrôler (refuge pour les insectes). En finition, la dalle peut recevoir une chape de béton lissé de quelques centimètres. Certains préconisent de construire des magasins avec dalle sur vide sanitaire afin que le sol soit surélevé de 1,2 m pour faciliter le déchargement des camions. Cette solution se justifie rarement car elle est très onéreuse et peut entraîner un surcoût de construction d'environ 40 %.

✓ **Aménagement extérieur**

La livraison et l'expédition des sacs de grains se fait habituellement par des charrettes, des remorques attelées à un tracteur ou par des camions. Le magasin de stockage doit être entouré d'une concession vaste et enclose permettant l'accès de ces différents véhicules de transport en toute saison. La concession doit être protégée des eaux de ruissellement par des fossés de drainage régulièrement entretenus. Enfin les abords des magasins doivent être entretenus régulièrement en maintenant tout autour des bâtiments une large bande de terrain parfaitement propre et exempte de toute végétation (arbre, broussailles...) ou de tout dépôt pour limiter la prolifération et l'attaque des rongeurs.

II.8.1.2. EQUIPEMENTS DES MAGASINS DE STOCKAGE EN SACS

Les magasins de stockage des grains en sacs doivent être équipés de matériels de base nécessaires à la bonne gestion technique des stocks.

II.8.1.2.1.LES SACS

Pour éviter la contamination d'un stock correctement conservé, un magasin doit pouvoir disposer d'un lot de sacs neufs afin de reconditionner tous les emballages défectueux ou douteux (sacs endommagés, sacs infestés...) repérés lors des livraisons. Les sacs utilisés pour le stockage des denrées sont des sacs traditionnels en fibres végétales (jute, sisal, coton, lin ou chanvre) ou des sacs en plastique plus récents en polypropylène tissé. Le choix de tel ou tel type de sacs est important car il détermine la hauteur des piles de sacs et la capacité réelle du magasin.

Aujourd'hui seuls les sacs en jute et les sacs en polypropylène tissé sont d'une utilisation courante. Les sacs en coton sont encore utilisés pour le conditionnement de produits transformés comme la farine et le sucre alors que les sacs de lin ou de chanvre, d'un coût prohibitif, ont pratiquement disparu. Les sacs en sisal sont parfois utilisés pour le stockage des grains (café...) dans les pays où l'on produit cette fibre végétale comme le Brésil, la Tanzanie ou le Kenya. Dans la plupart des pays du Sud, les sacs de jute sont utilisés pour le conditionnement des grains. Importé ou fabriqué localement à partir de fibres produites en Inde ou au Bangladesh, le sac de jute est de plus en plus concurrencé par le sac en polypropylène tissé (tableau 5.2). Mais l'interdiction des emballages en plastique dans un nombre grandissant de pays pourrait donner un nouvel essor aux sacs en fibres végétales, réputés plus écologiques. Le conditionnement de certains produits de qualité comme les fèves de cacao, le café, etc. est réalisé exclusivement en sacs de jute.

Tableau 5.2. Comparaison des caractéristiques des sacs de jute et des sacs en polypropylène tissé.

Caractéristique	Sac de jute	Sac de polypropylène tissé
Hauteur d'empilement	Importante (jusqu'à 6 m)	Faible (limitée à 3 m)
Glissement	Faible	Important
Résistance mécanique	Bonne	Très bonne
Résistance aux ultra-violets	Bonne	Mauvaise
Résistance à l'humidité	Putrescible	Imputrescible
Biodégradabilité	Oui	Non

II.8.1.2.2.LES PALETTES POUR L'EDIFICATION DES PILES

Il est souvent préférable de ne pas édifier les piles de sacs directement sur le sol du magasin. C'est le cas dans les régions humides ou lorsque des remontées d'humidité et des risques d'entrée d'eau dans le magasin sont à craindre. Les palettes, souvent réalisées en bois, sont utilisées comme plateformes de base à l'édification des piles de sacs. Ces palettes dont la gestion et la mise en place sont toujours contraignantes doivent être suffisamment légères pour être facilement manipulables par un seul opérateur et leurs dimensions doivent être adaptées aux dimensions du magasin.

On conseille habituellement de limiter leurs dimensions à 1,5 m × 1,5 m ou 1,5 m × 2 m comme cela est illustré en figure 5.8. Dans l'exemple du magasin schématisé en figure 5.3, il faut 200 palettes de 1,5 m × 1,5 m pour édifier les 6 piles de sacs.

Lors de la vidange même partielle du magasin, les palettes doivent être correctement nettoyées et traitées pour ne pas servir de refuge aux insectes. Elles peuvent être stockées dans un local spécialement réservé à cet effet. Dans l'exemple précédent, 200 palettes représentent un volume d'environ 70 m³ soit un espace d'au moins 35 m² si on stocke les palettes sur 2 m de hauteur.

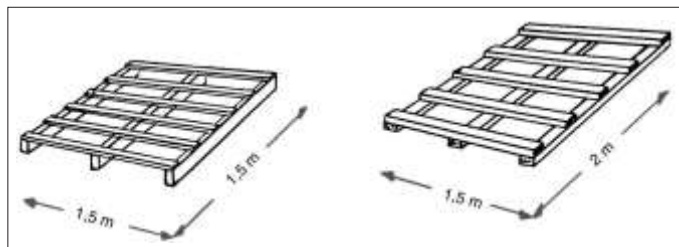


Figure 5.8.
Palettes pour équiper les magasins de stockage des grains

II.8.1.2.3. LES MATERIELS DE PESEE

À la livraison comme à l'expédition, il est indispensable de procéder à un contrôle du poids des denrées réceptionnées ou expédiées. Dans les magasins on utilise habituellement des bascules mécaniques de portée égale à 200 kg dont le nombre dépend du volume des stocks (figure 5.9). Pour les centres de stockage plus importants, on peut recommander l'utilisation de pèse-roues ou pèse-essieux électroniques utilisables sur tracteurs, remorques ou poids lourds pour des portées variant de 5 à 20 tonnes.

Dans les très grands centres de stockage regroupant plusieurs magasins importants on utilise des ponts bascules qui ont des portées de plusieurs dizaines de tonnes. Ces équipements sont onéreux et nécessitent une infrastructure particulière, comme une fosse de 1,5 m de profondeur pour recevoir le mécanisme de pesée. Tous ces matériels doivent être périodiquement contrôlés par les services des poids et mesures.

II.8.1.2.4. LES MATERIELS D'ANALYSE ET DE TRAITEMENT

Même pour les petits magasins, il est essentiel de disposer de quelques matériels permettant le contrôle des stocks par le prélèvement d'échantillons (voir cahier couleur, photo 30) : sonde à sacs pour prises (photo 5.1), petite balance, humidimètre (photo 5.2), thermomètre ou sonde thermométrique, jeu de différents tamis, loupe.

II.8.1.2.5. MATERIELS DE TRAITEMENT DES STOCKS ET DES LOCAUX

Le magasinier doit pouvoir disposer de matériels de traitement des grains et des locaux par des insecticides de contact tels que poudreuse, pulvérisateur... et parfois de matériels de base nécessaires aux fumigations (bâches étanches...).

II.8.1.2.6. MATERIELS DE NETTOYAGE ET DE RECONDITIONNEMENT DES PRODUITS

Au niveau des centres de stockage, il peut être nécessaire de reconditionner une partie des livraisons si l'analyse des produits livrés révèle une qualité médiocre des grains (humidité trop élevée, impuretés excessives...) ou des emballages (voir cahier couleur, photo 28). Équiper un centre de stockage d'une unité de nettoyage et de reconditionnement des produits permet

alors d'éviter que les stocks déjà en place ne soient pollués par une livraison de qualité douteuse.

Une telle chaîne de reconditionnement schématisée en figure 5.15 peut être constituée des matériels suivants : une vis d'alimentation ou petit élévateur avec trémie de vidange des sacs, un nettoyeur séparateur plan ou un crible rotatif, une seconde vis d'alimentation avec traitement insecticide (au niveau de la trémie), un peseur ensacheur, une couseuse de sacs.

Le fonctionnement d'une unité de reconditionnement nécessite de disposer de courant électrique (réseau ou groupe électrogène).

II.9.MISE EN PLACE ET GESTION TECHNIQUE DES STOCKS DE GRAINS

Quelques règles de base de la gestion technique des stocks

Certaines règles générales sont à respecter pour faciliter la gestion technique des stocks.

- Connaître la capacité du magasin selon le nombre de piles que l'on prévoit de mettre en place pour éviter la réception de quantités excédentaires.
- Disposer de locaux sains et correctement protégés contre l'attaque éventuelle des déprédateurs. Au besoin, il faut réparer et nettoyer préalablement les locaux et traiter tout l'intérieur du magasin avec un insecticide de contact.
- Ne réceptionner que des produits sains, propres, suffisamment secs et bien conditionnés. Au besoin, il peut être nécessaire de sécher, nettoyer, traiter et reconditionner les livraisons de qualité douteuse.
- Individualiser les stocks selon le type de produit à conserver.
- Édifier les piles de sacs selon les règles de l'art en vérifiant bien leur stabilité.
- Contrôler périodiquement l'état de conservation des stocks en intervenant si nécessaire (traitement insecticide).
- Assurer une hygiène correcte des stocks des locaux et des abords des magasins pour permettre de bonnes conditions de stockage.
- Réaliser l'entretien et la maintenance des locaux et des équipements.
- Gérer les lots selon la règle du FIFO (first in, first out) qui signifie « premier entré, premier sorti ».

II.9.1.LA MISE EN PLACE DES STOCKS

Les palettes doivent être disposées dans les zones prévues pour l'édification des piles de sacs en réservant les allées de manutention et de contrôle. Les sacs, de même taille, sont empilés couche par couche en croisant les arrangements d'une manière qui dépend de la taille des sacs utilisés. La figure 5.16 montre deux modes d'arrangement sur des bases de 3 ou 5 sacs.

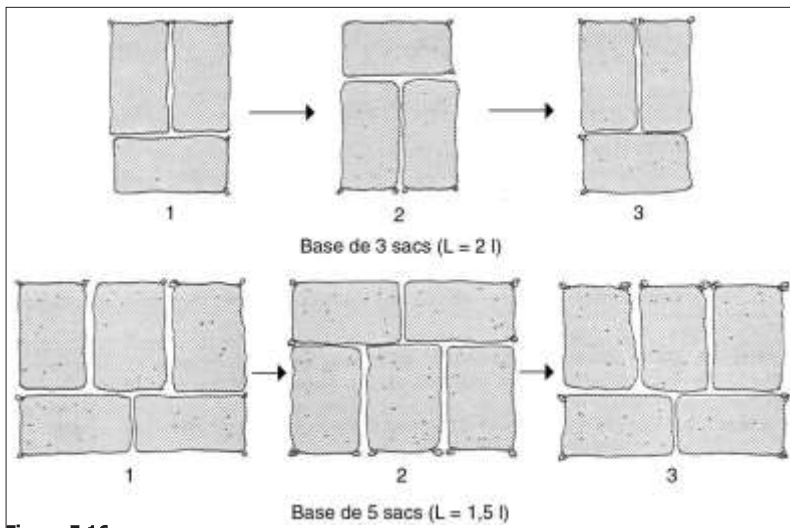


Figure 5.16. Modes d'arrangement des sacs de grains.

Pour assurer une bonne stabilité des stocks, il est nécessaire que la hauteur d'une pile ne soit jamais supérieure à sa largeur. Il est également préférable de l'édifier de manière à ce que les parois aient une légère inclinaison vers l'intérieur du tas pour les sacs en jute. Pour une pile édifée de façon régulière et avec un même type de sac, il est aisé de compter les sacs en multipliant le nombre de sacs de la base par le nombre de couches (figure 5.17). Pour les sacs en polypropylène réputés plus glissants, l'inclinaison des parois doit être beaucoup plus prononcée.

Les différentes piles de sacs doivent être clairement identifiées par une fiche précisant la nature du produit, le nombre de sacs soit la quantité stockée, la date de la réception du produit, la date de l'édification de la pile et le nombre et le type de traitements insecticides réalisés. Cette fiche doit être épinglée sur la pile pour être consultable à tout moment et un double doit être conservé au niveau du bureau du magasinier.

I.9.2.LE CONTROLE ET L'HYGIENE DES STOCKS

L'inspection des stocks doit être périodique pour contrôler l'état de conservation des denrées entreposées et l'état des infrastructures et des abords des magasins. Une rapide inspection visuelle journalière des stocks peut permettre de déceler tout problème apparent. Des inspections hebdomadaires ou bimensuelles plus détaillées, avec prélèvements d'échantillons et utilisation d'appareils portatifs (sondes, loupe, sondes thermométriques, humidimètres...) permettent d'identifier l'attaque de déprédateurs (insectes, rongeurs) et l'apparition d'échauffements éventuels. Enfin des inspections mensuelles complètes des stocks, des infrastructures et des abords sont nécessaires pour garantir les meilleures conditions de stockage des grains. De bonnes conditions de stockage sont avant tout assurées par une hygiène correcte des locaux. Un balayage complet du sol des magasins doit être réalisé

fréquemment pour éliminer les poussières qui peuvent constituer des foyers d'infestation par les insectes.

II.9.3.LE STOCKAGE EN VRAC

Le stockage en vrac est le mode de stockage le plus fréquemment utilisé dans les pays du Nord. En France, par exemple, ce sont plus de 50 millions de tonnes de grains qui sont stockés dans des silos en vrac par les coopératives agricoles. Dans de nombreux pays du Sud, où l'emploi du sac reste prédominant, cette technique est encore peu répandue. Cependant, dans certains pays émergents la mécanisation de l'agriculture s'est fortement accrue au cours des dernières décennies et l'augmentation des quantités produites oblige alors les grands producteurs à s'orienter vers des systèmes post-récolte mécanisés de type vrac comme dans les pays du Nord.

Dans beaucoup de pays qui disposent de zones portuaires par où transitent les importations ou les exportations de céréales il apparaît également indispensable de substituer le vrac au sac pour faciliter la manutention et assurer des bons coefficients de rotation des stocks. Partout, l'urbanisation croissante génère des pôles de consommation importants nécessitant des industries de transformation des denrées alimentaires. Ces grandes industries alimentaires que sont les rizeries, les semouleries, les minoteries, les brasseries qui traitent annuellement plusieurs milliers de tonnes de grains font souvent appel au vrac pour le stockage des matières premières.

Le choix entre le sac et le vrac doit tenir compte du contexte et des contraintes locales et le passage du sac au vrac qui, pour beaucoup de pays du Sud, représente une mutation importante, se fait beaucoup plus lentement qu'on ne le supposait dans les années 1980. Le stockage en vrac n'est qu'un élément de l'ensemble du système post-récolte qui comprend la livraison, la manutention, le nettoyage, le séchage, la ventilation, le traitement, l'expédition des grains et des étapes en amont comme la récolte et le transport. Dans les pays du Sud, certains échecs survenus lors d'expériences passées sont souvent liés à l'oubli d'une séquence du système.

II.9.3.1.SILOS DE STOCKAGE

Pour certains, le terme « silo » viendrait de la ville biblique de Siloh aujourd'hui Khirbat Seilun située au nord de Jérusalem et qui devait être un important centre céréalier de l'Antiquité. Pour d'autres, il s'agit d'un terme espagnol signifiant « fosse à grains ».

II.9.3.1.1.LES CELLULES DE PETITE CAPACITE

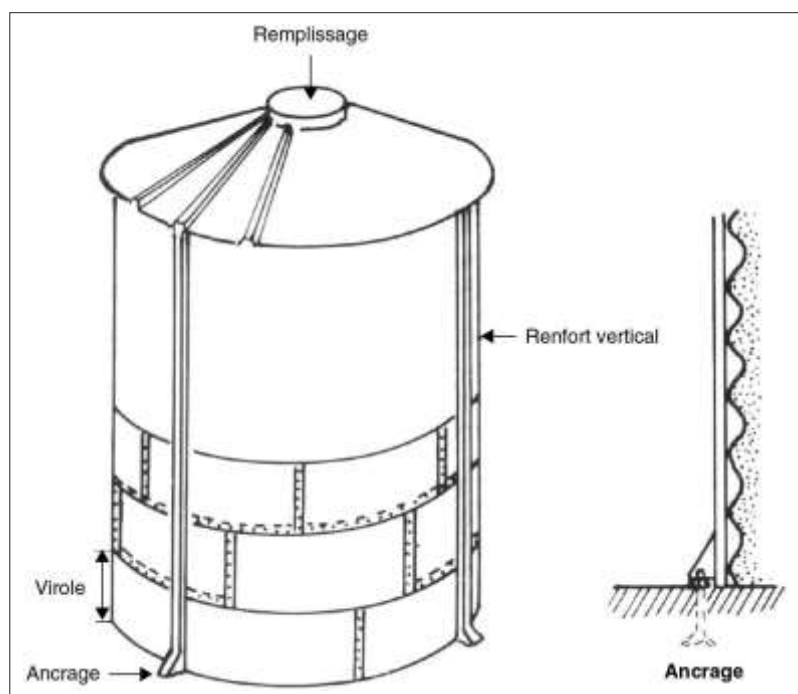
Les petits silos que constituent certains greniers villageois et les petites cellules de stockage amélioré en ciment ou métalliques leur capacité varie de quelques centaines de kilogrammes à quelques tonnes.

Pour les plus grandes capacités d'une dizaine à une cinquantaine de tonnes, il existe des cellules dites fermières construites le plus souvent en tôle ondulée. L'intérêt de telles cellules est de pouvoir être érigées facilement par simple boulonnage de plaques préfabriquées. Les panneaux constituent alors des viroles qui sont assemblées avec des joints d'étanchéité sur une hauteur voisine de 4 m. Compte tenu des contraintes exercées par le frottement des grains, il est nécessaire de renforcer les parois par des armatures extérieures verticales scellées au sol (figure 6.1). En général, les cellules sont ouvertes en partie supérieure et sont placées à

l'intérieur d'un bâtiment ou sous un hangar mais elles peuvent être équipées d'un toit pour être disposées à l'extérieur.

Certains constructeurs proposent des cellules carrées ou rectangulaires constituées de panneaux soudés type palplanche qui ont l'avantage de mieux occuper la surface au sol sous abri que les cellules rondes mais qui sont généralement plus coûteuses. On peut également construire des petites cellules en bois (madriers, lames de parquet) ou en parpaings de ciment revêtus d'un enduit mais dont la hauteur est limitée à 2 m ou 2,5 m (figure 6.2). Des tirants intérieurs équilibrent la poussée des grains.

Certains fabricants commercialisent aussi des petits silos en résine de polyester parfois additionnées de fibres de verre pour des capacités de stockage de 5 à 20 tonnes (figure 6.3). Ces petites cellules peuvent servir au stockage des grains mais sont souvent utilisées pour le stockage de produits type aliment du bétail (pulvérulents ou pellets) dans les unités d'élevage. Le chargement de ces cellules est souvent pneumatique.



II.9.3.1.2. LES SILOS DE GRANDE CAPACITE

Les silos de grande capacité sont des installations agricoles ou industrielles qui permettent de stocker de 500 tonnes à plusieurs centaines de milliers de tonnes. Extérieurement, ils apparaissent comme un ensemble de cellules auquel est accolée une tour de manutention et de traitement (figure 6.4).

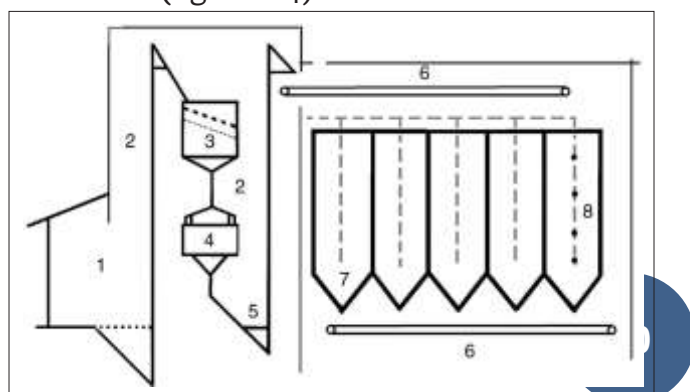


Figure 6.4.

Schéma d'une installation de stockage en vrac.

1. Fosse ou trémie de réception des grains – 2. Élévateurs – 3. Système de nettoyage
4. Système de pesage – 5. Traitement – désinsectisation – 6. Transporteurs horizontaux
7. Cellules de stockage – 8. Silothermométrie

Ces installations disposent généralement d'un poste de réception et d'expédition, de dispositifs de manutention (élévateurs, transporteurs horizontaux), d'équipements de nettoyage et de dépoussiérage, de matériels de pesée et de traitements insecticides, de systèmes de séchage et de cellules de stockage équipées de systèmes de ventilation. Il existe différents types de structures pour le stockage des grains en vrac parmi lesquels on distingue les silos verticaux et les silos horizon- taux. Le choix de tel ou tel modèle n'est pas simplement technique mais résulte souvent d'un bon compromis technico-économique.

II.9.3.1.2.1. LES SILOS VERTICAUX

Dans les zones portuaires où l'espace est limité, le coût du terrain élevé et le coefficient de rotation des stocks souvent important, le choix porte généralement sur la construction de silos verticaux, de faible emprise au sol, qui permettent des débits de manutention élevés grâce à une vidange gravitaire des cellules de stockage.

II.9.3.1.2.1.1. LES SILOS METALLIQUES

Cette technique est fréquemment utilisée car elle s'adapte à tous les besoins en termes de capacité de stockage par la mise en œuvre de petits ou de très grands centres de stockage.

Les silos métalliques légers

Ces silos sont constitués de cellules métalliques en tôles d'acier galvanisé ou d'aluminium, ondulées ou planes (voir cahier couleur, photo 32).

Les principaux avantages de cette technique sont les suivants :

- production standard et facilité de transport en pièces détachées;
- large gamme de capacités;
- construction légère nécessitant peu de génie civil;
- rapidité et facilité de montage.

Les cellules en tôle ondulée sont très en vogue car elles sont très faciles à construire. Les tôles cintrées et percées en usine sont boulonnées entre elles et sur des renforts verticaux régulièrement répartis (figure 6.5). Le montage des cellules est effectué en utilisant un mat central qui permet de soulever le toit puis les viroles successives au fur et à mesure de leur assemblage. L'étanchéité entre les tôles est assurée par un joint dont la mise en place au cours du montage doit être particulièrement soignée pour les cellules construites à l'exté- rieur. Les diamètres des cellules à fond plat utilisées pour la réalisation de silos industriels varient habituellement de 3 à 30 m pour des hauteurs de 5 à 25 m. Pour un stockage extérieur où l'emprise au sol n'est pas une contrainte importante, ce sont en général les cellules de forme

aplatie, où la hauteur est inférieure au diamètre, qui ont une meilleure capacité maximum par rapport à la superficie des parois et du toit. Ce choix nécessite cependant des systèmes de vidange plus importants qu'avec des cellules hautes et de moindre diamètre.

Les silos métalliques type palplanche

Ces silos sont constitués de cellules à sections carrées ou rectangulaires ou même parfois polygonales avec des tirants intérieurs. Les cellules sont réalisées à partir d'éléments

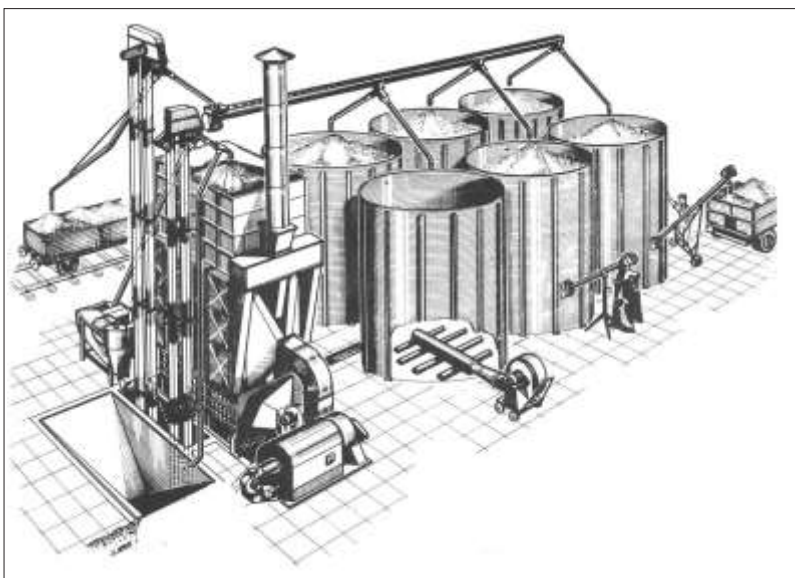
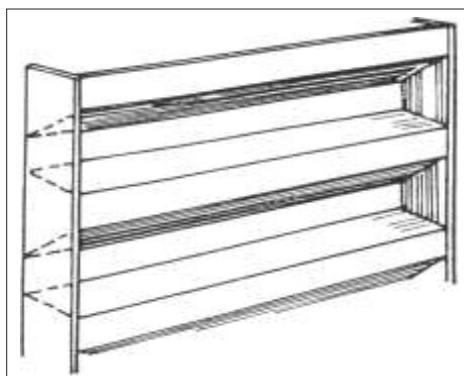


Figure 6.5.
Schéma d'un silo métallique léger (d'après doc BCMEA).

métalliques préfabriqués, soudés ou boulonnés. Chaque élément est constitué d'une tôle d'acier à ondes horizontales en profil oméga de type palplanche et rigidifiée par des flasques latéraux comme illustré en figure 6.6. Les panneaux ont des dimensions variables avec une largeur de 2 à 4 m et une longueur pouvant atteindre 10 m.



Tôle palplanche

Certains silos sont construits avec un acier spécial dit autopatinable pour mieux résister à la corrosion atmosphérique. Exposé aux intempéries, cet acier développe une fine couche

protectrice d'oxyde couleur rouille qui le protège contre une corrosion plus avancée (voir cahier couleur, photo 33).

La construction des silos métalliques type palplanche est plus complexe et souvent plus onéreuse que celle des silos métalliques légers notamment lorsque les tôles d'acier sont assemblées par soudure (figure 6.7). Elle nécessite des moyens de montage plus importants et un personnel très qualifié pour la réalisation des joints par soudure. Cette technique permet cependant l'obtention de structures étanches lorsque l'on souhaite mettre en œuvre un stockage spécial sous gaz inerte.

Pour les silos de plus de 25 à 30 m, les cellules métalliques nécessitent la mise en œuvre de renforts verticaux importants pour éviter leur effondrement lors de la vidange et la rentabilité des installations n'est plus assurée. On a alors recours aux silos en béton armé.

II.9.2.1.2.1.2.LES SILOS EN BETON ARME

Pour les zones où l'emprise au sol des installations doit être réduite au maximum comme dans les zones portuaires, le silo en béton armé est souvent la solution idéale car il permet des constructions de grande hauteur (voir cahier couleur, photo 34). Les cellules construites en béton armé peuvent atteindre des hauteurs de 30 à 60 m pour des diamètres de 6 à 10 m (photo 6.1).



Le béton est un matériau intéressant, souvent disponible localement, car de nombreux pays du Sud disposent de cimenteries. Le béton armé a également l'avantage d'assurer une bonne isolation thermique ; ce qui constitue un avantage intéressant pour les installations implantées en régions chaudes. C'est un matériau durable qui résiste bien au temps sans exiger de revêtement ou d'entretien particulier. Il permet ainsi d'amortir les installations sur une longue période.

Le silo en béton armé constitue cependant une installation très lourde qui nécessite d'être implantée sur des sols de bonne portance. Le poids des cellules en béton armé est d'environ 200 kg par tonne logée alors qu'il n'est que de 12 à 25 kg pour les silos métalliques. Par ailleurs, le béton armé, qui est un matériau poreux aux gaz, est donc peu approprié pour la réalisation

de cellules étanches. Il ne convient pas pour la mise en œuvre de techniques de désinsectisation au gaz carbonique (CO₂) car il absorbe ce gaz par le phénomène de carbonatation.

Les cellules en béton armé peuvent être construites par l'assemblage de dalles de béton armé ou douelles avec des joints réalisés au mortier étanche mais le plus souvent on fait appel à la technique du coffrage glissant. Cette technique, aujourd'hui utilisée dans le monde entier, a l'avantage de supprimer les reprises de bétonnage préjudiciables à l'étanchéité du béton. Elle fait appel à un coffrage constitué de deux cylindres concentriques d'environ 1,2 m de hauteur et espacés de l'épaisseur de la paroi de la cellule. Le coffrage est levé en continu par des vérins qui prennent appui sur des barres d'acier qui sont ensuite extraites ou noyées dans le béton. Le versement du béton s'effectue en continu à des vitesses d'avancement du coffrage de 15 à 20 cm par heure. Il faut donc en moyenne une dizaine de jours de travail continu, de jour comme de nuit, pour réaliser une cellule en béton armé de 40 m de haut. De nombreux experts conseillent de réaliser des silos avec cellules indépendantes plutôt que des cellules reliées avec cellules intercalaires en forme d'as de carreau qui sont toujours difficiles à contrôler. Les silos en béton armé ne peuvent être réalisés que par des entreprises spécialisées employant du personnel très qualifié.

II.9.3.1.2.2. LES SILOS HORIZONTAUX

Les silos horizontaux sont généralement constitués de grands bâtiments équipés de cellules ou cases de stockage de faible hauteur (5 à 8 m) par rapport aux autres dimensions de manière à reporter l'essentiel de la pression des grains sur le sol plutôt que sur les parois. Ils nécessitent une emprise au sol importante.

Les cases de stockage peuvent être construites en métal, comme pour les silos de type palplanches, ou en béton armé traditionnel ou à partir d'éléments préfabriqués en béton armé de forme cornière ou demi-douve par exemple. La toiture de la structure est réalisée en matériau léger. Le silo est équipé de transporteurs horizontaux pour répartir le chargement en grains sur toute la longueur du bâtiment et pour vidanger les cellules. Un élévateur vertical permet d'alimenter le transporteur haut généralement accroché à la charpente (figure 6.7).

II.9.3.1.3. EQUIPEMENTS DES SILOS DE STOCKAGE

II.9.2.1.3.1. LA RECEPTION DES GRAINS

○ LA PESEE

À la livraison dans un centre de stockage, comme à l'expédition, les grains doivent être pesés pour pouvoir rémunérer les producteurs ou collecteurs et réaliser des bilans matière. L'équipement couramment utilisé dans les grands centres de stockage est le pont-basculé qui permet de peser des véhicules de 30 à 60 tonnes. Pour des centres plus petits, on peut utiliser des plateformes pèse-essieux de 5 à 20 tonnes de portée. Une autre technique de pesée consiste à intégrer une bascule de circuit dans le système de manutention mais elle oblige alors à vider totalement la trémie de réception après chaque livraison pour connaître les quantités livrées. La bascule de circuit doit être alimentée de façon régulière pour fonctionner correctement avec des pesées unitaires de 50 à 100 kg ou plus. Elle doit être régulièrement entretenue, nettoyée et réglée pour chaque type de grains. Enfin dans les grands centres de

stockage, il existe également des systèmes de pesée sur convoyeur à bande en continu pour des débits de 100 à 200 t / h.

- **LA RECEPTION**

Lorsque la livraison des grains se fait par route ou par voie ferrée, on utilise habituellement des fosses de réception de forme pyramidale et équipées d'une grille pour retenir les corps étrangers les plus volumineux. Le volume de la fosse de réception ne doit pas être inférieur à 8 m³ pour les petits centres, et à 20 m³ pour les centres de plus de 1 000 tonnes. Pour les livraisons par voie maritime ou fluviale, les grains sont généralement aspirés par un transporteur pneumatique avant de rejoindre le circuit de manutention.

II.9.2.1.3.2.LA MANUTENTION DES GRAINS

La manutention est généralement réalisée au moyen d'élévateurs verticaux et de transporteurs horizontaux pour transporter les grains du poste de réception jusqu'aux cellules de stockage puis ensuite jusqu'au poste d'expédition.

- **LES TRANSPORTEURS VERTICAUX**

L'élévateur à godets est le matériel le plus utilisé pour la manutention verticale des grains dans les silos de stockage. Les godets métalliques ou en plastique sont fixés à intervalles réguliers sur une sangle tendue verticalement entre une poulie motrice et une poulie de pied comme illustré en figure 6.11. L'ensemble est enfermé dans un bâti métallique ou en bois.

Ces équipements sont adaptés à tous les types d'installations car les débits des élévateurs à godets peuvent varier dans des gammes de 5 t / h à plus de 1 000 t / h. Les hauteurs d'élévation peuvent dépasser 70 m. La vitesse de la sangle de l'élévateur est de 2 à 6 m / s mais parfois cette vitesse est réduite à 1 m / s pour les produits fragiles comme les semences, le riz usiné ou les fèves de cacao.

Les godets sont habituellement métalliques en fer blanc ou en acier galvanisé mais aussi en plastique pour le transport des produits fragiles. Ils peuvent aussi être en inox ou en caoutchouc pour des usages spéciaux. On trouve également des godets sans fond qui ne sont remplis que tous les 10 éléments environ et qui permettent d'accroître le débit de l'appareil en créant une colonne de produit quasi continue.

Les vis élévatrices sous tube sont utilisées dans les petites unités de stockage. En élévation, elles fonctionnent souvent à un angle de 45°. Elles peuvent être fixes ou mobiles lorsqu'elles sont équipées d'un chariot. Leur débit est fonction du diamètre selon le tableau 6.1 donnant le débit d'une vis sous tube en fonctionnement à 45°.

Tableau 6.1. Débit d'une vis en fonction de son diamètre.

Diamètre (mm)	Débit (t/h)	Diamètre (mm)	Débit (t/h)
100	7	240	50
160	20	300	100

- **LES TRANSPORTEURS HORIZONTAUX**

✓ *Les convoyeurs à bande*

Les bandes transporteuses sont des équipements couramment utilisés dans les silos pour la manutention des grains sur de longues distances (voir cahier couleur, photo 29). Elles sont constituées d'une trame en fibres synthétiques recouverte de caoutchouc ou de plastique et supportée par les rouleaux métalliques et entraînées par un tambour moteur (figure 6.12).

Les bandes utilisées dans les silos ont en général des longueurs de 20 à plus de 100 m. Elles ont des largeurs de 30 à 80 cm qui permettent d'atteindre des débits de 30 à 300 t / h à une vitesse de 2 à 3 m / s.

Pour le transport des grains en vrac on utilise des bandes avec les bords relevés à 30-35° dites en V. Pour franchir un dénivelé, les convoyeurs à bandes peuvent être utilisés avec une pente maximum de 20° en montant et de 15° en descendant mais ces valeurs peuvent être augmentées si l'on utilise des bandes avec barrettes ou chevrons.

Les convoyeurs à bande assurent une manutention très douce particulièrement adaptée au transport des produits fragiles comme les semences, les légumineuses ou le riz. Ils permettent également une vidange intégrale très appréciée pour éviter le mélange de grains. Ils ont cependant l'inconvénient de générer des poussières mais cette émission peut être limitée en utilisant des bandes sous tube.

✓ *LES TRANSPORTEURS A CHAÎNE*

Les transporteurs à chaîne sont également très utilisés pour le transport horizontal ou incliné des produits granulaires. Ces équipements sont constitués d'une chaîne sans fin composée de mail- lons plats sur lesquels sont fixés des barrettes latérales qui forment des raclettes (figure 6.13). Cette chaîne circule à vitesse lente de 0,4 à 0,6 m / s dans un carter métallique et entraîne un flux continu de grains de la trémie d'alimentation vers la trappe de sortie (Williams et Gracey, 1994).

Le principal intérêt du transporteur à chaîne est son faible encombre- ment qui, à débit égal, nécessite une section nettement moins importante qu'un convoyeur à bande. Comme il dispose d'un carter étanche, le convoyeur à chaîne peut être utilisé en extérieur et il génère peu de poussières.

Son principal inconvénient reste sa consommation en énergie qui est plus du double de celle d'un convoyeur à bande. Par ailleurs, son fonctionnement ne permet pas une vidange intégrale, ce qui le rend inutilisable dans certaines installations comme les stations de semences. Enfin ce matériel est bruyant dans les sections où il fonctionne à vide.

Certains constructeurs proposent des transporteurs à câble dans lesquels la chaîne est remplacée par deux câbles parallèles sur lesquels sont fixées des barrettes en bois ou en polyéthylène haute densité. Les débits proposés vont de 10 à 500 t / h.

Un autre cas particulier est représenté par un matériel constitué d'une chaîne continue sur laquelle sont fixés des anneaux en nylon qui assurent la manutention des grains aussi bien à l'horizontale qu'à la verticale. Cet équipement présent aux États-Unis sous la marque Grain Loop est adapté aux silos dont les cellules sont disposées en ligne.

La manutention pneumatique

Le transport des produits granuleux ou pulvérulents est assuré par leur mise en suspension et en mouvement dans une veine d'air circulant dans une tuyauterie.

Un transporteur pneumatique se compose classiquement d'une tuyauterie d'alimentation, d'une chambre de séparation air-produit équipé d'une écluse, d'un dispositif d'épuration de l'air, d'un ventilateur et d'une tuyauterie de refoulement comme illustré en figure 6.14.

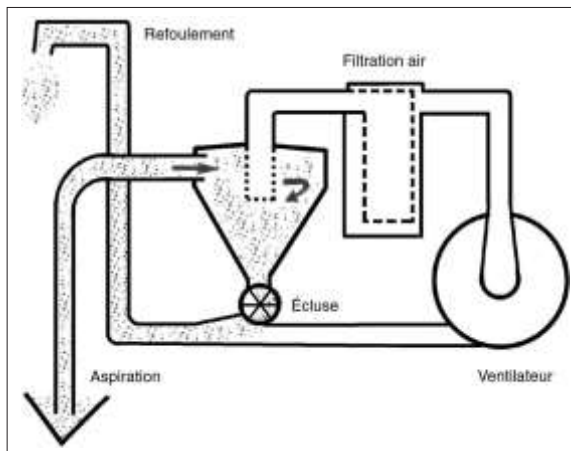


Figure 6.14.
Schéma du transporteur pneumatique
(d'après Cruz *et al.*, 1988).

Cette technique est souvent mise en œuvre lorsqu'il n'est pas possible d'avoir recours aux techniques classiques de manutention comme pour le déchargement des navires ou des péniches ou pour la vidange de cellules difficilement accessibles. Des transporteurs pneumatiques sur charriot permettent d'atteindre des débits de plusieurs dizaines de tonnes à l'heure mais les puissances consommées sont importantes. Le transporteur pneumatique consomme cinq fois plus d'énergie qu'un transporteur mécanique classique.

II.9.3.1.3.3.LA VIDANGE DES CELLULES

Pour la vidange des cellules à fond plat, on laisse naturellement s'écouler les grains par gravité dans les orifices de vidange mais il reste toujours des talus ou cônes résiduels de grains selon l'angle de leur talus naturel. Selon le type de cellules de stockage utilisé, il existe divers systèmes de manutention qui permettent une vidange intégrale (vis de vidange intégral).

○ VIS DE VIDANGE INTEGRALE

Cet équipement est utilisé pour la vidange intégrale des cellules cylindriques équipées de faux fond perforé. La vis est disposée à poste fixe dans la cellule et ramène dans l'auget central les grains du cône résiduel. Les grains sont ensuite évacués vers le circuit de manutention par une vis de reprise (figure 6.15).

○ VIDANGE PAR TRANSRACLEUR

Le transracleur est un équipement dédié à l'extraction des grains dans les cellules rectangulaires à fond plat. Il permet de racler les grains vers les orifices de vidange des cellules et le système de reprise (figure 6.16). Les débits peuvent atteindre plusieurs centaines de tonnes à l'heure. Le matériel est également utilisé lors du remplissage des cellules afin de niveler le haut du tas de grains.

○ VIDANGE PAR VENTILATION

La vidange des cellules carrées à fond plat est parfois réalisée par le système de ventilation. On parle alors de ventilation vidange. Les filets d'air refoulés par les gaines de ventilation sont orientés pour entraîner les grains vers les trappes de vidange. Cette technique développée en Australie et reprise par différents constructeurs a l'avantage de ne pas casser les grains mais elle génère de la poussière et consomme beaucoup d'énergie. Certains la considèrent comme un non-sens économique et écologique.

II.9.3.1.4. LE NETTOYAGE DES GRAINS

Il est nécessaire de bien nettoyer les grains avant leur stockage afin d'éliminer les matières étrangères susceptibles d'altérer leur bonne conservation. Au niveau des silos, le nettoyage est réalisé par des équipements qui sont généralement placés dans la tour de manutention et alimentés en dérivation du circuit des grains. Les différents types d'équipements généralement utilisés pour nettoyer les grains sont décrits ci-après.

- **LE PRE-NETTOYEUR CIRCULAIRE**

Dans cet équipement, les grains sont distribués par une alimentation centrale et tombent sur un cône de répartition pour être traversés par un courant d'air (figure 6.17). Le pré-nettoyeur circulaire permet d'éliminer les impuretés légères (balles pailles, poussières...) et quelques fines brisures. La puissance requise est faible et reste voisine de 1 kW pour un débit d'environ 10 t/h.

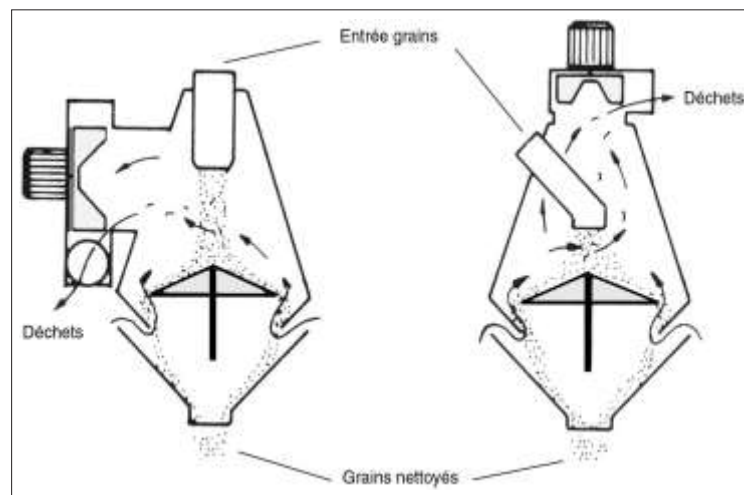


Figure 6.17.
Schéma de pré-nettoyeurs circulaires (d'après Ceemat).

- Le nettoyeur rotatif

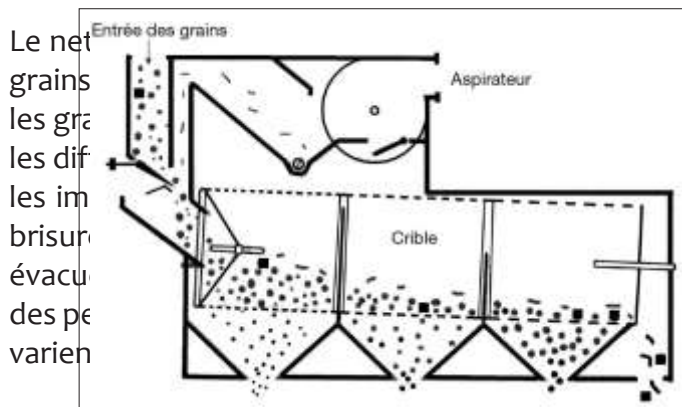


Figure 6.18.
Schéma de nettoyeur rotatif (d'après doc. Marot).

est effectué à deux niveaux. À l'entrée des grains, on aspire et d'évacuer les particules légères puis généralement formé de 3 cylindres, qui sépare les grains. Le premier cylindre à mailles fines permet de récupérer les grains fins, tandis que le deuxième cylindre peut permettre de récupérer les grains moyens, tandis que les impuretés grossières sont évacuées. Les différentes combinaisons sont possibles selon le choix des diamètres des cylindres les débits de nettoyage par heure.

○ LE NETTOYEUR SEPARATEUR

Le nettoyeur séparateur est l'équipement le plus fréquemment utilisé pour le nettoyage des grains dans les grands centres de stockage (Cruz et Havard, 1994). Il est schématiquement constitué de deux grilles planes animées d'un mouvement alternatif et traversées par un courant d'air (figure 6.19).

Les grains sont introduits dans une trémie d'alimentation et distribués en nappe régulière sur toute la largeur de l'appareil. À la sortie de la trémie d'alimentation, une première aspiration entraîne les impuretés légères dans une chambre de détente. Les bons grains sont toujours récupérés entre les deux grilles alors que la grille supérieure ou tamis émotteur retient les grosses impuretés et que la grille inférieure ou tamis cribleur laisse passer les impuretés fines et lourdes comme les sables ou les fines brisures. En sortie des grains propres, une seconde aspiration élimine les fines impuretés légères restantes.

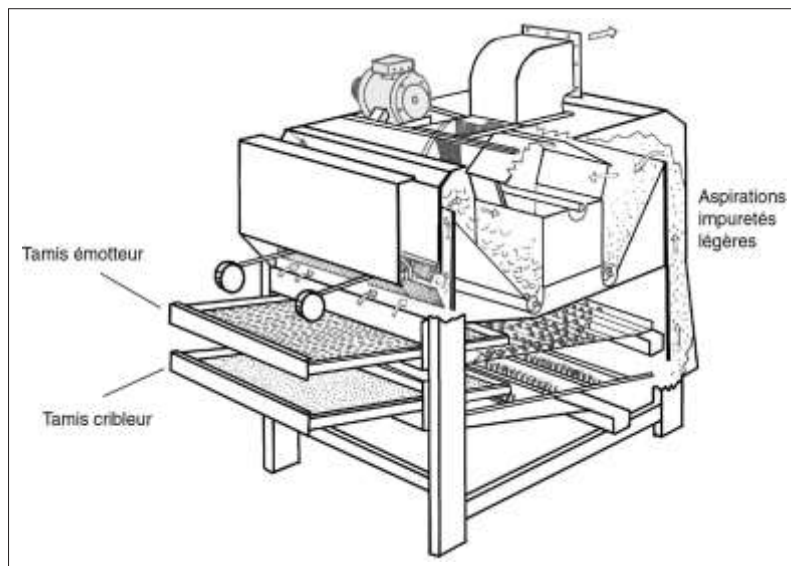


Figure 6.19.
Nettoyeur-séparateur (d'après doc. Dupuis).

Le choix des perforations de tamis est fonction du type de grains à nettoyer. Un dispositif de dégommage (boules caoutchouc, brosses) est prévu pour débarrasser les grilles des grains qui restent prisonniers dans les perforations. Les débits des nettoyeurs-séparateurs sont couramment de 5 à 25 t / h. Des débits supérieurs pouvant atteindre plusieurs dizaines de tonnes à l'heure sont obtenus avec des nettoyeurs équipés de deux caissons de grilles en parallèle.

II.9.3.1.5.LA VENTILATION DES GRAINS

La température est un facteur important de dégradation des grains stockés. Il a été rappelé (chapitre 1) que le dégagement de chaleur des céréales double lorsque leur température s'élève de 5 °C. Il faut donc refroidir les grains pour mieux les conserver. L'idéal serait de conserver les grains à une température inférieure à 10 à 15 °C ; ce qui est aisément réalisable dans les pays du Nord mais reste plus difficile à obtenir dans de nombreux pays du Sud. Dans tous les cas il faut chercher à utiliser les températures les plus basses dont on dispose et notamment les températures nocturnes pour refroidir les grains dès que l'écart de température entre les grains stockés et l'air ambiant est de 7 à 10 °C.

La ventilation de refroidissement est ainsi utilisée pour refroidir les grains et pour évacuer la chaleur produite par leur métabolisme. Elle est possible grâce à la porosité de la masse de grains dans laquelle près de 40 % du volume est occupé par des vides interstitiels.

Dans les cellules de stockage, l'air est envoyé dans les grains au moyen d'un ventilateur et de gaines de répartition d'air disposées en fond de cellule ou d'un faux fond perforé comme c'est le cas pour de nombreuses cellules cylindriques métalliques (figure 6.20).

Il est couramment admis qu'il faut une dose spécifique d'environ 1 000 m³ d'air pour refroidir un mètre cube de grains (Lasseran, 1982 ; Debouis et al., 2008). Dans les cas les plus courants, les débits moyens de ventilation de refroidissement sont de 10 à 20 m³ / h / m³ de grains pour les cellules où la hauteur des grains est de 10 à 20 m. Pour les cellules de plus grande hauteur, il faut diminuer ce débit de renouvellement de grains pour éviter de trop fortes pressions et un réchauffement excessif de l'air de ventilation. Il est éventuellement possible d'utiliser un air artificiellement réfrigéré mais cette solution est généralement coûteuse et ne peut se justifier que sur des filières particulières comme les semences.

Comme les échauffements ont souvent lieu à la partie supérieure des cellules, il existe des petits équipements qui permettent de ventiler localement un point chaud qui aurait pu être détecté jusqu'à environ 3 mètres de profondeur (Berhaut et al., 2003). Ces aérateurs de grains sont constitués d'un tube perforé, équipé d'un ventilateur, qui peut être vissé dans la masse de grains.

II.9.3.1.6.LA SILO THERMOMETRIE

La silothermométrie est la technique de mesure et de suivi des températures à l'intérieur d'un silo. Elle permet de gérer rationnellement la ventilation des stocks et de détecter les échauffements anormaux qui peuvent apparaître notamment en haut des cellules suite à des phénomènes de transfert de chaleur et de vapeur d'eau ou de développement d'insectes.

La silothermométrie est constituée d'un réseau de capteurs de température disposés de manière régulière dans les cellules de stockage. Ces capteurs de températures qui sont souvent des thermistances de précision sont disposés dans des câbles suspendus à la charpente et qui plongent dans la masse de grains. Les différentes sondes sont reliées à une centrale et à un tableau synoptique qui permet au gestionnaire des stocks de contrôler à souhait la température des stocks.

Cependant les grains ont une faible conductivité thermique et un échauffement qui ne serait pas situé à proximité d'une sonde peut ne pas être détecté. Dans la pratique, il est donc préconisé de faire une double scrutation thermométrique séparée d'une courte ventilation pour permettre la détection d'un éventuel point chaud par la sonde située immédiatement au-dessus (Lasseran, 1982). Certaines normes préconisent de disposer d'un point de mesure par sphère de rayon de 3 à 5 m avec recoupement des sphères. L'importance de disposer d'une sonde de capteurs dans l'axe des cellules a, par ailleurs, été démontrée.

Certains produits comme le maïs génèrent beaucoup de poussières et d'autres comme les oléagineux peuvent conduire, par fermentation, à la formation de gaz susceptibles d'accroître les risques d'explosion.

II.10. LES INSECTES DES STOCKS ET LES METHODES DE LUTTE

Les insectes d'entrepôt sont catégorisés soit comme ravageurs primaires soit comme ravageurs secondaires. Les insectes ravageurs primaires sont ceux qui sont capables d'envahir des grains non endommagés et de les infester, même s'ils se nourrissent également de grains endommagés. La plupart des ravageurs primaires sont également capables de lancer leurs attaques dans les champs, avant la récolte. Les ravageurs secondaires attaquent ou

s'établissent dans les grains qui ont déjà été endommagés ou attaqués par les ravageurs d'entrepôt.

En général, une température et une humidité relative élevées influent considérablement sur l'évolution des infestations chez les ravageurs primaires mais aussi pour les ravageurs secondaires. Les milieux combinant des températures entre 25°C et 34°C et une humidité relative d'environ 70 % sont considérés comme à risque. La teneur en humidité (th) des grains entreposés est également un facteur déterminant de la prévention des infestations d'insectes. Les grains séchés avec une teneur en humidité inférieure à 12 % freinent le développement de la plupart des espèces d'insecte ravageur, même si quelques espèces, telles que les aiguilloniers, restent une source de préoccupation importante même pour les grains exceptionnellement secs (<8 % mc).

Un grand nombre d'autres insectes peuvent apparaître plutôt couramment, et quelques fois abondamment, dans les grains de céréales entreposés en particulier quand ils ne sont pas suffisamment séchés ou qu'ils ont été fortement infestés par les principaux parasites.

II.10.1.RAVAGEURS PRIMAIRES

Le Charançon (*Sitophilus spp.*)

Caractéristiques : Il est l'un des parasites les plus dangereux pour les grains entiers. Il est caractérisé par un museau étroit (rostre) comme extension de tête et un corps marron brun à marron foncé.

Cultures attaquées : Il attaque les céréales, principalement le maïs, le sorgho, le riz et le blé. Il ne s'attaque pas aux petits grains tels que le millet, étant donné que la larve ne peut pas se développer complètement dans les petits grains. Il peut également se nourrir de manioc sec et d'aliments manufacturés.

Dégâts : L'infestation débute généralement dans les champs, où les oeufs sont pondus dans les grains intacts. Après récolte, les grains sont emmagasinés dans l'entrepôt où les larves sortent des grains en les grignotant, laissant un trou caractéristique. Les adultes comme les larves peuvent causer des dégâts, mais la plus grande partie des dégâts est due aux larves.



Le Grand Capucin du maïs (*Prostephanus truncatus*)

Caractéristiques : C'est un coléoptère perceur de bois indigène de l'Amérique centrale et qui s'est propagé en Afrique vers le début des années '80 après introduction accidentelle ; il est devenu l'un des plus importants ravageurs d'entrepôt dans les régions tropicales et subtropicales. Il est de couleur marron foncé ou noir. Il se reproduit dans les produits alimentaires secs tels que les tiges de maïs, les restes d'épi et le bois.

Cultures attaquées : Il est un parasite primaire hautement destructif pour le maïs entreposé en épi. L'impact a été si élevé dans les systèmes agricoles en Afrique que dans plusieurs pays l'entreposage d'épi a été découragé et remplacé par l'entreposage de maïs égrené, qui est

souvent traité. Le charançon des céréales à grand grain peut également se nourrir de manioc sec et de farine de céréale.

Dégâts : L'infestation débute souvent dans les champs avant la récolte et continue pendant l'entreposage, en particulier dans le maïs non égrené. Les larves mais aussi les adultes percent des trous ronds et nets dans les grains et se nourrissent des grains produisant de grandes quantités de poudre. Les pertes atteignent en moyenne jusqu'à 30 % pour le maïs entreposé.

Le Petit Perceur des céréales ou Petit (*Rhyzopertha dominica*)

Caractéristiques : Originaire de l'Amérique du sud, il se rencontre actuellement dans toutes les parties chaudes du monde. Ces petits coléoptères de couleur marron foncé à noir sont très voraces.

Cultures attaquées : Il est un parasite destructif de la plupart des grains de céréale entreposée incluant le millet, même si généralement il n'est pas courant sur le maïs. Il peut également se nourrir de manioc et d'autres produits farineux.

Dégâts : L'infestation débute dans les champs et les larves s'introduisent à l'intérieur des grains dans les systèmes d'entreposage où elles se développent. Les adultes et les larves percent des trous dans les grains et se nourrissent de l'endosperme. Ce processus crée beaucoup de poudre dont l'existence peut indiquer une forte infestation. Le parasite a une longue durée de vie et peut détruire chaque jour des grains d'un poids équivalent à huit fois son poids corporel.



La Teigne des céréales (*Sitotroga cerealella*)

Caractéristiques : C'est un insecte dangereux post-récolte, qui se rencontre couramment dans les entrepôts à céréales en épi en Afrique australe, en particulier peu après les récoltes. Les adultes ont des palpes labiales fortement incurvées, sont de couleur marron grisâtre pâle et ont une envergure alaire de 12 à 14 mm. Les chenilles se nourrissent et se métamorphosent en nymphe à l'intérieur des grains.

Cultures attaquées : Comme le charançon des céréales à petit grain, c'est un parasite considérablement destructif pour le millet ainsi que pour les céréales à grand grain, incluant le blé, l'orge, le maïs et le sorgho ; il peut également infliger de graves dégâts au paddy de riz non décortiqué. Il peut causer des dégâts primaires importants aux grains de céréale.

Dégâts : Elle attaque les céréales en cours de maturation dans les champs, puis, est généralement transportée à l'intérieur des céréales dans les entrepôts. La larve, après éclosion, perce des trous dans un grain et achève complètement son développement à l'intérieur de ce grain unique. Les infestations produisent beaucoup de chaleur et d'humidité, ce qui favorise la formation de moisissure et la prolifération de ravageurs secondaires.



Le Bruche du niébé (*Callosobruchus maculatus*)

Caractéristiques : C'est un coléoptère marron rougeâtre de la famille des bruches du haricot sec (Bruchides) qui vit en Afrique tropicale et subtropicale. Même s'il est principalement un parasite des champs, les oeufs et les larves sont emmenés à l'intérieur des grains dans l'entrepôt après récolte, tandis que les oeufs ont été pondus sur les légumineuses en cours de séchage et que la jeune larve se soit frayé un chemin à l'intérieur du grain ou de la semence.

Cultures attaquées : Toutes les légumineuses produites en Afrique australe telles que les haricots communs, les pois chiches et les doliques à oeil noir, sont susceptibles d'être attaqués par les bruchides en général, et par le bruche du niébé en particulier. Les bruchides sont également des parasites notables des aliments pour animaux à base de céréale, des farines et des issues de meunerie hautement protidiques.

Dégâts : Le bruche du haricot attaque couramment les légumineuses sèches. L'infestation peut débuter dans les champs où les oeufs sont pondus librement sur les cosses en cours de maturation. L'étape larvaire est la cause primaire des dégâts qui peuvent atteindre jusqu'à 90 % des légumineuses entreposées. Le cycle d'infestation peut être brisé dans les champs, par rotation des cultures, en évitant qu'un même type de culture soit cultivé dans le même champ au cours des saison successives correspondant à un cycle d'infestation.



II.10.2.LES INSECTES RAVAGEURS SECONDAIRES

Les insectes ravageurs secondaires se rencontrent dans les produits qui ont subi auparavant des dégâts physiques causés par une infestation primaire, ou pendant la mouture ou la manutention. Les insectes ravageurs secondaires les plus courants sont le *Tribolium* spp, et l'*Esphestia* spp.

Le Coléoptère rouge de la farine (*Tribolium* spp.)

Caractéristiques : Il vit dans la plupart des régions tropicales et subtropicales, incluant l'Afrique australe. C'est un coléoptère marron rougeâtre, et sa larve est blanche jaunâtre.

Cultures attaquées : Il attaque le maïs, l'arachide, le riz, le haricot, le pois, le sorgho et le blé. Il préfère les grains abîmés mais peut également attaquer les grains de blé entiers intacts **Dégâts**

: Les adultes mais aussi les larves se nourrissent tout d'abord du germe puis de l'endosperme. Ce parasite se rencontre généralement dans les installations à mauvaises conditions d'entreposage, ce qui permet aux insectes de proliférer. Cela entraîne une augmentation de la température dans l'entrepôt, favorisant davantage la prolifération des parasites. Les aliments peuvent prendre une coloration rosée quand un nombre important d'insectes sont présents.



La Teigne de l'amandier ou Teigne des entrepôts (*Ephestia* spp.)

Caractéristiques : Cette teigne se rencontre couramment dans les produits entreposés et les entrepôts d'aliment sous un large éventail de climats. La moitié externe de leurs ailes antérieures est de couleur bronze, cuivrée ou gris foncé, alors que la moitié supérieure est de couleur gris jaunâtre, avec une bande foncée à la jonction des deux.

Cultures attaquées : Elle infeste tous les types d'aliments secs tels que le maïs, le riz et le blé.

Dégâts : La larve se nourrit de l'extérieur sur les grains mais la plus grande partie des dégâts causés aux produits entreposés provient de la contamination par la quantité abondante de soie filée par la teigne, qui accumule également les boulettes fécales, les exuvies et les coquilles d'oeuf.

II.10.3. APPROCHE PREVENTIVE DE LA LUTTE CONTRE LES INSECTES GRANIVORES

Les bonnes pratiques de conservation des grains et graines (céréales, légumineuses, oléo-protéagineux) et produits dérivés (farine, semoule, tourteaux, issues diverses) reposent sur la prophylaxie, c'est-à-dire sur le nettoyage et l'assainissement des locaux et cellules ou récipients d'entreposage avant leur remplissage, l'aménagement des structures de stockage pour empêcher l'accès des déprédateurs et le raisonnement des interventions quand elles sont indispensables. Toutefois, la préservation à long terme des stocks de grains et de graines alimentaires entreposés en climat chaud est très difficile et le dépistage précoce et la surveillance continue de la présence d'insectes sont des éléments-clés de la prévention des risques d'infestation. Les mesures de prévention contre une infestation d'origine externe sont reprises ci-après.

II.10.3.1. NETTOYAGE ET VIDE SANITAIRE DANS LES LOCAUX ET LES CELLULES VIDES

C'est le plus souvent sur les lieux d'entreposage que les nouvelles récoltes sont infestées par les insectes nuisibles. Le nettoyage poussé des locaux d'entreposage, des cellules, récipients ou conteneurs de stockage vides et des greniers, accompagné d'un traitement de désinfestation des surfaces internes et externes est une précaution qui permet de réduire fortement les risques d'infestation après la mise en réserve des denrées après récolte. Les restes de stocks anciens doivent être systématiquement éliminés avant de réutiliser les structures de stockage pour y loger les nouvelles récoltes. Ces opérations de nettoyage poussé constituent la première étape de la démarche de protection antiparasitaire intégrée préconisée

dans les règlements nationaux ou internationaux sur l'hygiène des denrées alimentaires (Paquet hygiène des aliments de l'Union européenne ou Food Safety Modernization Act aux États-Unis, par exemple). Elle correspond au premier levier de la prévention des risques pour la qualité.

II.10.3.2.SECURISATION DES LOCAUX, DES STRUCTURES DE STOCKAGE ET DES ATELIERS DE TRANSFORMATION

Dans le cas de denrées saines au moment de la récolte, la principale mesure de prévention des risques de détérioration pendant la conservation consiste d'une part, à empêcher l'arrivée d'insectes venus de l'extérieur du local d'entreposage et d'autre part, à créer les conditions les plus défavorables possibles à la multiplication des insectes nuisibles. Pour remplir la première condition, les denrées doivent être stockées dans des locaux ou des récipients « étanches aux insectes ». Les locaux d'entreposage doivent être maintenus les plus frais possible, ce qui se passe naturellement dans le cas des installations de stockage enterrées ou les structures souterraines creusées dans la roche ou l'argile en climat sec (par exemple, matmora marocaine, ou silo dôme semi-enterré).

Dans un entrepôt traditionnel, la température ne devrait pas dépasser 18 °C pour réduire le taux d'accroissement des insectes à un niveau de risque acceptable sur le long terme. En effet, la plupart des espèces d'insectes des grains qui vivent dans les pays chauds ont un seuil thermique de développement rarement inférieur à 18 °C. À cette température, la durée de développement des insectes est de plusieurs mois, ce qui laisse le temps d'utiliser la denrée avant qu'elle ne soit considérée comme visuellement infestée.

Quand la structure de stockage peut être rendue hermétique, les risques d'une contamination venue de l'extérieur sont écartés et il devient plus facile d'appliquer des interventions correctives en cas de présence avérée d'insectes à l'intérieur (gazage, plantes aromatiques à propriétés insecticide ou insectifuge ou leurs huiles essentielles). De plus, la température est le facteur principal d'altération des semences en climat chaud et la capacité germinative ne peut être conservée que si elles sont maintenues à température modérée entre la récolte et leur utilisation. Pour éviter la détérioration des semences, la conservation au niveau villageois des semences dans des jarres en terre cuite, quelquefois enterrées partiellement dans le sol ou sous un abri isolant (en terre), rejoint cette préoccupation de les protéger contre les températures excessives.

II.10.3.3.METHODES ET OUTILS DE DETECTION PRECOCE ET DE SURVEILLANCE DES INFESTATIONS

Dans les principes de la démarche d'assurance de qualité sanitaire, la détection précoce des premiers insectes colonisant une denrée entreposée et la surveillance continue du niveau des populations est indispensable pour déterminer le seuil de densité d'insectes supportable économiquement. Les outils de détection rapide et de surveillance continue de l'activité ou des déplacements des insectes dans les denrées entreposées constituent le second pilier de la protection antiparasitaire intégrée des denrées stockées.

Les principaux outils disponibles sont :

- ✓ Les pièges à Coléoptères (rampants),
- ✓ Les pièges lumineux pour les insectes volants et
- ✓ Les pièges à phéromone pour les espèces de Lépidoptères qui sont insensibles aux rayonnements des pièges lumineux (pyrales des denrées).

Les pièges à Coléoptères peuvent être améliorés par adjonction de substances attractives ou par des phéromones d'agrégation (cas du piège utilisé pour la vrillette du tabac, *L. serricornis*). L'ensemble de ces préconisations (sanitation, lutte préventive et monitoring de la présence d'insectes en cours de conservation) s'applique également aux installations de stockage industriel de denrées alimentaires associées aux grandes métropoles ou à l'approvisionnement des usines des industries de transformation.

II.10.4. METHODES DE LUTTE DIRECTE EN CAS D'INFESTATION VISIBLE

La lutte contre les insectes nuisibles infestant les denrées stockées est complexe et doit être appliquée de façon réfléchie, dans le respect de la législation en vigueur (qui suit le principe de précaution) et en tenant le plus grand compte de la triple exigence de protection du consommateur, de l'environnement et la préservation des ressources naturelles (notion de « durabilité »). C'est une des raisons pour lesquelles, la lutte chimique avec application de spécialités insecticides à résidus persistants après le traitement, n'est autorisée que pour la protection des grains avant toute transformation.

Les insecticides chimiques de protection des grains après récolte sont des substances actives issues de la chimie organique de synthèse qui ont obtenu l'autorisation d'usage pour l'assainissement et la désinsectisation des locaux et récipients ou conteneurs d'entreposage vides, des usines de première transformation des céréales et la désinsectisation des grains. Les avantages de la lutte chimique contre les ravageurs des grains avec des insecticides à longue persistance d'action sont liés à son faible coût, sa facilité de mise en œuvre et à la durée de protection qui peut se prolonger plusieurs mois après le traitement, tant que la teneur en résidus actifs reste supérieure au seuil létal pour les insectes cibles (charançons, capucins, tribolium, silvains...). Mais l'usage régulier d'insecticides persistants comporte aussi de sérieux inconvénients comme la possibilité de créer des races résistantes et de laisser des résidus jusque dans les produits transformés et les aliments à base de céréales.

Le gazage des denrées stockées et des magasins d'entreposage par des gaz insecticides (phosphine, bromure de méthyle, acide cyanhydrique, fluorure de sulfuryle, etc.) peut être utilisé sur une gamme beaucoup plus grande de denrées à désinsectiser, du fait qu'il ne laisse aucun résidu nocif après l'opération de fumigation. Ainsi, les céréales en grains, les légumes secs, les fruits secs, les produits de première transformation des grains et graines, les balles de tabac, les fèves de cacao, les épices... peuvent être désinsectisés par fumigation à la phosphine pourvu que l'on puisse confiner les lots à désinsectiser dans une enceinte étanche, que celle-ci soit réalisée de façon temporaire (sous bâche étanche) ou permanente (chambre de fumigation, cellule ou local étanche).

Mais, le gazage étant très dangereux pour l'homme, les opérations de gazage doivent être réalisées par des opérateurs agréés ayant la formation, l'expérience et les qualifications

nécessaires pour pouvoir les réaliser en toute sécurité et en assurant la meilleure efficacité possible. En effet, après la fumigation, une fois les denrées désinsectisées sorties de l'enceinte de gazage, elles ne sont plus protégées d'une ré-infestation éventuelle, si des insectes sont présents dans l'environnement de leur nouveau lieu d'entreposage ou si certains stades des insectes présents dans la denrée ont survécu au gazage (cas des œufs ou des nymphes de Coléoptères qui sont plus tolérants à la phosphine que les adultes et les larves). Pour toutes les denrées transformées qui ne peuvent recevoir légalement d'application insecticide, il faut se tourner vers les méthodes de lutte physique ou mécanique en association avec les mesures de prévention exposées plus haut.

II.10.4.1. TRAITEMENTS INSECTICIDES AUTORISES SEULEMENT SUR LES GRAINS

La lutte chimique autorisée pour la protection insecticide des grains bruts (issus de récolte, sans transformation autre que le séchage) englobe l'usage des insecticides naturels et des substances actives issues de chimie organique de synthèse, tirées des produits du pétrole. Les produits naturels sont appelés des phyto-insecticides ou produits de biocontrôle, tandis que les produits de synthèse chimique sont appelés communément pesticides.

II.10.4.1.1. UTILISATION DE PHYTO-INSECTICIDES ET AUTRES PRODUITS NATURELS

L'utilisation des extraits végétaux en protection des denrées entreposées a été expérimentée dans tous les pays en développement dans lesquels l'accès aux spécialités insecticides de l'agrochimie était limitée ou inaccessible financièrement. Certaines plantes aromatiques de climat méditerranéen ou subtropical contiennent des huiles essentielles à propriétés insecticides avérées. Les plus actives sont les essences de menthe, d'origan, de cannelle, de pyrèthre, de moutarde, de romarin, d'eucalyptus, d'écorces d'agrumes, de feuilles et graines de neem, de clous de girofle, de fleur de tagète... qui contiennent des terpènes plus ou moins volatils et qui agissent principalement par inhalation. Certains composés présents dans ces huiles essentielles provoquent la mort des insectes par intoxication directe par la voie respiratoire (par exemple, l'essence de moutarde), par leur activité ovicide et larvicide et/ou en réduisant l'activité reproductrice des espèces ciblées.

Toutefois, l'utilisation des extraits végétaux volatils présente quelques inconvénients majeurs qui ont limité leur emploi, tant en pays développés qu'en pays en développement :

- ✓ La plupart des huiles essentielles ont une persistance d'action limitée en relation avec leur tension de vapeur ce qui oblige à répéter les traitements régulièrement pour assurer une protection des lots de grains et graines stockés à long terme ;
- ✓ Chaque huile essentielle est plus ou moins spécifique d'une espèce d'insecte cible ce qui nécessite de bien connaître les espèces d'insectes à combattre, ainsi que le spectre d'activité insecticide des huiles essentielles disponibles et autorisées à l'emploi ;
- ✓ La composition en principes actifs de chaque huile essentielle d'origine différente est susceptible de varier dans de larges limites selon la région de culture de la plante, le stade de récolte, le procédé d'extraction et la formulation finale, ce qui empêche tout développement d'une spécialité commerciale.

Aussi, beaucoup de ces plantes à huiles bio-insecticides (feuilles de neem, de thym, d'origan, branches de romarin, clous de girofle, graines de moutarde) sont utilisées directement incorporées dans les lots de grains confinés en conteneurs étanches pour éviter une disparition trop rapide des principes actifs volatils dans toutes les situations où les autres moyens de protection sont indisponibles ou inaccessibles économiquement. Les huiles essentielles ont également été prospectées pour leurs propriétés répulsives vis-à-vis des insectes nuisibles, notamment les insectes vecteurs de maladies graves (moustiques, mouches, poux, puces).

II.10.4.1.2.UTILISATION DES INSECTICIDES ORGANIQUES DE SYNTHESE

Les produits insecticides contenant une substance active autorisée pour le traitement des grains et graines alimentaires sont des organophosphorés ou des pyréthriinoïdes. Dans chacune de ces deux familles d'insecticides, le nombre de substances actives qui sont autorisées pour fabriquer des spécialités commerciales insecticides destinés à une application directe sur les grains est extrêmement limité.

II.10.4.2. UTILISATION DES GAZ INSECTICIDES POUR LA FUMIGATION

II.10.4.2.1.DOMAINE D'UTILISATION DES GAZ INSECTICIDES

Dans le cas où une structure étanche aux gaz est disponible, la désinfestation par gazage (appelée plus couramment fumigation) d'un stock de grains est réalisable en vue d'une éradication complète des insectes, quel que soit leur stade de développement. Le gaz pénètre profondément à l'intérieur des grains et tue les formes cachées, larves, nymphes et adultes pré-émergents, sans laisser de résidus dans le grain. La fumigation proprement dite consiste à maintenir la denrée à désinsectiser dans une enceinte étanche le temps nécessaire pour l'intoxication complète (par inhalation du gaz) des insectes présents dans les lots de grains, graines ou denrées agricoles non transformées à désinsectiser. Le gazage peut s'effectuer en enceinte étanche spécialisée (chambre de fumigation homologuée, autoclave de désinsectisation, chambre de gazage) ou non spécialisée (un fût ou un conteneur en plastique à fermeture hermétique, sous bâche en plastique étanche spéciale gazage recouvrant intégralement le lot de grains à désinsectiser, dans un local ou une pièce étanchée temporairement).

Les gaz homologués pour la fumigation des grains étant toxiques aussi pour l'homme, l'opération de gazage ne peut se pratiquer qu'en conditions drastiques de protection contre le risque d'asphyxie respiratoire. On doit également prendre des mesures de sécurité pour éviter les intrusions intempestives pendant la période durant laquelle la denrée doit rester confinée dans l'enceinte sous gaz pour que la désinsectisation soit effective. La fumigation se pratique donc logiquement pour le traitement de stocks commerciaux de denrées alimentaires sensibles à l'infestation par les insectes et destinées aux marchés contractuels (prévoyant une fumigation avant expédition vers leur destinataire), le plus souvent dans le cadre de l'exportation.

II.10.4.2.2.DOMAINE D'UTILISATION DE LA FUMIGATION ET PERSPECTIVES

La phosphine, ou hydrogène phosphoré (PH₃) est venue remplacer le bromure de méthyle (CH₃Br) qui était utilisé en chambre de fumigation ou sous bâche en plastique pour de multiples usages en désinsectisation (éradication des insectes de quarantaine, désinsectisation des cales de bateau avant le chargement, désinsectisation des cargaisons de grains, graines, fruits secs... en transit pendant le transport maritime des marchandises, désinsectisation complète des usines de transformation de denrées alimentaires...), jusqu'à son interdiction totale dans les pays développés depuis l'année 2005. Le mode d'emploi de la phosphine (qui est en grande partie à l'origine de son succès mondial) est simple et sûr pour l'opérateur : le gaz se dégage progressivement d'un générateur solide (pilule, comprimé ou sachet) à base de phosphore d'aluminium ou de magnésium quand celui-ci est mis au contact de l'humidité de l'air. Le générateur se délite en quelques heures en laissant après diffusion un résidu inerte de sels d'aluminium ou de magnésium. Dans ces cellules de stockage de plusieurs mètres de hauteur, la répartition du gaz sur la totalité de la hauteur du grain peut être accélérée à l'aide d'un système de recirculation forcée extérieur.

II.10.4.2.3.INCONVENIENTS DES PESTICIDES ET RISQUES POUR L'UTILISATEUR

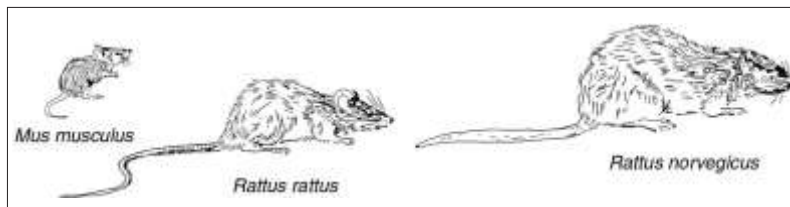
Le principal inconvénient de l'usage régulier de pesticides pour la lutte contre les ravageurs des cultures est l'apparition et la multiplication de races d'insectes résistantes aux substances actives le plus régulièrement utilisées (Champ et Dyte, 1976). Ces populations résistantes peuvent devenir invasives en quelques années. Les cas de résistance les plus inquiétants sont ceux qui se généralisent en quelques années au monde entier, comme *Tribolium castaneum* qui a acquis une résistance généralisée au lindane et au malathion, deux insecticides très utilisés antérieurement pour la protection des stocks de grains et des graines. Un autre exemple est celui du capucin des grains, *Rhizopertha dominica*, qui a également développé une résistance généralisée aux insecticides organophosphorés et à la phosphine. L'usage régulier de fumigations à la phosphine des grains entreposés pour l'éradication des ravageurs primaires (bruchidés des légumineuses, par exemple) en vue de la commercialisation sur les marchés nationaux ou d'exportation, a également provoqué l'apparition de populations d'insectes résistants, en particulier avec la bruche du niébé et du pois chiche, *C. maculatus*.

II.11. LA LUTTE CONTRE LES RONGEURS

Les rongeurs sont des ravageurs importants des cultures et des stocks. Quelles que soient la température et l'humidité des grains, ils peuvent provoquer des pertes considérables au cours du stockage, non seulement en consommant les produits, mais aussi en les souillant de leurs déjections et en endommageant les structures de stockage et les emballages (sacs...). Sur un plan sanitaire il est également important de les combattre car ils sont souvent vecteurs de maladies. Pour lutter contre les rongeurs, il est important de bien connaître leur biologie car il est plus efficace et moins onéreux de prévenir les dégradations que de les combattre.

II.11.1. PRINCIPAUX RONGEURS DEPREDATEURS DES STOCKS

Il existe de très nombreuses espèces de rongeurs dont certaines dites commensales ou synanthropes vivent aux dépens des hommes. C'est le cas notamment des souris et des rats de la famille des Muridés et dont les espèces les plus invasives et les plus courantes sont la souris *Mus musculus*, le rat noir *Rattus rattus* et le rat d'égout *Rattus norvegicus* (figure 8.1).



Il existe également des espèces ayant une grande importance régionale. Les rats à mamelles multiples (*Mastomys*) sont des petits rongeurs brun fauve présents depuis l'Afrique du Sud jusqu'en Afrique subsaharienne qui peuvent occasionner des dégâts importants lorsque se produisent des pullulations en raison de la fécondité élevée de ces rongeurs. Le rat roussard, *Arvicanthis niloticus*, est un rat de taille moyenne de couleur fauve gris surtout présent dans les zones humides et les villages de la vallée du Nil et au Sahel. En Amérique du Sud, on rencontre *Calomys laucha* et *Akodon azarae* qui sont surtout des souris champêtres. En Asie, le rat bandicot *Bandicota bengalensis* est un gros rat nocturne au pelage sombre qui sévit du Pakistan à l'Indonésie. Ce rat occasionne des dégâts en consommant les denrées entreposées mais également, par son caractère fouisseur, en dégradant les structures de stockage. En Asie du Sud-Est, et dans les îles du Pacifique, le rat polynésien, *Rattus exulans*, est un petit rat long et fin au pelage gris-brun qui est considéré comme un important nuisible.

La principale caractéristique de tous les rongeurs est d'avoir des incisives tranchantes à la croissance continue qu'ils doivent user constamment en rongant toutes sortes de matériaux.

La souris

La souris grise domestique, *Mus musculus*, est un animal de petite taille (de 7 à 10 cm et de 15 à 30 g) très connue des hommes car elle vit surtout dans les zones habitées. Considérée comme le mammifère le plus répandu dans le monde, elle est le commensal le plus fidèle de l'homme. Elle est omnivore et se nourrit des aliments de l'homme, dont les grains, mais elle peut aussi attaquer divers produits comme le papier, le tissu, le plâtre, le savon... Elle vit en groupe mais ses mœurs très vagabondes, la rendent difficile à combattre.

Le rat noir

Le rat noir, *Rattus rattus*, est également appelé rat des bateaux ou rat des toits. C'est un animal originaire du sud-est de l'Inde, cosmopolite comme la souris, qui a progressivement envahi tout le globe grâce, en partie, aux trafics commerciaux. Il était courant de considérer que toute denrée débarquée dans un port apportait avec elle sa cargaison de rats.

Le rat noir mesure de 15 à 20 cm et pèse environ 90 à 150 g. Le corps est fin, le museau pointu, les oreilles grandes et minces, la queue plus longue que le corps et la tête. Le rat noir est un rat « acrobate » qui niche dans les parties élevées des habitations, des greniers ou des magasins. Le rat noir est très présent dans les régions chaudes et notamment en Afrique et moins fréquent dans les régions froides ou tempérées d'Europe où il a été supplanté par le rat d'égout dès la fin du Moyen Âge.

Le rat d'égout

Également appelé surmulot, ce gros rat, *Rattus norvegicus*, originaire d'Asie, est présent aujourd'hui sous toutes les latitudes grâce à sa grande faculté d'adaptation. Le rat d'égout, plus gros que le rat noir, mesure de 20 à 25 cm et pèse en moyenne 350 g. Le corps est trapu, le museau court, les oreilles petites, la queue est plus courte que la tête et le corps.

Ce « rat des villes » vit en colonies dans des endroits qu'il préfère humides comme les bords des rivières ou des ruisseaux, les caves ou les égouts. Plutôt craintif et casanier, il se déplace en suivant toujours les mêmes pistes qui peuvent être reconnues aux dépôts graisseux qu'il laisse par frottement sur les herbes, le sol, les murs, etc.

Quelques caractéristiques des principaux rongeurs des stocks sont rappelées dans le tableau 8.1.

Caractéristique	Souris <i>Mus musculus</i>	Rat noir <i>Rattus rattus</i>	Rat d'égout ou surmulot <i>Rattus norvegicus</i>
Poids (g)	15 à 30	90 à 150	300 à 400
Longueur (cm) (sans la queue)	7 à 11	15 à 20	20 à 25
Queue	Égale la tête et le corps	Plus longue que la tête et le corps	Plus courte que la tête et le corps
Oreilles	Grandes avec quelques poils	Minces, grandes, translucides, sans poils	Épaisses, courtes, opaques, à poils fins
Museau	Pointu	Pointu	Court
Couleur	Variable, gris brunâtre	Noir, gris, brun ou roux, parfois avec ventre blanc	Gris, brun, parfois noir avec ventre gris
Mœurs	Fait parfois des terriers, bonne grimpeuse, ne réagit pas beaucoup devant les objets nouveaux. Habitudes assez vagabondes.	Fait des terriers, grimpeur agile, réagit à des objets nouveaux, apprécie les endroits secs. Habitudes assez vagabondes.	Fait des terriers, bon nageur, manifeste une réaction devant les objets nouveaux, vit beaucoup dans les égouts. Habitudes peu vagabondes.
Localisation	Dans les villes et les campagnes	Partout dans le monde, sauf dans les villes et zones les plus froides	Surtout dans les ports, les gros bourgs et les villes

II.11.2.DEGATS CAUSES PAR LES RONGEURS

Les rongeurs occasionnent des dégâts sur les récoltes sur pied et dans les stocks de grains. Les céréales stockées en épis en sacs ou en vrac constituent des réserves importantes de nourriture sur un espace réduit et représentent un milieu favorable à leur développement. La présence d'une nourriture abondante et facile d'accès reste un des premiers facteurs qui conditionnent l'installation d'une colonie de rongeurs.

Une estimation des quantités de nourriture consommées quotidiennement et annuellement par différents types de rongeurs est donnée dans le tableau 8.2. (Brooks et Fiedler, 1999).

Tableau 8.2. Quantité d'aliments consommés quotidiennement et annuellement par quelques rongeurs.

Rongeur	Consommation journalière (g)	Consommation annuelle (kg)
<i>Rattus norvegicus</i>	15 - 25	6 - 9
<i>Bandicota bengalensis</i>	15 - 25	6 - 9
<i>Rattus rattus</i>	8 - 12	3 - 4
<i>Rattus exulans</i>	5 - 8	2 - 3
<i>Arvicanthis niloticus</i>	5 - 8	2 - 3
<i>Mastomys natalensis</i>	5 - 8	2 - 3
<i>Calomys laucha</i>	3 - 5	1 - 2
<i>Akodon azarae</i>	3 - 5	1 - 2
<i>Mus musculus</i>	2 - 3	0,7 - 1

Même si l'on considère que les pertes dues aux rongeurs sont conséquentes, l'estimation des dégâts est toujours très difficile. C'est surtout au niveau des stocks villageois que les pertes seraient sensibles et visibles. Il est souvent admis qu'un rongeur consomme jusqu'à 10 % de son poids par jour. Si l'on considère par exemple qu'un grenier paysan de 1 tonne de grains est l'objet d'attaques d'une vingtaine de rats aux mamelles multiples (*Mastomys*), la part annuellement consommée par les rongeurs peut être estimée à 60 kg soit une perte de 6 %. Mais les pertes occasionnées peuvent être cinq fois supérieures aux stricts besoins alimentaires des rongeurs (Poché et al., 1981).

En effet, ils déprécient fortement les denrées par les souillures qu'ils y déposent (urines, fèces, dépôts graisseux...). Des premières estimations de pertes dues aux rongeurs dans les stocks familiaux ou villageois ont été publiées en 1976 (Hopf et al., 1976). Elles sont répertoriées dans le tableau 8.3.

Dans la plupart des cas, les pertes dues aux rongeurs semblent varier de 0,5 à 10 % avec des valeurs fréquentes de 3 à 5 %. Des études réalisées en Inde en 1976 ont montré qu'après six mois de stockage les pertes en poids de paddy stocké dans des greniers villageois en pailles tressées

étaient de 6,2 %, dont une part de 3,1 % due aux rongeurs et 2,3 % aux insectes avec cette même proportion pour du paddy stocké en sacs.

Dans les grands centres de stockage, les pertes sont souvent moins importantes mais les magasins de stockage en sacs restent beaucoup plus vulnérables à l'attaque des rongeurs que les silos de stockage en vrac. Si l'on considère par exemple qu'un magasin de 1 000 tonnes de grains est l'objet d'attaques d'une colonie de surmulots d'une centaine d'individus, la part annuellement consommée par les rongeurs peut être estimée à 1 tonne de grains (10 kg par individu au maximum) soit une perte de 0,1 %. Cette perte pondérale peut paraître faible mais les dégâts engendrés sont souvent plus importants. Des sacs rongés peuvent faciliter l'écoulement des grains et entraîner l'écroulement des piles de sacs dans le magasin et d'éventuelles destructions de la structure (murs éventrés...). Dans les centres de stockage en vrac, les rongeurs peuvent occasionner des dégâts matériels importants en s'attaquant aux circuits d'eau et surtout aux circuits électriques des installations. Certains considèrent que 25 % des incendies d'origine inconnue sont dus à des courts-circuits provoqués par les rongeurs (Grolleau et Gramet, 1982).

Enfin, il est connu que les rongeurs sont vecteurs ou réservoirs, par leurs parasites (puces, vers...), de maladies dangereuses pour l'homme et les animaux domestiques comme la peste, les fièvres hémorragiques (Lassa...), la leptospirose, les leishmanioses... La présence de rongeurs dans les habitations et les structures de stockage est donc à prendre très au sérieux en raison des dangers potentiels qu'ils génèrent pour la santé humaine et celle des animaux domestiques (Grolleau et Gautun, 1990).

II.11.3.LUTTE CONTRE LES RONGEURS

II.11.3.1.LA LUTTE PREVENTIVE

La lutte contre les rongeurs doit d'abord être préventive avant d'être active et curative. Elle consiste essentiellement à créer un milieu défavorable à l'installation ou à l'attaque des rongeurs en prenant en compte certaines caractéristiques de leur biologie et de leur comportement.

II.11.3.1.1.RAPPEL DE QUELQUES APTITUDES PHYSIQUES DES RONGEURS

Certains rongeurs comme le rat noir, le rat polynésien et la souris sont d'excellents grimpeurs. Ils escaladent avec facilité les surfaces relativement rugueuses mais ont du mal à progresser verticalement sur les surfaces lisses. Ils ne peuvent pas franchir une plaque métallique lisse de 30 cm de longueur d'où l'intérêt des cônes ou des bandes métalliques de protection. Les rongeurs sont également de bons sauteurs mais pas à plus de 75 cm en hauteur et 1,5 m en longueur. Les rongeurs creusent des galeries dans le sol mais généralement à une profondeur qui ne dépasse pas 40 cm même si certains comme le rat bandicot peuvent creuser leur terrier jusqu'à 1 m. Les rongeurs sont capables d'atteindre les stocks en passant par de très petites ouvertures mais la plupart ne peut pas traverser un maillage métallique de 1 cm. Avec leur

besoin incessant de ronger, ils peuvent s'attaquer aux canalisations en plomb, en étain ou en plastique et même ronger le béton.

II.11.3.1.2.MESURES DE PROTECTION AU NIVEAU DES STRUCTURES DE STOCKAGE

Les structures de stockage doivent être conçues et construites avec des protections infranchissables par les rongeurs. Les greniers villageois construits sur pilotis ou les cribs peuvent être efficacement protégés de l'attaque des rongeurs par des cônes métalliques ou des cylindres de tôle de 40 cm de longueur (figure 3.7). Il reste néanmoins indispensable que la base du grenier ou du crib soit située à plus de 75 cm du sol pour éviter que les rongeurs n'y accèdent en sautant. Il est également nécessaire que l'espace autour des greniers soit totalement dégagé en coupant les branches qui les touchent ou les surplombent.

Au niveau des centres de stockage, les principaux points d'entrée des rongeurs dans les magasins sont les portes, les ouvertures d'aération ou tout orifice de ventilation, la toiture, les espaces entre les murs et le toit... Ils peuvent aussi accéder aux bâtiments en empruntant les canalisations d'évacuation des eaux de pluie ou les câbles d'alimentation électrique. Tous ces points d'entrée potentielle doivent être correctement protégés.

Les portes à battants assurent une bonne fermeture et offrent en général une très bonne protection contre les rongeurs lorsqu'elles sont bien ajustées. Si elles sont construites en bois, elles doivent alors être recouvertes en partie inférieure d'un feuillard métallique pour éviter qu'elles ne soient rongées (figure 8.2).

Les portes coulissantes sont plus facilement franchissables par les rongeurs. Une protection simple consiste alors à placer des petites plaques métalliques de 1 m de hauteur sur les montants de la porte et sur la porte elle-même de manière à ce qu'ils viennent en contact lors de la fermeture (figures 8.3 et 8.4)

Les fenêtres ou ouvertures d'aération des magasins de stockage doivent être protégées par des grilles ou des grillages dont la maille est inférieure à 10 mm (figure 5.4).

Les câbles électriques doivent être protégés par des manchons ou des disques métalliques et les descentes d'eau de pluie doivent être équipées d'un panier métallique ou d'une collerette qui empêche la progression des rongeurs (figure 8.5).

La toiture doit être régulièrement inspectée et les espaces entre le haut des murs et la toiture doivent toujours être parfaitement obturés avec du béton.

II.11.3.1.3.MESURES DE PROTECTION PAR L'HYGIENE DES LOCAUX DE STOCKAGE ET DES ABORDS

On constate fréquemment que les rats affectionnent les tas de détritiques ou d'ordures où ils trouvent à la fois le gîte et le couvert. D'un naturel craintif et détestant les espaces vides, les rats cherchent à se cacher des prédateurs potentiels en se réfugiant derrière tous les types d'amoncèlement qui peuvent avoir été négligemment constitués à proximité des locaux de stockage. Les tas de ferraille ou de bidons, les tas de bois, les vieux pneus, les broussailles sont

autant de caches au travers desquelles les rats créent des pistes pour s'approcher au plus près des stocks.

Dans la lutte préventive contre les rongeurs, il est donc primordial d'évacuer tous les objets qui pourraient avoir été déposés ou abandonnés à l'intérieur même des magasins et de supprimer tous les dépotoirs qui pourraient exister à proximité des greniers ou des centres de stockage. Les abords des installations doivent être parfaitement dégagés et régulièrement entretenus en coupant les herbes et les broussailles et en évacuant tous les dépôts de manière à obtenir une large bande de terrain parfaitement nette et propre tout autour des bâtiments ou des greniers. Les arbres à proximité des greniers doivent être abattus ou équipés d'un manchon métallique sur le tronc. De façon générale on doit supprimer ou contrôler tous les « ponts » qui peuvent permettre aux rongeurs d'atteindre les denrées stockées.

Ces différentes mesures de protection, souvent peu onéreuses et d'une mise en œuvre aisée, doivent être strictement observées dans la lutte contre les rongeurs.

II.11.3.2.LA LUTTE ACTIVE ET CURATIVE

En complément à la lutte préventive, il peut être nécessaire de procéder à une lutte active et curative pour éviter toute prolifération de rongeurs dans les stocks de grains. La lutte active comprend la lutte biologique, la lutte physique et la lutte chimique, qui sont parfois utilisées simultanément.

✓ La lutte physique

La lutte physique comprend principalement le piégeage et l'utilisation d'ultrasons. Le piégeage est une technique très ancienne qui n'est plus guère utilisée car ses effets sont limités à la capture de quelques individus seulement. Les pièges utilisés sont des tapettes, des pièges électriques ou électroniques, des pièges à glu, des nasses, des trappes à guillotine... Le piégeage présente l'intérêt de pouvoir identifier correctement l'espèce de rongeurs qui s'attaque aux stocks.

Les rats comme beaucoup de petits animaux ont une faible acuité auditive de localisation des sources de sons mais peuvent entendre les ultrasons. Les rats sont eux-mêmes capables de produire des sons à haute fréquence de 20 à 50 kHz. Certains ont donc pensé que l'émission d'ultrasons pourrait avoir une action répulsive sur les rongeurs et être un moyen efficace pour éloigner les rats. Les résultats de certaines études semblent montrer l'inefficacité de cette technique. Les ultrasons sont de courte portée et sont atténués par les objets, les piles de sacs, les parois... Les rongeurs peuvent être éloignés quelques temps mais ils s'habituent aux ultrasons émis et reviennent rapidement prendre possession des lieux (Timm, 1994).

✓ La lutte chimique

Pour une lutte curative, c'est la lutte chimique qui est actuellement considérée par beaucoup comme la plus efficace. Les produits chimiques utilisés sont qualifiés de raticides ou rodenticides. Ces produits ont longtemps été classés en deux groupes distincts : les poisons violents et les anticoagulants.

La liste des poisons était assez variée et comprenait l'anhydride arsénieux (mort aux rats), le phosphore de zinc, les sels de thallium, la strychnine, l'Antu (1-naphtalényl-thiourée), la scille

rouge (glycoside extrait de la plante *Urginea maritima*, à effet émétique)... Ces poisons aigus avaient pour principal défaut de provoquer la mort violente et immédiate de quelques individus, suscitant alors la méfiance de toute la colonie de rongeurs à l'égard des appâts. La dangerosité de tels poisons envers les êtres humains et les animaux domestiques a conduit à leur interdiction dans de nombreux pays. Le phosphore de zinc est un poison cellulaire encore utilisé dans certains pays de même que la scille rouge qui est un cardiotoxique qui agit avec un certain retard. Enfin l'alphachloralose est un neurotoxique parfois encore utilisé comme raticide.

Aujourd'hui les sont les anticoagulants principaux rodenticides utilisés ou antivitamines K qui agissent sur le système sanguin en empêchant le sang de coaguler lors de saignements. L'absorption d'anticoagulants provoque la mort lente des rongeurs par des hémorragies internes spontanées. Comme l'intoxication est mortelle plusieurs jours après l'ingestion des toxiques, elle n'éveille pas la méfiance des autres congénères (Buckle et Smith, 1994).

Les premiers anticoagulants utilisés à partir de la moitié du XXe siècle ont été le coumafène, le coumatétralyl et la chlorophacinone. Des phénomènes de résistance à ces anticoagulants de première génération ont conduit à l'utilisation de nouveaux produits comme la bromadiolone ou le difénacoum mais de nouveaux phénomènes de résistance seraient également apparus avec ces produits (Quéré et Le Louarn, 2011). De nos jours on conseille souvent l'utilisation d'anticoagulants de dernière génération comme le brodifacoum, la diféthialone ou le flocoumafène qui sont toxiques en peu d'ingestions. Mais leur usage est parfois restreint à l'intérieur des bâtiments pour éviter le transfert vers la faune non cible (Jacquot, 2013).

Dans de nombreux pays, l'emploi des anticoagulants est de plus en plus critiqué et limité en raison des risques qu'ils font courir aux animaux domestiques (chats, chiens..) ou sauvages comme les renards, les sangliers et les rapaces nécrophages (vautours, milans...).

L'appâtage

Les rodenticides sont proposés à la consommation des rongeurs sous la forme d'appâts qui doivent être attirants pour les rongeurs. Ils sont souvent mélangés à des grains auxquels on peut ajouter différentes substances comme du sel, du sucre ou de l'huile pour en améliorer l'appétence. Les opérateurs peuvent aussi utiliser des appâts prêts à l'emploi sous la forme de plaquettes hydrofuges notamment pour lutter contre le surmulot qui affectionne les endroits humides. Les appâts empoisonnés doivent être placés dans des postes d'appâtage placés sur le parcours des rongeurs entre leur gîte et les denrées entreposées. Ces postes qui ne doivent pas être accessibles aux animaux domestiques sont souvent constitués d'abris simples.

Le traitement consiste à placer 100 g d'appâts en permanence dans des postes d'appâtage dont le nombre et la disposition dépendent du type de structure de stockage des grains et de l'importance de l'infestation supposée. Puis tous les postes doivent être contrôlés tous les jours et réapprovisionnés au besoin. Si l'appât a été consommé en partie, il est nécessaire de remplacer la partie consommée. Si l'appât a été totalement consommé, il est alors conseillé de doubler son volume. Ce contrôle a lieu pendant une dizaine de jours et peut être stoppé dès que les appâts ne sont plus consommés pour reprendre aux premiers signes de présence de rongeurs.

Une autre technique dite d'appâtage cyclique est parfois préconisée pour permettre de réaliser des économies d'appâts. Elle consiste à réaliser un premier appâtage de un à trois jours, selon la toxicité du rodenticide utilisé, pour éliminer les individus dominants qui se nourrissent en premier. Puis on interrompt pendant une semaine avant d'initier un deuxième cycle pour détruire une nouvelle série d'individus et ainsi de suite jusqu'à l'extinction de la colonie de rongeurs (Posamentier, 1994).

Les rodenticides restent des produits dangereux qu'il faut manipuler avec précaution en utilisant des gants et des récipients spécifiques portant la mention « Danger : poison ». Les emballages doivent être détruits après utilisation. En agriculture biologique, l'utilisation de produits rodenticides chimiques est tolérée uniquement dans les locaux avec obligation d'utiliser des boîtiers évitant toute dispersion accidentelle (Arvalis, 2003).

II.12. LES MOISSURES

Plusieurs milliers d'espèces de moisissure (microchampignons) sont connues, et sont présentes presque partout à cause de la propagation très rapide des spores. Les spores sont largement disséminées par le vent, et quand elles tombent sur des substrats aux conditions appropriées de température et d'humidité, elles se développent extrêmement vite. Les moisissures sont extrêmement omniprésentes, et peuvent se développer en aérobie ainsi que dans des environnements où il n'y a que très peu d'oxygène. Certaines moisissures sont même anaérobiques. La formation de moisissure se produit sur les produits agricoles de base dans les champs mais aussi pendant l'entreposage, en causant d'énormes dégâts. Les principaux effets de l'infestation de moisissure sont la perte de nutriments, l'altération de couleur et d'odeur, l'agglutination des grains, et la détérioration de la capacité de germination dans le cas des semences. Un grand nombre de moisissures sont connues pour produire naturellement des mycotoxines, qui représentent un danger potentiel si elles sont consommées par des êtres humains ou des animaux. Les mycotoxines les plus dangereuses sont les aflatoxines, qui peuvent être mortelle. Les aflatoxines peuvent se trouver dans tous les grains qui ont été attaqués par les moisissures, et ne peuvent être détruites ou éliminées par la cuisson ou le chauffage des grains. Il existe de simples kits à utiliser sur le terrain pour déceler la présence d'aflatoxines dans les grains entreposés.

Les conditions optimales de croissance pour les moisissures sont à une température de 21-32°C et une humidité relative entre 65 et 90 %. La méthode la plus facile pour prévenir la formation de moisissures pour les petits exploitants agricoles est de sécher les produits à entreposer jusqu'à atteindre une teneur en humidité sans risque. Néanmoins, une température réduite combinée à une faible humidité est plus efficace que le simple séchage dans la prévention de la bio-détérioration par les moisissures. Pour cela, il faut assurer une bonne ventilation et une bonne aération qui permettent de rafraîchir la température de l'entrepôt et de réduire la possibilité de transfert entre grains. Il faudra en tenir compte lors de la sélection d'un entrepôt.



III. CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES

Avant la récolte, leur qualité reste relativement stable s'ils n'attrapent pas de maladie ou ne sont pas mangés par des insectes ou d'autres animaux. Mais on ne peut pas retarder la récolte indéfiniment : quand le moment est venu, il faut agir. Dès que les fruits et les légumes sont séparés de leur source naturelle de substances nutritives, leur qualité se met à diminuer. Cela est dû à un processus naturel qui démarre dès que le cycle biologique est interrompu par la récolte. Le produit agricole n'est ensuite consommable que pendant une durée limitée variant de quelques jours à quelques semaines. Il commence alors à se détériorer, à pourrir. Il y a plusieurs types de détérioration :

1. La détérioration physique
2. Le vieillissement physiologique
3. La détérioration due à des insectes ou à des rongeurs
4. Le dégât mécanique
5. La détérioration chimique et enzymatique
6. La détérioration microbienne

La détérioration physique est provoquée par exemple par la déshydratation. Le vieillissement physiologique se produit dès que le cycle biologique est interrompu par la récolte. Ces deux processus sont inévitables mais on peut les retarder en stockant les produits agricoles dans un lieu sec et à l'abri des courants d'air, à une température la plus basse possible.

Les insectes et les rongeurs provoquent beaucoup de dégâts, non seulement en mangeant les produits mais aussi en leur transmettant des micro-organismes qui se trouvent dans leurs poils ou leurs excréments. Les parties infectées des plantes sont alors particulièrement sensibles aux maladies.

La détérioration chimique et enzymatique se produit surtout lorsque les légumes et les fruits se sont abîmés en tombant ou en se cassant. Cela libère des enzymes qui déclenchent des réactions chimiques. Les tomates par exemple se ramollissent, les pommes et d'autres types de fruits brunissent. Les fruits risquent également de devenir rances. Les insectes déclenchent le même processus : ils abîment les fruits ce qui libère des enzymes.

La peau du fruit ou du légume fournit une protection naturelle contre les micro-organismes. Dès qu'elle est endommagée par une chute ou un choc, ou lorsqu'on épluche le produit ou qu'on le fait cuire, le risque de détérioration s'accroît considérablement. Les chocs se produisent le plus souvent lorsqu'on empile les fruits ou les légumes trop haut.

III.1.CONSIDERATIONS RELATIVES À LA CONCEPTION D'ENTREPOT DE STOCKAGE

La conception d'entrepôts de stockage de longue durée pour fruits et légumes inclut plusieurs facteurs.

III.1.1. CONCEPTION FONCTIONNELLE

Les éléments suivants doivent être considérés pour faciliter la manutention et la gestion des produits stockés

- Les dimensions et le nombre de cellules nécessaires;
- Les variétés et types de produits à stocker;
- La disposition du stockage pour une manutention facile;
- La réception et le tri grossier à la récolte;
- Les agrandissements et modifications éventuelles;
- Les commodités et services requis; et
- Passablement, des installations de lavage, de tri ou d'emballage.

III.1.2.CONCEPTION STRUCTURALE

Les surcharges climatiques (vent et neige) et la charge des produits (la pression sur les parois des cellules et les forces produites par les denrées empilées) doivent être considérées. Il faut aussi une isolation, un pare-vapeur, des assemblages structuraux, des fondations et une armature adéquate.

III.1.3.CONTROLE DE L'ENVIRONNEMENT

Cet aspect de la conception englobe la température, l'humidité, la réfrigération, la ventilation, la condensation et le matériel de régulation connexe. Dans le cas particulier des fruits conservés en atmosphère contrôlée (AC), la teneur en oxygène et en bioxyde de carbone du stockage doit être minutieusement dosée, ce qui nécessite une technologie moderne et hautement spécialisée.

En général, tout bâtiment peut constituer un bon entrepôt pourvu que sa structure soit suffisamment résistante, qu'il soit bien isolé et qu'il réponde aux exigences fonctionnelles. La clé réside dans le contrôle de l'environnement, ce qui comprend un bon système d'isolation.

III.2.TYPES DE STOCKAGE

Les deux grands types sont le stockage en vrac et le stockage sur palettes. Certains bâtiments peuvent être adaptés pour un type ou pour l'autre.

III.2.1. STOCKAGE EN VRAC

Les produits sont empilés dans des cellules ayant les dimensions d'une pièce et exercent des forces auxquelles les murs du bâtiment doivent résister. Ces forces sont considérables et ne doivent pas être sous-estimées dans les calculs de la structure. La ventilation est assurée par une circulation d'air conditionné à travers les denrées grâce à un réseau de conduits sous la pile de denrées.

Le stockage en vrac est généralement moins coûteux. Il sert habituellement pour les denrées qui peuvent être manutentionnées en vrac et stockées en piles élevées, comme les navets, les pommes de terre et les oignons. D'autres légumes tels que les betteraves, les carottes et les panais peuvent être stockés en piles de faible hauteur, mais le plus souvent, ils sont stockés et transportés sur des palettes qui facilitent la manutention et la gestion des stocks.

III.2.2. STOCKAGE SUR PALETTES

Le stockage sur palettes est utilisé pour les produits fragiles ou qui ne peuvent être empilés (ex.: choux, panais, carottes et la plupart des fruits et des récoltes de serre). Les palettes permettent le stockage de différentes variétés ou types de produits et de regrouper les récoltes de plusieurs agriculteurs dans une même salle.

De l'air à température et humidité contrôlée circule par ventilation entre les allées de palettes. Les palettes sont déplacées et empilées à l'aide de chariots élévateurs à fourche avec un système de déchargement par basculement.

III.3.TAILLE DE L'ENTREPOT

III.3.1. CONCEPTION STRUCTURALE

Quel que soit le type de construction, il faut

- ✓ Isoler les fondations, de préférence à l'extérieur;
- ✓ Porter une attention particulière aux ponts thermiques (points froids) dans les murs et les toits, même les mieux construits, car ils peuvent causer de graves problèmes de condensation (qui surviennent le plus souvent sur les colombages, sur les pannes et poutres d'acier et aux points d'interruption de l'isolant au niveau des fondations et des lisses);
- ✓ S'assurer de la durabilité et de la facilité de nettoyage;
- ✓ Utiliser du bois traité au CCA, en raison de l'humidité, pour toutes les lisses et pièces de bois recouvertes d'isolant au polyuréthane. L'application du traitement au CCA à toute l'ossature recouverte permet d'augmenter considérablement et à un faible coût supplémentaire la vie utile prévue du bâtiment.

III.3.2. CONTROLE DE L'ENVIRONNEMENT

Le contrôle de l'environnement désigne la régulation de la température et du débit d'air ainsi que de l'humidité. Pour certaines applications spéciales, il peut aussi être nécessaire de contrôler la concentration de certains gaz (O₂ et CO₂). Les entrepôts peuvent être refroidis par circulation d'air ou par réfrigération ou les deux.

S'ils sont refroidis à l'air, la régulation de la température se fait par injection, dans le système de ventilation, d'air froid venant de l'extérieur. Cette approche suppose des températures extérieures inférieures à la température de stockage durant toute la saison de stockage, sauf pour de courtes périodes. En général, cette méthode convient pour les pommes de terre, les oignons et les courges et certains entreposages à température froide de courte durée.

La ventilation consiste à faire circuler de l'air conditionné autour et entre les légumes pour éliminer la chaleur, maintenir des conditions uniformes et limiter l'humidité et la condensation. Cet aspect de la conception englobe le choix des débits et configurations de circulation d'air, des régulateurs de température, des ventilateurs et des conduits.

Dans un entrepôt en vrac, un ventilateur et un conduit font circuler l'air à travers la masse de produits. La température est généralement réglée par un réseau de thermostats commandant des registres qui assurent le mélange d'air froid de l'extérieur avec de l'air recyclé. La régulation devrait inclure un thermostat doseur, un thermostat limiteur basse température, une sonde de température extérieure (pour éviter l'admission d'air extérieur trop chaud), une minuterie et des moteurs actionnant les registres.

III.4. GESTION DES STOCKS

Pour obtenir les meilleurs résultats de la plupart des entrepôts, il faut

- Récolter au bon stade de maturité;
- Cultiver des variétés tolérant bien l'entreposage; refroidir les récoltes avant l'entreposage et/ou tenter de récolter par temps frais (tôt le matin par exemple);
- Effectuer un tri préliminaire pour éliminer les produits atteints par la maladie ou endommagés;
- Manipuler les denrées avec soin pour éviter de les endommager;
- Humidifier à l'avance le sol des entrepôts en terre battue;
- Essayer de récolter en dernier lieu les denrées endommagées par le gel, imprégnées d'eau ou autrement sujettes à se détériorer, si elles doivent être stockées; il faut isoler ces denrées dans l'entrepôt et les mettre en marché aussitôt que possible.

IV. CONSERVATION DES RACINES ET TUBERCULES

Le stockage des racines, des tubercules et des bulbes présente des difficultés particulières. Il faut à la fois éviter le dessèchement (ou la « dessiccation ») et l'excès d'humidité qui

risque de faire pourrir les racines et les tubercules. La respiration des tubercules vivants reste assez intensive et elle augmente en même temps que la température.

Lorsqu'on stocke des tubercules dont la température est élevée dans un conteneur hermétique, le tissu végétal meurt par manque d'oxygène. Ainsi, le coeur des pommes de terre noircit. Il faut donc améliorer la ventilation lorsque la température du produit augmente.

Au cours du stockage, les racines, tubercules et bulbes subissent des modifications chimiques qui risquent de leur faire perdre leur fermeté et d'altérer leur goût. Les tubercules de la plupart des espèces connaissent une période de repos végétatif (dormance) avant la germination. Cette période varie selon la variété et la température de stockage des tubercules. Les ignames peuvent être stockés pendant environ quatre mois, à une température normale, sans germer, mais les pommes de terre commencent à germer au bout de cinq semaines à 15°C. De plus, les tubercules subissent souvent les attaques des rongeurs pendant leur stockage.

La qualité des tubercules non réfrigérés varie selon l'espèce : l'igname conserve sa qualité plus longtemps que le chou caraïbe et la patate douce, tandis que le manioc se détériore plus rapidement. Plus la température sera basse, moins les produits présenteront des signes de dessiccation, de pourriture, de manque d'oxygène et de germination, à condition que la température ne tombe pas en dessous de zéro. Autrement dit, plus la température est basse pendant le stockage, mieux c'est.

Mais dans la pratique, c'est rarement réalisable car les équipements de réfrigération sont difficiles à se procurer ou ils sont très chers. On s'en sert rarement pour de grandes quantités de produits. La meilleure alternative est donc de maintenir le lieu de stockage le plus frais possible et de bien le ventiler. Lorsqu'on a la possibilité de régler la ventilation, grâce à un ventilateur ou à des bouches d'aération réglables (dans une grange), il vaut mieux ventiler lorsqu'il fait moins chaud (la nuit) et bien fermer le bâtiment pendant la chaleur pour y garder l'air frais.

Mais pour pouvoir régler ainsi la température, il faut que les murs du lieu de stockage soient épais. Lorsque la ventilation se fait naturellement, dans des huttes par exemple, il est très difficile, voire impossible de régler la température.

Plus la température est basse (ce qui dépend entre autres de la saison et de l'altitude), moins on a besoin de ventiler, mais plus les risques de pourrissement et d'échauffement interne sont élevés. Les ignames, les patates douces et le manioc s'abîment lorsque la température est inférieure à 12°C.

IV.1. ACTIVITES A EFFECTUER DANS LES CHAMPS

IV.1.1. LA RECOLTE EN FONCTION DES BESOINS

Certaines variétés d'igname, de patate douce et surtout de manioc peuvent rester dans le sol pendant la saison sèche, sans être récoltées.

Leur qualité reste acceptable bien que les tubercules deviennent souvent plus fibreux. Cette méthode a l'air très intéressant, mais elle a plusieurs inconvénients :

- ✓ La terre est occupée plus longtemps, ce qui empêche toute autre culture pendant cette période.
- ✓ Les tubercules ne sont pas récoltés au moment idéal.
- ✓ Les tubercules ne sont pas protégés contre les termites, les rats, les singes, les voleurs, etc.

Les variétés de manioc à saison courte sont mûres au bout de 6 mois après leur plantation. Elles ne peuvent pas rester dans le sol pendant plus de 9 à 11 mois sans subir de graves détériorations. Les variétés à saison longue mettent au moins un an à mûrir et peuvent rester dans le sol pendant 3 à 4 ans sans être très abîmées. Malheureusement, les maniocs doux au goût le plus agréable appartiennent souvent au premier groupe et la variété amère au second. Le mieux est de laisser les tubercules de manioc dans le sol et de les récolter en fonction des besoins de l'alimentation humaine ou animale.

IV.1.2.TAILLE AVANT RECOLTE

La durée de conservation des racines de manioc est prolongée de façon considérable lorsqu'on taille la plante avant la récolte. De 1 à 4 semaines avant la récolte, on enlève toutes les feuilles et on laisse une tige d'environ 20 cm dans le sol. En laissant une partie de la tige encore attachée aux racines, on diminue les risques de pourrissement. On récolte généralement les tubercules d'igname en une seule fois et on les stocke. La qualité restera sensiblement la même si on les laisse dans le sol pendant la saison sèche.

IV.1.3.PREVENTION DES DOMMAGES

Le processus de pourrissement se déclenche à la suite de blessures infligées pendant la récolte et le transport. C'est la raison pour laquelle la récolte doit se faire avec le plus de précautions possible, en utilisant de préférence des outils en bois. Lorsque les cultures sont plantées en rangées et en billons, on soulève les racines et les tubercules, si la distance que les sépare n'est pas trop importante. L'outil utilisé doit passer facilement dessous. Souvent, plus de 50% des tubercules sont endommagés lors de la récolte, mais seulement 5% des petits. Il faut consommer immédiatement les tubercules abîmés ou bien leur appliquer un traitement spécial : en frottant les parties endommagées avec des cendres, de la chaux ou des noix de cola mâchées et en les laissant sécher ensuite au soleil pendant 1 ou 2 jours, on guérit les plaies et les risques de pourrissement diminuent nettement.

IV.1.4.LA SUBERIFICATION DES RACINES ET DES TUBERCULES

Pour empêcher que les tubercules s'abîment davantage pendant le stockage, on leur applique un traitement spécial, la « subérification ». On les entrepose pendant plusieurs jours dans des conditions ambiantes très chaudes (25 – 35 °C) et très humides (85 – 95% d'humidité relative). Pendant ce temps, une couche de liège de quelques cellules d'épaisseur se forme autour des tubercules. Cette couche réduit le processus de dessiccation et empêche la contamination par des bactéries et des champignons. L'effet de la subérification est plus rapide en plein soleil, mais il vaut mieux protéger les tubercules

avec de grandes feuilles, sinon l'humidité relative qui les entoure diminuerait rapidement et la forte chaleur à laquelle ils seraient exposés déclencherait des processus qui réduiraient leur qualité de conservation.

On applique la technique de la subérification aux racines de manioc de 4 à 7 jours à une température de 30 à 35 °C et avec une humidité relative de 80 à 95 °C. On traite les blessures et on les laisse sécher. Les patates douces sont traitées de 5 à 7 jours à une température d'environ

30 °C et avec une humidité relative de 85 à 90%. On peut laisser les tubercules dans les champs en petits tas que l'on couvre la nuit de paille ou de sacs en jute si la température descend en dessous de 25 °C. L'igname est traité pendant 4 jours de 29 à 32 °C et avec une humidité relative de 90 à 95%.

Ce traitement est uniquement efficace pour les blessures profondes telles que celles provoquées par une coupure au couteau. La subérification ne cicatrise pas les tubercules abîmés aux blessures superficielles ; ils ne se conservent que si les parties éraflées ont été retirées avant le traitement. On traite les pommes de terre de 5 à 8 jours à des températures bien plus basses (de 8 à 20 °C) avec une humidité relative d'environ 90%. On empêche la formation de condensation d'eau sur les tubercules en s'assurant que les fluctuations de température restent faibles.

IV.1.5.LA SUBERIFICATION DES BULBES

Les bulbes sont traités dans un environnement chaud et bien ventilé. Contrairement à celui des pommes de terre, la subérification des tubercules se fait de préférence avec une humidité faible. Cela fait sécher le col et les deux ou trois couches extérieures de la pelure du bulbe. La couche la plus extérieure qui risque d'avoir été contaminée par la terre, tombe généralement facilement au moment du traitement, ce qui fait apparaître la sous-couche sèche, d'un aspect plus appétissant.

La subérification est considérée comme terminée lorsque le col des oignons est serré et que les pelures extérieures sont bien sèches. Les oignons doivent avoir perdu de 3 à 5% de leur poids pour atteindre cet état. Lorsqu'il n'est pas possible de traiter ainsi les oignons dans le champ, on les ramasse sur des plateaux que l'on empile à un endroit chaud, couvert et bien ventilé.

La subérification effectuée à l'ombre améliore la couleur du bulbe et réduit sensiblement les pertes pendant le stockage. Dans les climats frais et humides, on stocke les oignons en vrac dans des pièces ventilées. On les fait sécher en soufflant de l'air à 30° à travers le tas. On peut aussi les traiter en attachant les extrémités des bulbes en bottes et en les suspendant à un bâton horizontal dans un hangar bien ventilé.

Puis on trie les bulbes avant de les stocker. On élimine les bulbes au col épais, ceux qui ont des blessures ou qui sont pourris. On les trie parfois à nouveau après le stockage, pour en obtenir un meilleur prix sur le marché. On enlève généralement les pelures extérieures sèches pendant le tri, pour donner une meilleure apparence aux oignons. Un tri bien mené réduit les pertes pendant le stockage.

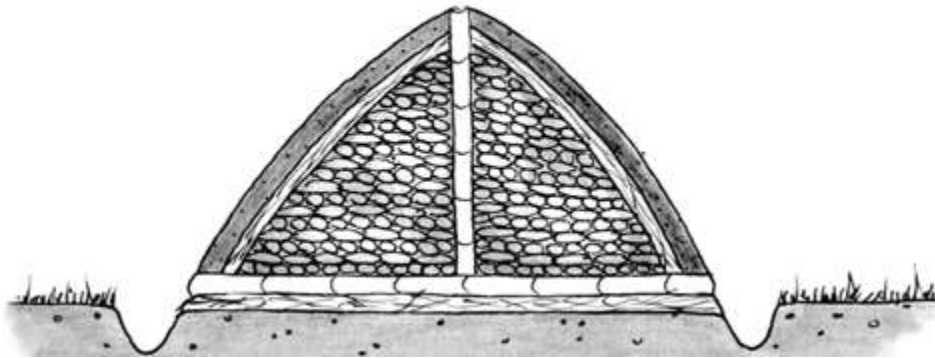
IV.2.STOCKAGE DES RACINES, DES TUBERCULES ET DES BULBES

Les deux méthodes de stockage des racines, des tubercules et des bulbes les plus courantes sont les silos dans les champs et les huttes ventilées.

IV.2.1.STOCKAGE DANS DES SILOS EN PLEIN CHAMP

Le manioc et la patate douce sont souvent stockés après une subérfication dans des silos en plein champ .En fonction des conditions locales et du type de racine, la durée du stockage est de 2 à 9 mois. La structure de base de ces silos est la suivante : on place une couche circulaire de paille ou d'un autre matériau (de l'herbe sèche ou des feuilles de canne à sucre par ex.) sur un sol bien drainé. Une fois tassée, cette couche fait environ 1,5 m de diamètre et 15 cm d'épaisseur. On y empile les tubercules fraîchement ramassés en un tas conique de 300 à 500 kg. Puis on dépose sur le tas une couche similaire de paille et on recouvre le tout de 15 cm de terre.

On creuse ensuite un fossé autour du silo pour assurer le drainage.



Ce type de silo est satisfaisant dans les périodes froides et humides. On construit parfois un abri en chaume autour du silo, ou on le place sous un arbre pour éviter une trop grande exposition au soleil ou le protéger des pluies violentes. Dans des conditions climatiques chaudes et sèches, on doit veiller à ce que la température à l'intérieur du silo ne dépasse pas 40 °C, car les tubercules s'abîment rapidement à des températures plus élevées.

IV.2.2.STOCKAGE DANS DES HUTTES VENTILEES

Les huttes ventilées offrent une protection contre les rongeurs, le soleil, la pluie et les eaux souterraines. La ventilation empêche aussi la croissance de champignons et le pourrissement. On construit les huttes avec des matériaux disponibles localement : bambou, planches en bois, nattes tissées dans un cadre en bois, etc.

Pour empêcher les rats et les termites d'y pénétrer, on pose les huttes sur des poteaux d'au moins 75 cm de haut et munis de collerettes anti-rongeurs. Si elles sont construites sur le sol, il faut boucher tous les trous et les fissures avec du grillage. Les planches des huttes en bois doivent se chevaucher comme les tuiles d'un toit, en laissant un espace entre elles, de façon à empêcher le soleil de pénétrer tout en assurant une ventilation.

Le toit doit surplomber la hutte pour la protéger contre le soleil et la pluie. À l'intérieur, les tubercules sont empilés dans des caisses ou sur des étagères ou des râteliers le long des

murs de sorte que l'air puisse circuler librement entre eux. Il est indispensable de contrôler régulièrement les produits pour s'assurer qu'ils ne pourrissent pas.

IV.3.MESURES SPECIFIQUES POUR AUGMENTER LA DUREE DE CONSERVATION

IV.3.1.MANIOC

Les racines de manioc fraîchement récoltées se détériorent rapidement : le processus commence 1 à 7 jours après la récolte. Des techniques simples suffisent à conserver les tubercules quelques jours de plus : on les enfouit à nouveau dans la terre, on les met dans de l'eau, on les enduit de boue, ou on les empile et on les arrose quotidiennement.

Dans les silos en plein champ, on prolonge encore leur durée de conservation en alternant des couches de manioc avec des couches de sable ou de feuilles de manioc de 3 à 5 cm d'épaisseur. Dans les huttes ventilées, les tubercules de manioc fraîchement récoltés sont emballés dans de la sciure humide et posés dans des caisses en bois. Si l'on ne dispose pas de sciure, utiliser de la poudre de fibre de coco ou de la tourbe. Les enveloppes de riz ne conviennent pas. La teneur en humidité de la sciure d'emballage doit avoisiner 50% ; cela permet de maintenir une humidité relative élevée favorisant la subérification et évite une perte excessive d'humidité sans humidifier les racines, ce qui provoquerait leur pourrissement. Les tubercules gardent une bonne qualité après un stockage de 1 à 2 mois.

Les feuilles de manioc sont souvent un meilleur moyen de conservation que la sciure humide : des couches de tubercules et de feuilles (de 3 à 5 cm d'épais seur) dans une caisse en bois ou un panier de bambou. Tout délai entre la récolte et l'emballage, entraîne une baisse de qualité. Une autre méthode permettant de prolonger considérablement la durée de conservation consiste à transformer les racines fraîchement récoltées en divers produits séchés. Les tubercules coupés en tranches et séchés au soleil, blanchis ou non (ce qui augmente la qualité de conservation), peuvent être stockés pendant plusieurs mois.

IV.3.2. IGNAME

La production de l'igname, contrairement à celle du manioc, est très saisonnière, si bien que les tubercules doivent être stockés pendant plusieurs mois. La fin de la période de dormance (lorsque la germination commence) est l'obstacle principal à un stockage à long terme.

L'enlèvement des jeunes pousses prolonge la durée du stockage. Les conditions de stockage optimales des tubercules d'igname subérifiés se situent autour de 16 °C, avec une humidité relative de 70%. À cette température, on peut les stocker pendant 3 à 4 mois. Les tubercules non subérifiés doivent être entreposés à une humidité relativement basse. En dessous de 12 °C, ils souffrent du froid. Après subérification, les tubercules sont stockés dans des huttes ventilées, en tas sur le sol, dans des caisses, sur des étagères ou des rayonnages de façon à ce que l'air puisse circuler librement partout. Plus la température et l'humidité relative sont élevées, plus l'aération est nécessaire.

On utilise aussi le crib à maïs pour stocker des ignames, mais à condition que son toit soit assez large pour protéger la récolte des rayons du soleil. Il est également possible de

stocker de petites quantités de tubercules bien séchés dans des silos en terre. Très souvent, les ignames sont aussi stockés dans des fosses ou mis en tas à l'abri du soleil et des inondations. On les entrepose également dans une « grange à igname ». Le modèle de base est un châssis vertical de 2 m de haut ou plus, sur lequel les tubercules sont attachés individuellement avec une corde le long de traverses en bois léger. On les attache aussi à des poteaux verticaux, leur axe restant à l'horizontale. La grange est parfois couverte d'un toit de chaume de palme ou construite sous l'ombre épaisse des arbres d'une forêt. Ces constructions offrent une bonne aération et une bonne protection contre les termites, mais non contre les voleurs. Elles permettent aussi un contrôle quotidien des tubercules permettant de retirer ceux qui pourrissent avant qu'ils ne contaminent les autres. Dès le début de la saison des pluies, les tubercules stockés dans la grange à ignames se détériorent rapidement.

IV.3.3.PATATE DOUCE

La patate douce est difficile à stocker dans les tropiques. Les conditions optimales de stockage après traitement sont de 13 à 16 °C avec une humidité relative élevée (85 à 90%). Des températures plus élevées favorisent la germination et augmentent la respiration, provoquant un échauffement du produit et une perte en matière sèche. La ventilation pendant le stockage est très importante. Les tubercules sont extrêmement prédisposés aux blessures et à la détérioration qui suit.

Les variétés rouges semblent mieux se stocker que les variétés blanches. Les patates douces peuvent être stockées dans des silos. Les tubercules subérifiés sont emballés dans du papier journal ou de la sciure sèche (elle doit être sèche pour minimiser la repousse et le pourrissement) et entreposés dans des huttes. Ils peuvent aussi être stockés dans des caisses garnies de plastique perforé de trous pour la ventilation.

Pendant la première semaine, la subérification se fait à la température ambiante (de 18 à 31°). Après subérification, il faut retirer l'excès d'humidité pour éviter la germination. Il est également possible de les stocker dans des fosses garnies de paille ou de bambou et munies d'un couvercle hermétique (en bois) et d'un toit les protégeant de la pluie.

Cette méthode est applicable uniquement dans les zones bien drainées. Une autre méthode pour conserver des patates douces fraîches consiste à les éplucher, à les couper en tranches et à les faire sécher au soleil. On les stocke ensuite directement ou moulues en farine.

IV.3.4.POMME DE TERRE

Les pommes de terre sont sensibles au manque d'oxygène et facilement infectées par des bactéries, des champignons, etc. La température de stockage optimale se situe en dessous de 10 °C et elles supportent mal une exposition prolongée au soleil (maximum 1 heure). Elles doivent être conservées dans l'obscurité dans un endroit sec et bien aéré.

Le mieux est de les stocker dans des huttes ventilées. La ventilation se fait pendant la nuit lorsque la température est basse. Les huttes sont parfois partiellement construites sous terre et munies de conduits d'aération permettant à l'air frais de la nuit de passer sous les tubercules.

Elles sont stockées en vrac ou de préférence dans de petites caisses. Il est également possible de les conserver dans des silos ou dans des fosses entièrement ou partiellement souterraines. Le degré de respiration étant encore très élevé au début, on ajoute parfois une dernière couche de sable sur la paille une semaine après. Dans les régions montagneuses des tropiques, la température plus basse permet de stocker les pommes de terre dans des structures bon marché pendant des périodes prolongées sans pertes importantes. Les pommes de terre non infectées par des maladies ou des insectes peuvent être conservées en tas ou dans des conteneurs aérés. Il suffit souvent d'adapter les conteneurs ou structures existants.

IV.3.5.OIGNON

On place 2 ou 3 couches de bulbes sur des rayonnages et on les entrepose dans des huttes bien aérées. On les retourne régulièrement et on élimine ceux qui sont pourris, abîmés ou qui ont germé. Il ne faut pas les stocker avant qu'ils soient bien subérifiés, pour éviter le pourrissement.

Le mieux est de les conserver à une température de 30 à 35 °C et avec une humidité relative de 65 à 70%. Une température de 10 à 25 °C stimule la germination et une teneur en humidité élevée accélère le pourrissement. Une température supérieure à 35 °C entraîne une perte de poids.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Agrodok 3. La conservation des fruits et des légumes. 2003, 94 pages, Agromisa/CTA, les Pays-Bas. ISBN : 90-77073-32-9.
2. Agrodok 18. La protection des céréales et des légumineuses stockées. 2004, 74 pages, Agromisa/CTA, les Pays-Bas. ISBN : 90-77073-88-4.
3. Agrodok 25. Les greniers. 2005, 84 pages, Agromisa/CTA, les Pays-
4. Bas. ISBN : 90-8573-019-8.
5. Agrodok 50. Le conditionnement des produits agricoles. 2010, Agromisa/CTA, les Pays-Bas.
6. Gwinner, J., R.Harnisch, O. Mueck. Manuel sur la manutention et la conservation des graines après récolte. 1996, GTZ.
7. Agrodok 31. Le stockage des produits agricoles, 2011, 77 pages, Agromisa/CTA, les Pays-Bas ISBN : 978-90-8573-124-5
8. Ndiaye, D.S.B. Manuel de stockage et de conservation des céréales et des oléagineux, Coopération autrichienne, 61 pages
9. Cruz,J.F, Hounhouigan,D.J et Fleurat-Lessard,F. La conservation des grains après la récolte, CTA,251 pages, O Box 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-bas
10. Cruz J.-F., Troude F., Griffon D.,Hebert J.-P., 1988. Conservation des grains en régions chaudes. 2 e édition, Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, France, 545 pages
11. FAO, Manuel de Formation pour l'Amélioration du Traitement et du Stockage des Grains Après-récolte, 2012, page 256.

.....END.....