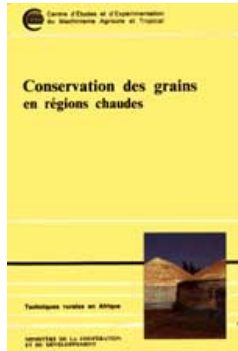


[Home](#) > (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it). [ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)



Conservation des grains en régions chaudes

- 2. ed..

- «*Techniques rurales en Afrique*»

[Table des matières](#) (545 p.)

Cruz J.F., Troude F., Griffon D., Hébert J.P., 1988. Paris, France, Ministère de la Coopération et du Développement.

CEEMAT - Centre d'Études et d'Expérimentation du Machinisme Agricole et Tropical

Ministère de la coopération et du développement

Ce document a été établi par le Centre d'Études et d'Expérimentation du Machinisme Agricole Tropical avec la collaboration des Services Techniques et de Documentation des départements du CIRAD.

Ont directement participé à la réalisation de cet ouvrage:

MM. J.-F. CRUZ - Rédaction générale et mise en page,
F. TROUDE - Contrôle et supervision.

La partie séchage solaire a été préparée par MM. D. GRIFFON et J.-P. HÉBERT.

Tous droits d'adaptation, de traduction et de reproduction y compris la photographie et le micro-film, réservé pour tous pays.

(c) - Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères 1^{re} Édition, 1974.

(c) - Ministère de la Coopération 2^e Édition, 1988.

ISSN 0336-3058

ISBN 2 11 084875 8

ACHEVÉ D'IMPRIMER EN SEPTEMBRE 1988 PAR L'IMPRIMERIE F. PAILLART ABBEVILLE

N° d'impression: 6879

Dépôt légal: 3^e trimestre 1988

Imprimé en France

Table des matières

[Introduction](#)

Chapitre I - Caractéristiques des grains

1.1. Composition des grains

1.1.1. Composition physique des grains - Propriétés physiques

1.1.2. Composition biochimique des grains

1.2. Facteurs d'altération des grains

1.2.1. Altérations et qualité des grains

1.2.2. Vie du complexe grain - micro-organismes

1.2.3. Agents extérieurs de dégradation des grains

Chapitre II - Principes de conservation des denrées

2.1. Notion de qualité

2.1.1. Généralités

2.1.2. Échantillonnage

2.1.3. Critères de qualité

2.2. Principes de conservation

2.2.1. Techniques classiques

2.2.2. Techniques récentes

Chapitre III - Séchage

3.1. Considérations générales - rappels

3.1.1. Teneur en eau du produit

3.1.2. Caractéristiques de l'air (cf. 1.2.2.3.)

3.2. Principe du séchage

3.2.1. Le séchage par air chaud

3.2.2. Quantité d'eau à enlever au cours du séchage

3.2.3. Débit spécifique ou débit de renouvellement d'air

3.2.4. Consommation thermique spécifique ou massique

3.2.5. Pouvoir calorifique des combustibles

3.3. Séchage artificiel

3.3.1. Séchage et séchoirs

3.3.2. Les générateurs d'air chaud

3.3.3. Économie d'énergie au niveau des séchoirs

3.3.4. Utilisation de la biomasse pour le séchage

3.4. Séchage solaire

3.4.1. Énergie solaire

3.4.2. Capteurs solaires

3.4.3. La pratique du séchage solaire

Chapitre IV - Stockage traditionnel

4.1. Méthodes de stockage traditionnel

4.2. Amélioration du stockage traditionnel

4.2.1. Amélioration du séchage

4.2.2. Amélioration du stockage

Chapitre V - Stockage en sacs

5.1. Conception des magasins

5.1.1. Choix du site. Exposition

5.1.2. Conception des magasins

5.1.3. Principes de construction

5.2. Les matériaux de construction

5.2.1. Béton et mortier

5.2.2. Fers

5.2.3. Bois

5.2.4. Matériaux de couverture

5.3. Équipements des magasins

5.3.1. Électricité

5.3.2. Reconditionnement des produits

5.3.3. Équipements mobiles

5.4. Stockage en magasins souples

5.4.1. Description

5.4.2. Intérêt d'un tel stockage

5.5. Gestion des magasins

5.5.1. Préparation des magasins

5.5.2. Mise en place des stocks

5.5.3. Au cours du stockage

5.6. Magasins réfrigérés

5.6.1. Utilisation du froid

5.6.2. Production du froid

5.6.3. Enceintes de conservation du froid

5.6.4. Niveau de puissance installée nécessaire

Chapitre VI - Stockage en vrac

6.1. Différents types de cellules

6.1.1. Cellules de petites capacités

6.1.2. Silos de grandes capacités

6.2. Ventilation

[6.2.1. Principe - différents types](#)

[6.2.2. Installations de ventilation](#)

[6.2.3. Bases de calcul des installations](#)

[6.2.4. Conduite de la ventilation](#)

[6.2.5. La ventilation réfrigérée](#)

[6.3. Équipements des centres de stockage](#)

[6.3.1. Matériel de réception - nettoyage](#)

[6.3.2. Manutention des grains](#)

[6.3.3. Matériels de contrôle](#)

[6.3.4. Matériels de désinsectisation](#)

[6.3.5. Maintenance des équipements](#)

[6.4. Sécurité dans les silos](#)

[6.4.1. Sécurité courante](#)

[6.4.2. Poussières](#)

[6.5. Autres techniques de conservation - le stockage hermétique](#)

[6.5.1. Conservation en atmosphère confinée - stockage sous gaz neutre](#)

[6.5.2. Stockage sous vide](#)

[Chapitre VII - Désinsectisation](#)

[7.1. Insectes des denrées stockées et leurs dégâts](#)

[7.1.1. Développement des insectes](#)

[7.1.2. Principaux insectes des denrées stockées](#)

[7.1.3. Dégâts causés par les insectes](#)

[7.1.4. Contrôle des infestations par les insectes](#)

[7.2. Méthodes de lutte](#)

[7.2.1. Méthodes de lutte traditionnelles \(ou utilisées en milieu paysan\)](#)

[7.2.2. Méthodes de lutte «modernes»](#)

[7.3. Lutte chimique](#)

[7.3.1. Traitement de contact](#)

[7.3.2. Fumigation](#)

[7.3.3. Magasins fumigables](#)

[7.4. Traitements préventifs](#)

[Chapitre VIII - Lutte contre les rongeurs](#)

[8.1. Les rongeurs](#)

[8.1.1. Principales espèces](#)

[8.1.2. Dégâts causés par les rongeurs](#)

[8.2. Lutte contre les rongeurs](#)

8.2.1. Lutte préventive

8.2.2. Lutte curative

Chapitre IX - Conservation des semences

9.1. Introduction

9.2. Conditionnement: principes - matériels

9.2.1. Séchage

9.2.2. Nettoyage

9.2.3. Triage des semences

9.2.4. Traitement des semences

9.2.5. Ensachage des semences et stockage

Chapitre X - Économie du stockage

10.1. Choix technique

10.2. Coûts d'investissement

10.3. Coûts de fonctionnement

Fiches signalétiques de quelques produits

Fiche N° 1 - Maïs

A - Généralités

[B - Conservation](#)

[C - Séchage](#)

[D - Stockage](#)

[Fiche N° 2 - Riz](#)

[A - Généralités](#)

[B - Conservation](#)

[C - Séchage](#)

[D - Stockage](#)

[Fiche N° 3 - Mil et sorgho](#)

[A - Généralités](#)

[B - Conservation du sorgho](#)

[C - Séchage](#)

[D - Stockage](#)

[Fiche N° 4 - Graines de légumineuses](#)

[A - Généralités](#)

[B - Conservation](#)

[C - Séchage](#)

[D - Stockage](#)

[Fiche N° 5 - Arachide](#)

[A - Généralités](#)

[B - Séchage de l'arachide](#)

[C - Stockage de l'arachide](#)

[Fiche N° 6 - Cacao](#)

[A - Généralités](#)

[B - Conservation](#)

[C - Séchage du cacao](#)

[D - Stockage](#)

[Fiche N° 7 - Café](#)

[A - Généralités](#)

[B - Conservation](#)

[C - Séchage](#)

[D - Stockage](#)

[Fiche N° 8 - Tubercules](#)

[Pomme de terre](#)

[Igname](#)

[Fiche N° 9 - Oignon](#)

[A - Généralités](#)

[B - Considération concernant l'aptitude au stockage](#)

[C - Conservation](#)

[D - Séchage](#)

[E -Stockage](#)

[Annexes](#)

[Annexe I: Ventilation](#)

[Annexe II: Bibliographie](#)

[Glossaire](#)

[Abréviations](#)

[Ouvrages parus dans la collection «Techniques rurales en Afrique»](#)

[Back cover](#)

[Table des matières - Suivante](#) ➤

[Home](#)"" """"""> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

Introduction

La première édition du Manuel de Conservation des Produits Agricoles Tropicaux a été publiée en 1974.

L'épuisement rapide de ce premier tirage, l'amélioration des techniques, l'évolution économique des Pays en Développement, et une demande constante d'informations sur ce thème, sont autant de raisons qui ont conduit le Ministère de la Coopération à faire paraître une deuxième édition préparée, comme la précédente, par le CEEMAT-CIRAD.

La situation alimentaire des Pays en Développement n'est pas uniforme. Alors que certains d'entre eux ne parviennent pas à satisfaire leurs besoins et voient leurs économies lourdement grevées par le coût des importations, d'autres atteignent l'autosuffisance et doivent la gérer au mieux. De plus, à l'intérieur même de chaque État, de fortes disparités existent entre régions aux potentialités inégales.

La conservation des stocks est l'un des éléments à prendre en compte dans chacune de ces situations.

La pénurie alimentaire n'a pas pour unique cause l'insuffisance de la production, les pertes après-récolte y participent pour une part non négligeable. Outre les initiatives bilatérales dans ce domaine, l'Assemblée des Nations Unies a pris en 1975 une résolution de principe visant à réduire ces pertes de 50 % en dix ans. Son agence d'exécution - l'OAA - a créé un programme spécifique de Prévention des Pertes Alimentaires qui a permis la mise en place de nombreux projets dans le monde. Cet effort a été amplifié par l'écho qu'a reçu cette initiative de la part des Gouvernements des Pays en Développement comme des pays donateurs et l'après-récolte n'est plus maintenant un domaine ignoré.

Une analyse initiale globale de la situation a conduit à privilégier les études et les améliorations techniques au niveau du petit producteur, celui-ci fournissant la quasi-totalité de la production et en consommant une large part, la population étant en majorité rurale. Cette approche, un peu sommaire, a permis de confirmer que, le plus souvent, chez les producteurs, les pertes sont beaucoup moins élevées que les valeurs alarmistes figurant dans nombre de publications et que le montant de l'investissement qu'ils consentent pour améliorer leurs techniques de stockage est beaucoup plus faible que le coût des améliorations

proposées.

Nombre de projets n'ont connu aucune suite pour cette raison. S'il est indéniable que beaucoup reste néanmoins à faire au niveau du producteur traditionnel, l'approche doit être nuancée et s'intéresser en priorité aux secteurs en cours d'évolution qui sont les principaux demandeurs d'améliorations techniques. Les variétés nouvelles, plus productives, sont également plus sensibles aux insectes des stocks; les cycles variétaux plus courts, les récoltes en contre-saison, la mécanisation de la récolte, sont autant de risques d'augmentation des pertes après-récolte car le produit est livré plus tôt, en saison moins favorable au séchage; plus humide, moins propre que celui récolté à la main et en plus grande quantité. Tout projet de développement agricole doit comporter un volet post-récolte qui s'attache à proposer des solutions au producteur et au-delà, aux différents stades de la commercialisation au niveau desquels des investissements plus importants sont possibles.

La coopérative villageoise, ou le centre de collecte, peuvent permettre l'installation d'un séchoir simple (utilisant l'énergie solaire ou la biomasse), d'un magasin ou d'un appareil de nettoyage; les critères de QUALITÉ des produits vont prendre une importance primordiale dans les années qui viennent.

Au-delà, le magasin ou le silo de transit, de stockage, ou de report - au niveau desquels des pertes importantes peuvent se produire - sont autant de cas particuliers et - pour chacun - le choix de la technique à adopter devra tenir compte, du produit à stocker, de la situation géographique, de la climatologie, de l'environnement technique et du contexte socio-économique.

Le but de ce manuel est de faciliter le choix des techniques. Le plan de l'ouvrage a été remanié et organisé en grandes séquences telles que séchage, stockage traditionnel, stockage en sacs, stockage en vrac, etc... qui doivent en simplifier la consultation. Neuf fiches signalétiques des principaux produits ont été placées en fin d'ouvrage ainsi que des tableaux et abaques à l'usage des projeteurs.

Le CEEMAT tient à remercier l'ensemble des partenaires chercheurs, fabricants, ou utilisateurs qui l'ont aidé dans la préparation de ce manuel qui, nous l'espérons, apportera une aide efficace aux responsables agissant dans le domaine de la conservation des stocks.

[Table des matières - Suivante](#)➤

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

[Table des matières](#) - < [Précédente](#) - [Suivante](#) >

Chapitre I - Caractéristiques des grains

[1.1. Composition des grains](#)

[1.2. Facteurs d'altération des grains](#)

1.1. Composition des grains

[1.1.1. Composition physique des grains - Propriétés physiques](#)

[1.1.2. Composition biochimique des grains](#)

1.1.1. Composition physique des grains - Propriétés physiques

1.1.1.1 Composition physique des grains

Le grain est composé de trois parties:

a) Enveloppes

Les graines (comme le haricot) sont en général recouvertes de deux téguments.

Certains grains comme les céréales dites «nues» (blé, maïs, sorgho...) sont en fait de véritables fruits. La paroi ovaire est restée intimement soudée au tégument propre de la graine. L'enveloppe est ici un péricarpe, parfois riche en glucides (tanins), qui protège la graine, ralentit les échanges avec l'extérieur mais qui peut cependant être facilement traversé par les micro-organismes (moisissures) et par les gaz. Par la mouture on élimine ce péricarpe qui devient alors le son, produit riche en protéines (présence de l'assise protéique). Enfin d'autres grains possèdent encore certaines enveloppes (glumes et glumelles) provenant de la fleur, qui améliorent la protection de la graine. On parle alors de céréales «vêtues» (riz paddy, orge,...

b) Albumen

C'est l'organe de réserve, il est constitué de grosses cellules gorgées de réserves sous forme de grains d'amidon. L'assemblage de ces grains entre eux par des protéines confère au grain une structure vitreuse ou farineuse.

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

Parfois les réserves ne sont pas sous forme glucidique (amidon), mais protéique ou lipidique, on parle alors de graines protéagineuses (soja) ou oléagineuses (arachides).

Fig. 1: Schéma des cellules de l'albumen.

N. B.: La présence des «vides» rend les albumens farineux plus fragiles d'où risque de brisures des grains lors des manutentions. Lors de la mouture les albumens vitreux («dent») donneront des produits du type semoule alors que les albumens farineux («flint») donneront des farines,

c) La plantule ou germe

Chez les céréales elle est formée:

- *du scutellum*: ou cotylédon qui constitue une zone d'échange et de contact entre le germe proprement dit et l'organe de réserve qu'il va progressivement dégrader pour nourrir le germe; il renferme l'essentiel des matières grasses du grain.
- *du germe* proprement dit: véritable plante miniature avec la gemmule, la tigelle et la radicule.

La taille relative du germe par rapport au grain est variable suivant les produits. Petit dans le riz (4 % du grain entier), il est relativement gros dans le maïs (11 %) et le sorgho (10 %), ce qui lui confère une certaine fragilité. D'autre part, lors de la transformation des produits, on cherchera à récupérer ces gros germes (riches en lipides) pour, premièrement, éviter un rancissement rapide des «farines» et deuxièmement, comme dans le cas du maïs, extraire les matières grasses qu'ils contiennent (huile de germe de maïs).

Fig. 2: Grain de maïs. - Fig. 3: Grain de sorgho.

1.1.1.2. Propriétés physiques des grains

- Porosité

Une masse de grains constitue un matériau poreux où 30 % à 40 % du volume est occupé par des «vides» (air interstitiel). Ce pourcentage de «vide» est fonction de la taille des grains; il sera plus réduit si les grains sont petits... Ces «vides» permettront de faire traverser la masse de grains par un courant d'air (ventilation).

- Conductibilité thermique

Une masse de grains freine la transmission de la chaleur et agit souvent comme un isolant thermique. Une variation de température à la surface d'un lot ne sera ressentie que longtemps après et fortement atténuée à l'intérieur du lot.

- Hygroscopicité

Une masse de grain freine la transmission de la chaleur et agit souvent comme un isolant thermique. Une variation de température à la surface d'un lot ne sera ressentie que longtemps après et fortement atténuée en profondeur.

- Écoulement

Mis en mouvement, les grains se comportent comme un matériau fluide. Au repos, la masse de grains prend une position d'équilibre définie par l'angle du talus naturel. φ .

Exemple:

Produits	Angle talus naturel. ϕ . °	Densité apparente kg/m³
Maïs	26 à 30	750
Paddy	26 à 30	550
Arachide coque huilerie	26 à 30	370-400
Café marchand	24 à 26	715

1.1.2. Composition biochimique des grains

Les grains sont constitués d'eau et de matière sèche. La matière sèche se décompose elle-même en matière minérale (macro-éléments, silice, chlorures, phosphate, sulfate... et oligo-éléments: cuivre, fer, manganèse, iode...) et en matière organique dans laquelle on distingue: les glucides, les lipides, les protides (éléments principaux) et les vitamines.

1.1.2.1 Matière sèche

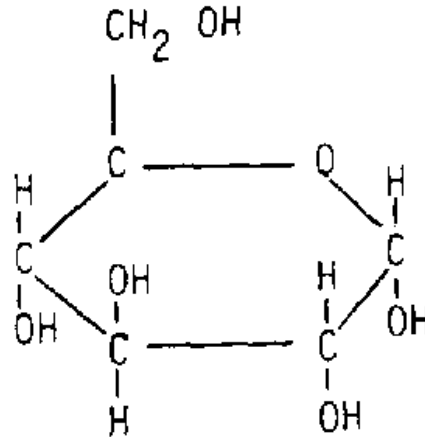
Nous ne reviendrons pas sur la matière minérale (cendres) dont les éléments (parfois qualifiés de secondaires) ont cependant une certaine importance dans le régime alimentaire; leur carence (ou leur excès) peut entraîner des troubles de l'organisme. Nous parlerons de la matière organique et notamment des éléments principaux que sont les glucides, les lipides et les protides.

a) LES GLUCIDES

Constitués de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O), ils sont parfois appelés «sucres». Ils se distinguent des lipides, également composés de C, H et O par leur solubilité dans l'eau.

- **Les oses ou «sucres simples» renferment de 3 à 7 atomes de carbone.**

Le glucose, par exemple, contient 6 carbones (hexose).



Formule cyclique du glucose.

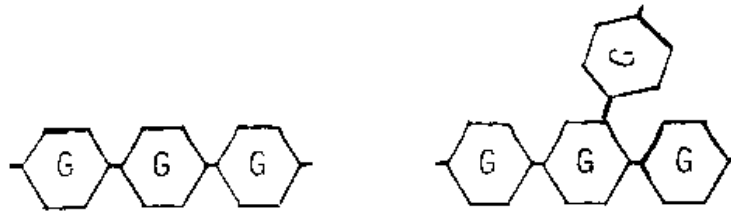
On distingue des isomères selon la forme des molécules, ainsi le glucose (sucre simple des céréales et des viandes) et le fructose (sucre simple des fruits) ont la même formule chimique $C_6 H_{12} O_6$ mais des molécules de formes différentes reconnues et dosées par polarimétrie dans les jus sucrés. Le fructose dévie la lumière polarisée vers la gauche («Levogyre») alors que le glucose la dévie vers la droite («Dextrogyre»), ce qui explique son autre dénomination de «Dextrose».

Les oses sont les seuls sucres directement assimilables par l'organisme. Leur «pouvoir sucrant» est lié à la

forme des molécules. Ainsi, la référence étant le saccharose (pouvoir sucrant = 100), le glucose a un pouvoir sucrant de 60 seulement alors que celui du fructose est de 140.

- Les holosides

Ils sont formés de l'association de plusieurs molécules d'oses reliées entre elles par des liaisons glucidiques. Ces liaisons peuvent être détruites par hydrolyse. Le plus important est l'Amidon, constitué d'une longue chaîne (simple ou dicotome) de molécules de glucose (300 à 1000 monomères de glucose).



Représentation schématique de l'amidon.

L'amidon est une substance énergétique présente en grande quantité dans les céréales. Nous avons vu qu'il était présent sous forme de granules dans les cellules de l'albumen, organe de réserve qui forme l'essentiel de la masse du grain. Le pourcentage d'amidon dans un grain à 12 % d'humidité est d'environ 66 % (maïs), 63 % (sorgho), 65 % (riz paddy), 81 % (riz blanchi).

L'hydrolyse de l'amidon en sucres simples est très facile en milieu acide. L'acide chlorhydrique à chaud est classiquement utilisé. Par ce procédé l'amidon de maïs se transforme en un gel de molécules de glucose et d'eau que l'on concentre pour obtenir un jus sucré (sucre liquide). L'obtention de cristaux solides

identiques à ceux obtenus à partir de la canne à sucre ou de la betterave serait coûteuse, c'est pourquoi le sucre est conservé sous forme liquide et utilisé directement en pâtisserie, boissons sucrées, etc.

La cellulose est un autre holoside, principal constituant des parois cellulaires. Elle est surtout importante au niveau du péricarpe. Comme l'amidon, c'est un haut polymère du glucose (2 000 à 10 000 monomères de glucose) qui en raison de sa structure en réseau complexe peu accessible aux enzymes est difficilement hydrolysable (la fibre de coton est composée presque exclusivement de cellulose). Les hémicelluloses, également présentes dans le grain au niveau du péricarpe, sont des polymères de pentose (5 carbones).

- Les hétérosides

Les hétérosides sont formés par l'association d'holosides avec d'autres groupements. Ainsi rencontre-t-on dans le manioc des hétérosides contenant de l'acide cyanhydrique (CNH) que l'on élimine par hydrolyse (rouissage et cuisson).

Les tanins contenus dans les enveloppes du sorgho et du mil sont également des hétérosides qui renferment des composés cycliques du type benzène ou phénol qui ne sont pas digestibles et peuvent même être antinutritionnels. Ceci explique la nécessité du décorticage préalablement à la mouture.

b) LES LIPIDES

Ce sont également des composés de C, H et O mais ils sont insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques (hexane, essence, benzène, etc.). Cette solubilité est utilisée dans les huileries pour extraire la fraction d'huile demeurée dans les graines oléagineuses après pressage mécanique (l'hexane est classiquement utilisé).

On distingue deux grandes classes de lipides: les saponifiables et les insaponifiables.

- **Les lipides saponifiables** sont ceux avec lesquels il est possible de fabriquer du savon par hydrolyse en glycérol et acide gras, puis réaction de cet acide avec une base (soude).

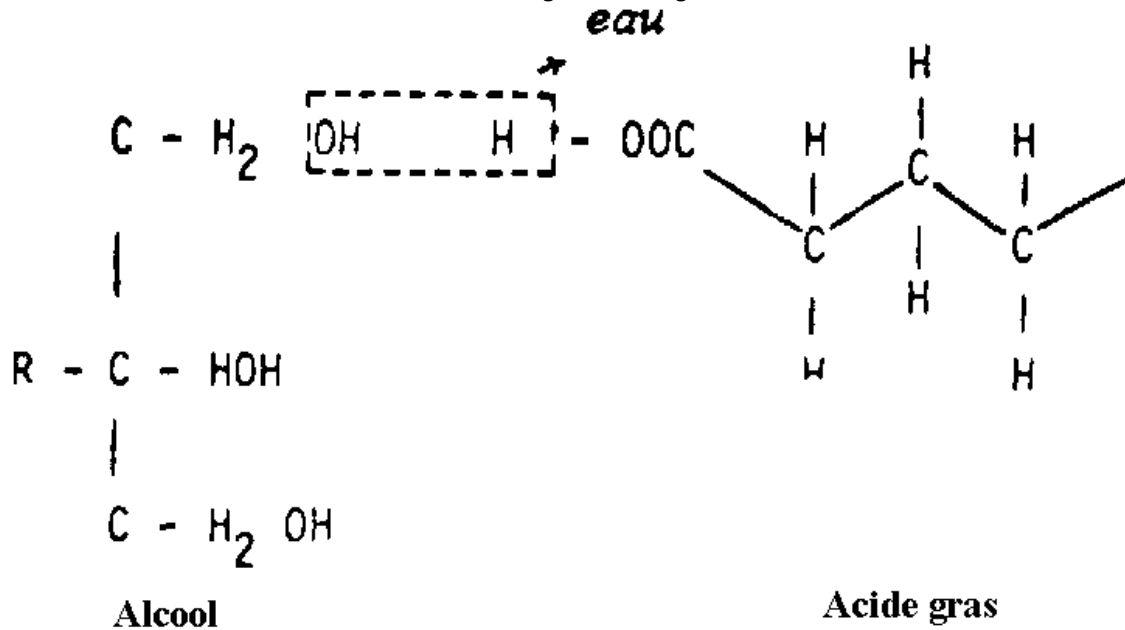
Lipide + eau (ρ) glycérol + acide gras.

Acide gras + base (soude) (ρ) savon + eau.

Exemple: la cire des bougies est un lipide qui ne permet pas de fabriquer de savon alors que l'huile d'arachide le permet.

Comme dans les glucides on retrouve dans les lipides saponifiables la classification entre lipides simples et lipides complexes. Les lipides simples sont les plus abondants. Chimiquement ils sont formés par estérification, c'est-à-dire élimination d'une molécule d'eau, entre un alcool: le glycérol, et un acide gras.

Exemple:



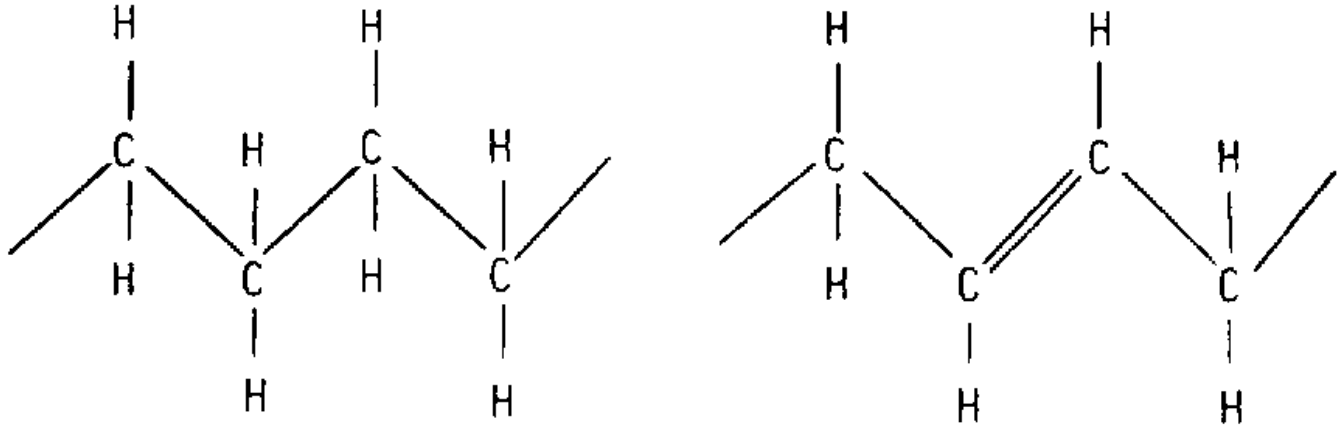
Cette réaction d'estérification est réversible. La dissociation en alcool et acide gras par addition d'eau est l'hydrolyse, réaction de base du métabolisme des denrées stockées.

Dans les lipides simples, selon que une seule, deux ou les trois fonctions alcool (CHOH) du glycérol sont estérifiées par un, deux ou trois acides gras, on parlera de mono, di ou triglycérides.

Les huiles (palme, olive, arachide) sont des lipides simples composés à partir d'acides gras à faible nombre d'atomes de carbone (14 C: Acide palmitique, 22 C: Acide arachidonique, etc.), au-delà (25 à 35 C) on entre

dans le domaine des graisses.

Parmi les acides gras on distingue ceux dont chaque atome de carbone est lié à 2 atomes d'hydrogène et ceux où certains atomes de carbone ne sont liés qu'à un seul. Dans la chaîne des atomes de carbone existe alors une double liaison entre 2 atomes et apparition d'un «accident» dans la chaîne régulière en zig-zag de l'acide gras.



Cet «accident» entraîne une moins bonne fluidité de la molécule qui se lie plus difficilement aux 3 fonctions alcool du glycérol.

Les acides gras insaturés qui présentent 3 «accidents» de ce type sont souvent nocifs car leur molécule a une forme compliquée qui ne permet pas aux enzymes de les hydrolyser aisément. Il s'ensuit une accumulation de graisse parfois nocive dans l'organisme, il en est ainsi pour l'acide érucique (contenu dans

certaines variétés de colza) qui provoque des dépôts graisseux dans l'organisme (particulièrement dangereux au niveau du coeur).

Les lipides complexes

Ce sont des lipides dans lesquels l'une des fonctions alcool du glycérol est estérifiée par un acide autre qu'un acide gras. Ainsi les phospholipides, abondants dans les poissons et crustacés, et nécessaires à la constitution des cellules nerveuses du cerveau et de la moelle épinière, en particulier chez les enfants, sont des triglycérides comportant un radical acide phosphorique.

- Les lipides insaponifiables sont constitués non plus avec du glycérol mais avec d'autres acides gras. Exemples: le carotène; le cholestérol (obtenu à partir du stérol); les cires: les terpènes (lipides du latex).

Acidité grasse libre - rancissement

Sous l'action des lipases (estérases), les lipides s'hydrolysent en acide gras et alcool. La teneur en acides gras libres est souvent un critère de l'activité enzymatique du milieu (soit métabolisme interne de la graisse, soit action des lipases de la microflore présente). En général l'activité des lipases est faible en début de stockage puis augmente après plusieurs mois. En présence de l'oxygène de l'air les acides gras libres vont s'oxyder et donner naissance à des produits nauséabonds typiques du rancissement qui déprécie le produit. Ce rancissement demande d'importantes quantités d'oxygène, ainsi pour une môle d'acide oléique $C_{16}H_{32}O_2$, dont le poids moléculaire est de 288 g, il faut une môle d'oxygène, soit 32 g, ce qui représente 112 l d'air. Dans les céréales, le rancissement s'observera principalement au niveau du germe dans lequel se trouve la plus grande partie des matières grasses (riz 1,5 % - sorgho 3 % - maïs 5 %). L'oxydation est accélérée par les rayonnements ultraviolets et la température. Il convient donc de conserver les produits dans un endroit frais, obscur et sans contact avec l'air.

Pour l'huilier l'acidité grasse libre a deux inconvénients. Le premier est la nécessité d'éliminer les acides gras présents pour éviter le rancissement ultérieur de l'huile: c'est l'opération de neutralisation par la soude (qui entraîne une perte quantitative d'huile). Le second inconvénient est la nécessité d'éliminer les produits de rancissement. Étant volatils ils sont extraits par barbotage de vapeur à 200° C. Pour éviter le rancissement de l'huile chaude, l'opération est conduite en absence d'air.

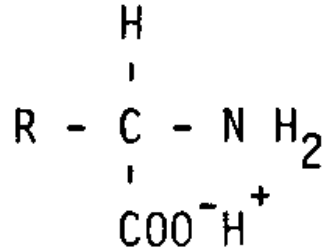
c) LES PROTIDES

Ce sont les matières organiques azotées. Outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, elles renferment de l'azote. La teneur en protides est mesurée par dosage de l'azote (méthode KJELDAHL) et multiplication du résultat par un coefficient conventionnel différent selon les professions pour des raisons historiques. En alimentation humaine le coefficient est de 5,7; en alimentation animale de 6,25. Il est important de savoir à quelle convention il est fait référence dans les transactions commerciales (dans le commerce des tourteaux d'arachide ou de soja entre autres). Scientifiquement le coefficient 6,25 semble le plus proche de la réalité.

Les protides se classent en: éléments simples, peptides et protéines.

Les éléments simples

Ce sont les Acides Aminés, ainsi nommés car il possèdent à la fois une fonction acide (radical carboxyde $\text{COO}^{-}\text{H}^{+}$) et une fonction amine (NH_2).



- 21 acides aminés ont été répertoriés qui diffèrent par la longueur du radical R et la présence d'autres éléments. Rappelons que certains d'entre eux sont difficilement synthétisés par l'homme (lysine, méthionine, cystine). Ils sont dits indispensables, c'est-à-dire qu'ils doivent être présents en quantité suffisante dans les aliments. En général les céréales contiennent peu d'acides aminés indispensables et d'autres aliments doivent les accompagner. Les légumineuses et la viande en sont plus riches.

Les peptides

Ce sont des associations d'acides aminés avec élimination d'eau entre un radical acide et un radical amine. Cette liaison peut être rompue par hydrolyse sous l'action d'enzymes.

Les protéines

Ce sont des assemblages d'un très grand nombre d'acides aminés ($n \times 10\ 000$) dans un ordre spécifique ce qui conduit à un très grand nombre de combinaisons et de formes possibles. A titre d'exemple, citons quelques protéines connues:

Hémoglobine: protéines du sang spécifique du transport de l'oxygène grâce à la présence de fer actif

passant de l'état ferreux ++ à l'état ferrique +++

Chlorophylle: dans les végétaux,

Enzymes: molécules indispensables au métabolisme, ce sont des assemblages complexes de chaînes d'acides aminés dont la forme va permettre le contact entre les fonctions chimiques, donc les réactions et en particulier l'hydrolyse (amylases, lipases, etc.) sans exiger la mise en jeu d'énergies importantes (par exemple l'hydrolyse du saccharose par l'acide chlorhydrique demande 12 kcal/mole alors que 3 kcal/mole seulement sont nécessaires en présence d'enzymes).

Les protéines sont empiriquement classées selon leur solubilité dans différents solvants (eau, alcool, eau + base). Dans les céréales on rencontre surtout des protéines solubles dans l'alcool et appelées prolamines: gliadine du blé; zéïne du maïs, kaffirine du sorgho. N'étant pas solubles dans l'eau ces prolamines permettent de préparer des pâtes et non pas des soupes. Le blé contient un assemblage particulier de composés solubles dans l'alcool (gliadines) et solubles dans l'eau + base (gluténines) appelé GLUTEN dont la propriété est de «lever» par fermentation, ce qui permet de fabriquer le pain dit «français» alors que celui obtenu avec les autres céréales ne lève pas. Ce gluten est très sensible à la température, aussi la conservation des farines de blé est-elle délicate en zone tropicale.

d) LES VITAMINES

Éléments chimiques complexes, les vitamines jouent un rôle important dans la nutrition car elles interviennent au niveau des fonctions essentielles de l'organisme. Une carence en vitamines entraîne souvent de graves troubles. Dans les grains, les vitamines sont surtout concentrées au niveau du germe et des enveloppes. Lors de la mouture une partie sera donc perdue dans les sons. Dans le riz cependant l'étuvage permettra aux vitamines (hydrosolubles) de se répartir de façon plus homogène dans le grain et

seule une faible part sera perdue lors de l'usinage.

1.1.2.2. Eau

Élément indispensable à la vie, l'eau est présente dans les grains sous différentes formes:

- l'eau de dissolution dans les vacuoles des cellules: c'est une eau que l'on qualifie de «libre»;
- l'eau d'imbibition associée aux colloïdes (protides)
- l'eau de constitution très fortement fixée aux molécules.

L'eau a un rôle physique. Elle maintient les structures cellulaires, elle permet le transport de gaz, de sels minéraux, de colloïdes et assure une bonne conductibilité thermique. Elle a également un rôle chimique important en intervenant dans les hydrolyses et surtout en facilitant les réactions du métabolisme. A une certaine teneur dans le grain, elle va favoriser les attaques par les micro-organismes. La teneur en eau du grain peut être exprimée de deux façons différentes:

- Par rapport à la matière sèche:

c'est le rapport entre le poids de l'élément dosé P_x et le poids de l'échantillon sec P_{MS} , après élimination de son eau

$$x \% MS = \frac{P_x}{P_{MS}} \times 100$$

c'est généralement la définition utilisée par les scientifiques.

- Par rapport à la matière humide:

c'est le rapport entre le poids de l'élément dosé P_x et le poids total de l'échantillon

$$x \% MS = \frac{P_x}{P_{MS} + P_{eau}} \times 100$$

c'est la définition employée par les utilisateurs (consommateurs, meuniers, fabricants d'aliments du bétail...) et c'est celle qui est retenue pour indiquer la teneur en eau qui sera donc le rapport du poids d'eau au poids total de l'échantillon

$$H \% = \frac{P_{eau}}{P_{MS} + P_{eau}} \times 100$$

Par exemple lorsque l'on parle d'un sorgho à 12 % d'humidité cela signifie que dans 100 g de produit brut il y a 12 g d'eau (par rapport à la matière sèche cette humidité est de:

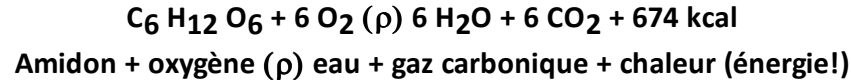
$$12 / (100 - 12) \times 100 = 13,6 \%$$

1.1.2.3. Réactions du métabolisme

Ce sont les réactions de la vie caractérisées par des dégradations de la matière organique (catabolisme) en éléments simples qui peuvent être recombinaés pour synthétiser une nouvelle matière vivante (anabolisme). Ces réactions qui dans certaines conditions peuvent être accélérées, ralenties, voire bloquées, consomment de l'énergie. Ce sont les glucides, et notamment l'amidon, qui constituent la principale réserve d'énergie.

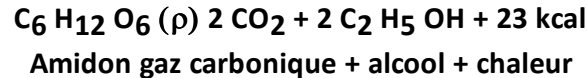
- Dégradation des glucides

La respiration qui a lieu en présence d'air (milieu aérobie) est une manifestation de l'activité vitale du grain. Appelée autrefois «combustion» elle peut être schématisée par la réaction suivante



Dans la réalité, la réaction est beaucoup plus complexe et se déroule par étapes successives.

En l'absence d'oxygène (milieu anaérobie) la dégradation est due à des fermentations de type alcoolique (parfois lactique ou acétique) schématisées par la réaction:



Cette destruction incomplète est donc beaucoup moins productrice d'énergie, les produits formés contenant encore une énergie importante (alcool).

- Dégradation des lipides

Une hydrolyse des lipides va donner des acides gras libres qui, s'ils sont insaturés, vont pouvoir s'oxyder en présence d'air. On observera alors un rancissement des produits.

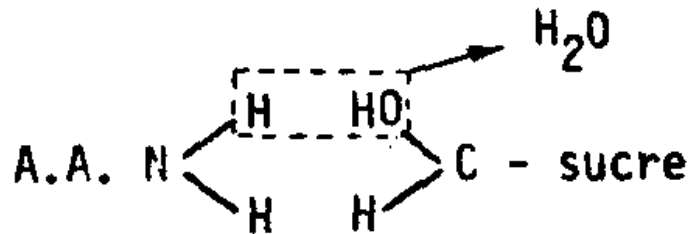
- Dégradation des protides

Pour être assimilées, les protéines doivent être découpées en leurs éléments constitutifs de base que sont

les acides aminés. Cette hydrolyse est obtenue par l'action d'enzymes (Protéases).

Les réactions du métabolisme mettent en relief l'action des molécules particulières que sont les enzymes. Protéines complexes, ce sont des catalyseurs de réaction (économiseurs d'énergie) qui agissent de façon spécifique vis-à-vis du substrat. L'action enzymatique, relativement complexe, est conditionnée par l'acidité du milieu mais également par la température. L'optimum des réactions se situe vers 40° C. Les faibles températures (vers 0° C) ralentissent considérablement les réactions alors que de fortes températures (à partir de 70° C) peuvent entraîner une dénaturation des protéines. Cette dénaturation se caractérise par l'inactivation des enzymes (perte de pouvoir germinatif des semences) et la coagulation des protéines, puis, si elle est plus poussée, par leur insolubilisation qui entraîne une perte de valeur nutritive du produit. Les hautes températures peuvent également être à l'origine des réactions particulières que sont les réactions de Maillard. Ces réactions sont extrêmement complexes et nous n'en présenterons les effets que de façon succincte.

La réaction se caractérise par une liaison pratiquement indestructible entre un sucre réducteur et un acide aminé. Elle peut être schématisée comme suit:



Les produits de la réaction ont une coloration brune et une saveur caractéristique de « grillé » (à ne pas

confondre avec la caramélisation obtenue par chauffage de sucre pur).

Bien qu'elle puisse se produire dans une gamme très large de températures, elle apparaîtra surtout à partir de 100° C et sera favorisée par les faibles teneurs en eau (7 % à 15 %).

Cette réaction porte sélectivement sur les acides aminés basiques tels que la lysine qu'elle ne détruit pas mais qu'elle rend indisponible. Cependant, les produits dérivés des céréales (pain) ayant une valeur avant tout énergétique, on considère généralement que la perte de valeur nutritive qu'engendre la réaction de Maillard est largement compensée par l'augmentation de valeur gustative qu'elle apporte.

1.2. Facteurs d'altération des grains

[1.2.1. Altérations et qualité des grains](#)

[1.2.2. Vie du complexe grain - micro-organismes](#)

[1.2.3. Agents extérieurs de dégradation des grains](#)

1.2.1. Altérations et qualité des grains

Différentes causes peuvent être à l'origine d'une altération des grains au cours de leur conservation.

- Altérations mécaniques dues aux manutentions qui peuvent détériorer les enveloppes du grain ou le briser, le rendant ainsi particulièrement sensible aux autres facteurs d'altération.**
- Attaques de prédateurs extérieurs à la graine (insectes, rongeurs...) (voir plus loin).**

- **Altérations biochimiques et chimiques. Nous les avons rappelées succinctement en abordant les réactions du métabolisme.**

- **Altérations microbiologiques. Les micro-organismes (moisissures, bactéries) forment avec les grains un complexe indissociable Grain-Micro-organismes). Dans certaines conditions de température et d'humidité, les micro-organismes peuvent connaître un développement rapide. Leur action modifie les qualités du grain (perte de pouvoir germinatif, altération des qualités organoleptiques et alimentaires)... et peut entraîner des risques sanitaires (bactéries pathogènes, mycotoxines).**

L'ensemble de ces altérations va modifier la qualité des produits stockés. Cette notion de qualité est essentielle et différents critères permettent de l'apprécier.

- **Caractéristiques physiques: teneur en eau, température, poids spécifique, taux d'impuretés (matières inertes, grains étrangers, grains endommagés, brisures), infestation par les déprédateurs (insectes) et les micro-organismes.**

- **Utilisation du grain:**

Qualité alimentaire: (caractères organoleptiques, absence de toxines et de résidus de pesticides).

Qualité nutritionnelle: donnée importante dans la mesure où les grains restent, dans de nombreuses régions, la base de l'alimentation.

Qualité technologique: définie selon la destination du produit, les critères peuvent varier suivant les industries de transformation.

Qualité germinative:

dans le cas des semences (en brasserie, ce critère pourra être considéré comme technologique).

La valeur de la qualité des produits est déterminée par des analyses, mesures et tests de laboratoire très diversifiés.

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

1.2.2. Vie du complexe grain - micro-organismes

1.2.2.1. Chaleur dégagée par une masse de grains

Nous avons vu que la respiration était l'expression du métabolisme des grains et des micro-organismes qui leur sont associés. Les processus vitaux peuvent être schématisés par les réactions de dégradation d'un glucide simple.

En présence d'oxygène la dégradation se concrétisera par:

- une perte de matière sèche
- un dégagement de gaz carbonique
- une production d'eau

- **une production de chaleur**

Cette réaction est couramment observée dans les masses de grains stockées humides, elle provoque dans un délai très bref (quelques heures à quelques jours) une forte élévation de température, le développement des moisissures, la germination et la prise en masse de l'ensemble du lot.

La vitesse de dégradation du produit pourra être appréciée de façon précise en laboratoire, en mesurant la quantité de gaz carbonique (CO²) dégagée par 100 grammes de grain (matière sèche) en 24 heures (Fig. 4).

Du dégagement de gaz carbonique, la quantité de chaleur produite se déduit par la relation:

q = 1,07 d dans laquelle: d = mg CO₂/24 h/100 g MS

q = mth/heure/tonne matière
sèche

Des formules empiriques permettent de calculer le dégagement de chaleur d'une masse de grain.

La plus simple, utilisable jusqu'à environ 28° C est de la forme $q = K e^{a\theta}$

où

q = mth/heure/tonne de matière sèche

k = constante liée à l'humidité du produit

a = constante (0,139 pour les céréales)

θ = température en °C

Exemple: - valeur de K pour du maïs.

Humidité % MH	16	17	18	19	21
K	0,463	0,689	1,035	1,581	3,411

Jusqu'à 28 % d'humidité, le dégagement de chaleur double tous les 1,5 % d'humidité (au-delà de 30 % l'influence de l'humidité sera plus faible: doublement tous les 6 % environ).

Fig. 4: Production de CO₂ de différentes graines.

- valeur de la fonction $e^{a\theta}$

Température (°C)	5°	10°	15°	20°	25°
$e^{a\theta}$	2,005	4,020	8,03	16,10	32,30

En première approximation on vérifie que le dégagement de chaleur double lorsque la température s'élève de 5° C. Au-delà de 28° C l'effet de température diminue progressivement et le dégagement de chaleur devient proportionnel à la durée de stockage.

Les deux principaux facteurs du dégagement de chaleur sont donc la teneur en eau et la température. Ce ne sont pas les seuls; ainsi la date de récolte peut avoir une influence. On constate que du grain récolté tardivement conserve après séchage une intensité respiratoire supérieure à celle du grain qui n'a pas subi de dessications et réhumidifications successives. Ceci peut conduire à préférer un séchage artificiel précoce à un séchage naturel prolongé sur pied (mais, riz).

1.2.2.2. Incidence de la température

La température joue un rôle très important dans la conservation des produits car elle conditionne non seulement la vitesse de dégradation du complexe grain-micro-organismes mais aussi la vitesse de développement des micro-organismes (optimum spécifique de développement et sélectivité des cortèges floristiques: espèces thermophiles, thermotolérantes) et des insectes (voir plus loin). Pour les semences, la température constitue également un facteur essentiel de conservation du pouvoir germinatif qui est détruit dès que l'on dépasse une quarantaine de degrés pour les céréales et 350 pour les oléagineux.

Seuils moyens de développement:

Moisissures et bactéries : -8° C à +80° C

Insectes : 13° C à 41° C

Seuils de germination : 16° C à 42° C

La conductibilité thermique des grains étant faible, la chaleur produite s'accumule et provoque l'auto-accélération des phénomènes de dégradation. Pour éviter ces inconvénients, il est possible (nécessaire!) de procéder à une ventilation de maintien dont le but n'est pas de bloquer le métabolisme mais seulement d'évacuer la chaleur qu'il dégage afin d'éviter son accélération.

L'effet de la température est étroitement lié au facteur essentiel qu'est la teneur en eau de produit.

1.2.2.3. Incidence de la teneur en eau

L'humidité du produit stocké intervient à plusieurs titres dans les processus de dégradation:

- **une forte teneur en eau signifie une eau faiblement ou non absorbée et solvante qui favorise la mobilité des constituants à l'intérieur du grain et accélère les réactions de dégradation interne,**

- cette eau «disponible» permet aux bactéries, levures et moisissures de se développer et d'accroître ainsi l'altération du grain qui leur sert de substrat.

Nous avons vu que les grains constituent un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'ils ont la faculté d'échanger de l'eau (sous forme vapeur) avec le milieu ambiant. A une température donnée, cet échange est caractérisé par un équilibre entre l'eau contenue dans le grain et l'eau (vapeur) présente dans l'air qui l'entoure: c'est l'équilibre Air-Grain. Ce point faisant appel à la notion d'humidité relative de l'air, il nous semble utile d'en rappeler la définition.

L'humidité relative de l'air (ou degré hygrométrique) est le rapport (en %) de la pression partielle de vapeur d'eau (P_v) dans l'air à la pression de vapeur saturante (P_s) à la même température θ :

$$H \% = \frac{P_v}{P_s} \times 100.$$

Elle est également définie comme le rapport (en %) du poids de vapeur d'eau contenu dans 1 kg d'air au poids maximum de vapeur que peut contenir cet air lorsqu'il est saturé (à une température donnée).

$$H = \frac{\text{Poids de vapeur d'eau contenu dans 1 kg d'air}}{\text{Poids de vapeur d'eau contenu dans 1 kg d'air saturé}} \times 100$$

L'air sec a le pouvoir d'absorber de l'eau vapeur jusqu'à saturation.

L'air est dit *saturé* lorsqu'il ne peut plus absorber d'eau, il a alors une humidité relative de 100 %. La quantité maximum de vapeur d'eau que peut contenir l'air varie très fortement avec sa température; comme l'indique le tableau suivant:

POIDS DE VAPEUR D'EAU CONTENU DANS 1 KG D'AIR SEC à DIVERSES TEMPÉRATURES

Température de l'air ° C	0	10	20	30	40
Poids maximum de vapeur d'eau (en g)	3,9	7,9	15,2	28,1	50,6
Température de l'air ° C	50	60	70	80	90
Poids maximum de vapeur d'eau (en g)	89,5	158,5	289,7	580,0	1 559

Le réchauffage de l'air augmente la quantité d'eau vapeur qu'il peut contenir, il augmente donc son «pouvoir séchant».

Exemple: Humidité relative d'un air à 40° C contenant 25,3 g de vapeur d'eau par kilogramme

$$H \% = 25,3/50,6 \times 100 = 50 \%$$

Application 1: Humidité relative de cet air contenant 25,3 g de vapeur d'eau par kilogramme à 30° C

$$H \% = 25,3/28,1 \times 100 = 90 \%$$

Application 2: Poids de vapeur d'eau contenu dans 1 kg d'air à 60° C et 40 % d'humidité relative

$$m = (158,5 \times 40)/100 = 63,4 \text{ g.}$$

Équilibre air-grain

Les grains et l'air interstitiel mis en contact prolongé tendent vers un équilibre caractérisé par:

- une même température,
- une même tension de vapeur d'eau.

Pour chaque produit (voire même chaque variété du produit), cet équilibre est représenté par une «courbe d'équilibre hygroscopique» tracée point par point. Pour une température donnée, à chaque valeur de l'humidité relative de l'air correspond une valeur de l'humidité du grain (courbe à allure sigmoïde). Prenons l'exemple du riz (Fig. 5):

A 25° C, le riz à 15 % d'humidité est en équilibre avec de l'air à 78 % d'humidité relative. Si la masse de riz est ventilée avec de l'air à 25° C et à 60 % d'humidité relative, elle tendra vers une humidité de 12,5 %.

Application: Quelle sera, à 25° C, l'humidité d'équilibre d'un riz à 15 % d'humidité ventilé avec de l'air à 85 % d'humidité relative.

Réponse: le riz se réhumidifiera jusqu'à 16,4 %.

Les recherches ont montré que la fraction d'eau comprise entre la courbe d'équilibre et la partie linéaire extrapolée est une eau suffisamment libre pour constituer un milieu de diffusion favorable aux réactions chimiques et enzymatiques, ainsi qu'au développement des micro-organismes (Fig. 6).

[Fig. 5: Courbe d'équilibre air-riz.](#)

Pour une température donnée, il est possible de définir des niveaux minimum d'humidité relative au-dessous desquels les réactions sont très ralenties, voire annulées. En se reportant à la figure n° 6 établie à une température de 20° C, on note qu'entre 25 % et 60 % d'humidité relative il n'y a pas d'eau solvante disponible ce qui bloque les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Seules les réactions de Maillard (cf. 1.1.2.3) peuvent avoir lieu au-dessous de 50 % d'H. R. si la température est élevée

(séchage) ou si la durée de conservation est très longue.

L'humidité maximum recommandée pour le stockage est souvent définie comme étant l'humidité d'équilibre avec une humidité relative de l'air de 65-70 % au-dessous de laquelle le développement des micro-organismes et l'activité enzymatique sont arrêtés.

Taux d'humidité maximum pour un stockage de longue durée:

Maïs	13 %	Haricots		Arachide	7 %
Blé	13 %	(Phaseolus vulgaris)	15 %	Cacao	7 %
Millet	16 %			Coprah	7 %
Sorgho	12,5 %	Pois à vache		Noix de palme	5 %
Paddy	14 %	(Pisum sativum)	15 %	Café	13 %
Riz	13 %				

[Fig. 6: Courbe de sorption montrant la présence d'eau solvante \(Guilbot et Lindenberg\).](#)

[Fig. 7: Réactions d'altérations suivant l'humidité.](#)

L'équilibre hygroscopique air-produit est en réalité différent selon qu'il est atteint par dessiccation de la graine (séchage = désorption) ou par réhumidification (sorption). La courbe figurative de l'équilibre de désorption est toujours légèrement au-dessus de celle de sorption. En général dans la pratique il n'est pas tenu compte de ce «phénomène d'hystérésis».

Les points que nous venons d'aborder concernant l'humidité montrent combien ce facteur est essentiel

dans la conservation des produits agricoles.

1.2.2.4. Action combinée de la température et de l'humidité -diagramme de conservation

Les facteurs d'altération (température et humidité) que nous avons envisagés séparément sont en fait étroitement liés. Ainsi, plus la température est élevée et plus il est nécessaire que l'humidité soit faible pour assurer une bonne conservation. A titre d'exemple, reprenons les «courbes d'équilibre Air-Grain» (Fig. 8). Ces courbes étant établies à une température donnée, pour différentes températures elles forment un réseau de courbes isothermes.

Soit du maïs à 15 % d'humidité et à 25° C; son point figuratif est dans la zone d'instabilité. Dans les pays disposant de température froide (températures fraîches en automne en France), il est possible de refroidir progressivement le grain par ventilation pour l'amener dans une zone proche de la stabilité: c'est le chemin n° 1. Par contre, dans les régions chaudes, le grain conserve toujours une température importante. Il n'est donc possible d'atteindre la zone de stabilité qu'en abaissant son humidité: c'est le chemin n° 2.

[Fig. 8: Coure d'équilibre - air-maïs-grain.](#)

[Reprenons la courbe au niveau de la zone critique de stabilité.](#)

Ce schéma montre pourquoi, dans les régions tropicales, les taux d'humidité maximum recommandés sont toujours inférieurs à ceux des régions tempérées et froides. En outre le métabolisme du complexe grain-micro-organismes est fortement ralenti à basse température.

Ceci explique également les problèmes de conservation souvent observés avec les céréales importées. En France, le blé à 15 % d'humidité peut être conservé en le refroidissant. Ce même blé, déchargé en régions chaudes, se réchauffe et son point figuratif sur le diagramme de conservation (Fig. 9) quitte la zone de

bonne conservation. Il risque alors de s'altérer rapidement. Deux solutions sont envisageables:

- **séchage du produit à l'arrivée pour l'amener aux «normes» locales de conservation. Ceci nécessite des installations de séchage dans le pays importateur.**
- **achat de produits «secs» qui impose dans les transactions commerciales une norme plus rigoureuse en matière de taux d'humidité. Le séchage est alors réalisé au niveau du pays exportateur avant chargement.**

Diagramme général de conservation (Fig. 9)

BURGESS et BURRELL ont conçu un diagramme général de conservation qui schématise clairement les zones d'action des différents facteurs d'altération en fonction des deux paramètres: température et humidité du produit.

1.2.2.5. Micro-organismes

Les micro-organismes associés aux grains sont les bactéries, les levures et les moisissures. Ces différents agents biologiques entrent en compétition lorsque les conditions du milieu permettent leur présence simultanée. Nous avons vu qu'ils peuvent se développer dans une plage de température étendue de - 8° C à + 80° C et que par rapport à l'humidité relative de l'air, leurs limites inférieures moyennes de développement sont les suivantes:

bactéries: 90 % - levures: 85 % - moisissures: 65 %

Ce sont donc les moisissures qui constituent la menace la plus fréquente en cours de stockage.

a) LES MOISSURES

Au niveau du stockage, les genres les plus représentés sont les *Aspergillus* et les *Penicillium* (Fig. 10).

[Fig. 9: Diagramme de conservation des céréales.](#)

[Fig. 10: Schéma *Penicillium* et *Aspergillus*.](#)

En pratique, du champ au silo, les espèces présentes dans les grains évoluent et l'on distingue une flore du champ, puis une flore intermédiaire à laquelle se substitue une flore de stockage: chacune d'entre elles ayant ses espèces caractéristiques

FLORES	fréquentes	fidèles
du champ	• <i>Fusarium culmorum</i>	• <i>Alternaria tenuissima</i>
	• <i>Fusarium poae</i>	• <i>Epicoccum nigrum</i>
intermédiaire	• <i>Verticillium</i> sp.	• <i>Cladosporium cladosporioides</i>
	• LEVURES (<i>Candida</i> sp.)	• <i>Aureobasidium pullulans</i>
de stockage	• <i>Aspergillus niger</i>	• <i>Aspergillus repens</i>
	• <i>Penicillium frequentans</i>	• <i>Penicillium cyclopium</i>
		• <i>A. versicolor</i>
		• <i>P. puberulum</i>
• <i>A. flavus</i>	• <i>A. candidus</i>	

<ul style="list-style-type: none">• P. stoloniferum• A. amstelodami	<ul style="list-style-type: none">• A. echinulatus• P. spinulosum
--	--

Les trois facteurs essentiels de développement des micro-organismes sont l'humidité, la température et l'atmosphère interne, auxquels s'ajoutent des facteurs tels que le pH, la nature du substrat et des facteurs biotiques (compétitivité des espèces...

- Humidité

Les moisissures ne se développant pas à une humidité relative de l'air inférieure à 65 % en général, l'humidité d'équilibre de chaque denrée avec cette valeur de 65 % est retenue comme seuil d'humidité de sauvegarde, lequel varie selon la denrée et la température. Seules les moisissures xérotolérantes se développent à proximité de ce seuil, la plupart des espèces préférant les humidités relatives comprises entre 85 et 100 %.

- Température

Nous avons vu que le domaine de développement des microorganismes, en fonction de la température, était très vaste: de - 80 C à + 800 C. Pour chacune des espèces de moisissures, il est cependant plus restreint
- Ex.: Aspergillus flavus: de 12 à 45° C. L'optimum de développement se situe dans la plupart des cas entre 20° C et 40° C (Aspergillus flavus: 35° C).

Composition des gaz du milieu (atmosphère interne)

Les moisissures sont réputées aérobies, cependant certaines peuvent se contenter de traces d'oxygène (espèces micro-aérophiles). D'autres enfin, telles que les Mucorales, résistent à l'anaérobiose.

Sous l'action de ces trois facteurs on observe une évolution de la microflore schématisée ci-dessous:

Fig. 11: Evolution de la microflore sur un produit divisé (mélange de céréales). «Effet de masse» sous la dépendance de 3 paramètres essentiels. (PELHATE).

b) ALTÉRATIONS DES GRAINS

Les moisissures peuvent altérer, voire détruire, la vigueur et le pouvoir germinatif des semences.

Altération des grains de consommation

Les micro-organismes altèrent les caractères organoleptiques.

- aspect: pigmentations anormales - décoloration
- odeur: nauséabonde de moisi ou de terre (dans les grains échauffés)
- goût: altération du goût qui rend les grains inappétents ou inutilisables en industrie alimentaire (arrière-goût des fèves de cacao ou des grains de café).

Diminution de la valeur du produit

- perte de matière sèche: les micro-organismes se développent aux dépens des éléments constitutifs du grain. Ils dégradent les glucides, les protides et certains éléments vitaminiques. Les champignons et notamment l'*Aspergillus* sp. et *Penicillium* spp. ont une activité lipolytique importante. Elle se traduira par une diminution de l'huile contenue dans le grain et une augmentation de la teneur en acides gras libres avec des conséquences particulièrement graves pour les oléagineux (cf. 1123).

Le principal problème posé par l'envahissement des grains par les micro-organismes est certainement celui

des risques sanitaires qu'ils peuvent engendrer: risques de mycoses et d'allergie mais aussi et de façon plus grave pour la santé, les risques de mycotoxicoses. En effet, au cours de leur développement, certaines moisissures peuvent produire des substances toxiques pour l'homme et les animaux. Le tableau ci-après présente les principales:

PRINCIPALES TOXINES SUR GRAINS (d'après JEMMALI, 1979)

Champignons	Mycotoxines	Substrat naturel	Effets pathologiques	Hôtes
Claviceps purpurea	ergotamine	seigle...	gangrène des extrémités	(homme), animaux
A. flavus	aflatoxines	arachides	syndrome hépatique	volailles
A. parasiticus	B1-B2; G1-G2; M1-M2; P1	céréales	cancers du foie homme	bétail
A. ochraceus	ochratoxines	maïs, orge	infiltration du foie	volailles
P. viridicatum			lésion du rein	
Fusarium graminearum	zéaralénone	maïs	effets œstrogéniques	bétail
P. citrinum	citrinine	céréales vêtues	syndromes rénaux	porcs
A. clavatus	patuline	céréales	neurotrope	bétail
P. expansum			sarcomes de la peau	

Byssochlamys P. cyclopium	ac. pénicillique	céréales	sarcomes, pellagre, coma	animaux divers
Fusarium spp.	T2 toxine	maïs	syndrome hémorragique	animaux divers
A. versicolor	stérigmatocystine	blé	cancers du foie	animaux de laboratoires

L'exemple le plus connu et souvent cité est celui de l'aflatoxine découverte en 1960 par des chercheurs anglais en analysant les causes de la «maladie» x «des dindons». Ils découvrirent que ce facteur toxique était lié à la présence d'*Aspergillus flavus* s'étant développées sur les tourteaux d'arachides ayant servi de nourriture aux animaux.

Sur l'homme et les animaux, cette toxine agit au niveau du foie en entraînant des nécroses cellulaires et la mort par hépatite ou cirrhose. L'aflatoxine est également un puissant cancérigène.

En France, à la suite d'une importation de tourteaux d'arachide contaminés, un arrêté du 29 mai 1980 a fixé les teneurs limites en aflatoxine à :

0,5 ppm pour les végétaux matières premières

0,02 ppm pour les aliments du bétail laitier et les volailles

0,05 ppm pour les aliments des autres animaux.

(ppm = partie par million = 1 g par tonne).

Sachant que l'aflatoxine se retrouve en partie dans le lait des animaux ayant consommé des produits contaminés et que les nourrissons et les enfants sont les plus sensibles, l'Organisation Mondiale de la Santé

a fixé à 0,5 ppb (= 1 g pour 2 000 tonnes) la limite de contamination admissible des laits de consommation.

Il est probable que les recherches actuellement menées sur les mycotoxines conduiront à définir des normes supérieures admissibles de plus en plus contraignantes.

Dans les pays tropicaux, ce risque doit être suivi avec une très grande attention car les produits végétaux constituent souvent la base de l'alimentation humaine et le «filtre» que, dans d'autres pays, peuvent représenter les animaux, est souvent absent dans la chaîne alimentaire.

Composition du milieu ambiant

Les grains constituent un matériau poreux où 30 % à 50 % du volume en place est occupé par de l'air. Un équilibre (température - humidité) s'établit entre cet air interstitiel et le grain. Enfin, la composition de l'atmosphère intergranulaire détermine le métabolisme aérobie ou anaérobie des grains (Rappel de la composition de l'air

azote N ₂	78 %
oxygène O ₂	21 %
autres gaz	1 %
dont gaz carbonique CO ₂	0,03%).

Dès que la teneur en gaz carbonique atteint 10 % le processus de dégradation n'est plus une oxydation mais une fermentation de type alcoolique ou acétique qui entraîne une modification de la qualité du produit (odeur, goût).

Le gaz carbonique bloque généralement le développement des moisissures. Cependant certaines moisissures peuvent se développer à de très faibles pressions d'oxygène (O₂). A moins de 1 % d'O₂ certaines levures peuvent prospérer et dans bien des cas une faible teneur en O₂ n'inhibe pas le développement des bactéries qui proliféreront d'autant mieux qu'elles ne trouveront plus de microorganismes antagonistes. L'ensemble de ces remarques s'applique surtout au stockage de grains humides. La connaissance précise des seuils d'humidité critiques et des seuils de composition des gaz du milieu fait actuellement l'objet de recherches qui devraient permettre de proposer des alternatives au séchage pour la conservation des récoltes humides.

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

1.2.3. Agents extérieurs de dégradation des grains

1.2.3.1. *Insectes déprédateurs des stocks*

Le diagramme de conservation des céréales (Fig. 9) montre qu'il ne suffit pas de satisfaire aux conditions d'humidité (liées à la température) pour résoudre les problèmes de conservation. Les insectes sont une autre cause importante d'altération. Les régions chaudes, avec des températures supérieures à 20° C, sont particulièrement favorables à leur développement. Le chapitre VII consacré à la désinsectisation présente

les différents types d'insectes, les conditions de leur développement et les dégâts qu'ils peuvent occasionner. Seules les principales notions d'écologie de stockage sont présentées ci-après:

Les principaux insectes déprédateurs des stocks appartiennent à deux ordres:

- Les coléoptères dont les ailes membraneuses sont protégées par des «élytres», qui les rendent relativement résistants et leur permet de se déplacer dans une masse de grains.

Exemple: Sitophilus spp ou charançon.

- Les lépidoptères ou papillons, qui possèdent deux paires d'ailes (à écailles), sont fragiles et n'infesteront que la couche superficielle des masses de grains.

Exemple: Sitotroga cerealella ou Alucite des céréales.

[Fig. 12: Sitophilus oryzae \(L.\) \(Calandra oryzae L.\)](#)

[Fig. 13: Sitotroga cerealella \(Oliv.\) \(Doc. DE GESCH\).](#)

Principaux facteurs physiques de la conservation conditionnant la vie des insectes:

- le développement de la plupart des espèces se situe entre 15° C et 35° C et connaît un optimum pour des températures voisines de 25° C - 30° C (températures courantes en région tropicales);

- les populations d'insectes augmentent avec l'humidité jusqu'à ce que le développement des micro-organismes vienne les concurrencer et les détruire. En sens inverse, leur multiplication est très réduite, voire nulle, pour les faibles humidités du grain. Le taux critique d'humidité, pour du

mais par exemple, est de l'ordre de 11 %;

- les insectes ne survivent pas lorsque la concentration en O₂ est inférieure à 2 %. La mortalité est rapide à 0,5 % d'O₂.

Dans les stocks, les insectes peuvent entraîner des dégâts très importants en consommant l'albumen et parfois le germe des grains (c'est en fait, dans bien des cas, la larve vivant à l'intérieur du grain qui occasionne les pertes), en dépréciant les produits par leurs déchets, déjections ou sécrétions, en détériorant les sacs.

Enfin, par les déchets qu'ils produisent dans les grains (farine); l'échauffement et le dégagement de vapeur d'eau qu'ils occasionnent par leur respiration, les insectes tendent à créer un milieu favorable au développement des micro-organismes.

Note concernant les acariens

Les acariens sont des arachnides (4 paires de pattes) de très petite taille (0,5 mm) qui peuvent se développer sur certains produits stockés: bulbes, fruits secs, et se présentent à leur surface sous forme de poussière blanche. Ils sont surtout présents dans les zones tempérées du globe car ils ne supportent pas les hautes températures. Toutefois il est possible de les observer en zones tropicales dans les endroits humides et frais. Les acariens se nourrissent principalement de moisissures jeunes. Leur présence ne présente pas d'inconvénients majeurs, toutefois elle peut conférer au produit un aspect peu engageant et également être à l'origine de certaines allergies pour les manutentionnaires.

1.2.3.2. Rongeurs

Les rongeurs occasionnent également des pertes au cours du stockage non seulement en consommant les produits mais aussi en les souillant et en détériorant les sacs.

Dans les centres de stockage en vrac les dégâts les plus importants sont souvent ceux qu'ils provoquent en rongant les câbles dans les circuits électriques.

Par ailleurs ces animaux transportent des parasites et peuvent être vecteurs de diverses maladies: rage, peste bovine et porcine, etc.

Les principaux rongeurs attaquant les stocks appartiennent à la famille des Muridés représentée par les rats et les souris. Les espèces les plus communes sont:

- **Rattus norvegicus** ou rat gris ou surmulot
- **Rattus rattus** ou rat noir
- **Mus musculus** ou souris

présentes partout dans le monde.

D'autres espèces sont présentes dans des zones géographiques limitées tels le rat de Gambie ou le rat roussard (Arvicauthis) en Afrique. SHUYLER (1970) signale qu'en Égypte les rongeurs s'attaquant aux stocks se répartissent de la façon suivante:

Rattus rattus: 57 % - Mus musculus: 26 % - Rattus norgévicus: 10 % - Arvicauthis: 7 %.

Ces différentes espèces ont des mœurs qui leur sont propres et il est nécessaire de connaître leur biologie pour pouvoir lutter contre elles efficacement. Les méthodes de lutte sont développées au Chapitre VIII «Lutte contre les rongeurs».

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Home](#)"" """"""> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[ar](#).[cn](#).[de](#).[en](#).[es](#).[fr](#).[id](#).[it](#).[ph](#).[po](#).[ru](#).[sw](#)

Chapitre II - Principes de conservation des denrées

[2.1. Notion de qualité](#)

[2.2. Principes de conservation](#)

2.1. Notion de qualité

[2.1.1. Généralités](#)

[2.1.2. Échantillonnage](#)

[2.1.3. Critères de qualité](#)

2.1.1. Généralités

Toute entreprise de stockage des grains nécessite la connaissance de certaines de leurs caractéristiques

physiques dont la plus importante est certainement l'humidité. De plus, les produits agricoles, destinés à la consommation directe ou à des industries de transformation (meunerie, amidonnerie, rizerie, etc.) sont l'objet de transactions commerciales et doivent répondre à un certain nombre de critères de qualité.

L'organisme stockeur recherche des grains ayant une bonne aptitude au stockage, il s'intéresse donc à l'humidité, à la température, au taux d'impuretés, au taux d'infestation par les insectes, au taux d'infestation par les moisissures.

Les industries de transformation recherchent, elles, des lots de grains homogènes, ayant une bonne valeur alimentaire, nutritive et technologique. Ce cloisonnement n'est évidemment pas strict car pour des raisons commerciales ou tout simplement parce que c'est une de ses raisons d'être (offices nationaux), l'organisme stockeur doit aussi s'intéresser à la valeur alimentaire des produits qu'il met sur le marché.

Les critères de qualité des industries de transformation sont relativement bien définis et peuvent être retenus comme critères de sélection dans le domaine de l'amélioration génétique. Dans les pays en développement une grande partie de la production étant autoconsommée, la définition de ces critères est beaucoup plus délicate.

2.1.2. Échantillonnage

Il est impossible de connaître les caractéristiques d'une masse de grains dans son ensemble. On doit donc se limiter à l'étude d'un échantillon dont la qualité première doit être sa représentativité: c'est là tout le problème de l'échantillonnage, ensemble des opérations qui, à partir d'une masse de grains, permet d'obtenir un échantillon sur lequel sont faites les analyses.

2.1.2.1 Prélèvements

La prise d'échantillons élémentaires et leur homogénéisation permet d'obtenir un échantillon global, lequel peut au besoin être réduit pour être aisément manipulable en laboratoire. La masse de l'échantillon est fonction des analyses auxquelles il doit être soumis (la quantité nécessaire à la détermination du poids spécifique est supérieure à celle nécessaire à l'étude des infestations d'insectes).

Plus un lot est hétérogène et plus il est nécessaire de prendre un grand nombre d'échantillons pour en avoir une bonne représentation. A la limite, un lot parfaitement homogène ne nécessiterait la prise que d'un seul échantillon.

a) DENRÉES EN SACS

- *Nombre de prélèvements*

Il est fonction du nombre de sacs livrés:

- de 1 à 10 sacs: chaque sac sera échantillonné,
- de 10 à 100 sacs: 10 sacs seront échantillonnés,
- plus de 100 sacs: le nombre de prélèvements sera égal ou immédiatement supérieur à la racine carrée du nombre total d'unités.

Exemple: Sur 250 sacs: 16 sacs devront être échantillonnés.

- *Modes de prélèvement*

Les prises d'échantillons s'effectuent par vidage des sacs ou, plus couramment, par sondage.

Par vidage des sacs

Les sacs retenus sont vidés sur une aire cimentée propre ou sur une bûche. Après brassage, le contenu de chaque sac est étalé en une couche mince, d'une épaisseur de 10 cm au plus. Une prise d'essai de 1 kg environ est prélevée au hasard de chaque lot ainsi constitué. Quel que soit le mode de prélèvement des échantillons, l'ensemble des différentes prises d'essai est bien mélangé pour constituer l'échantillon global. Enfin ce dernier est *divisé* en sous-échantillons sur lesquels seront effectués les analyses et les contrôles prévus.

Le vidage complet du sac peut être intéressant pour une première analyse visuelle rapide de la qualité du produit livré (propreté, etc.).

Par sondage

C'est une méthode plus couramment employée car elle ne nécessite pas l'ouverture des sacs. Les prises sont effectuées au hasard dans les différentes parties des sacs retenus. Lorsque le nombre de sacs vérifiés représente 10 % du lot, la quantité à prélever sera d'environ 50 g par 100 kg; dans le cas où le contrôle porte sur plus de 10 % des sacs présentés, la quantité à prélever pourra être inférieure à 50 g pour 100 kg sans toutefois qu'elle puisse être réduite à une quantité ne permettant pas de les analyser (au minimum 500 g).

Les matériels utilisés pour les prélèvements sont des sondes à sacs (sondes courtes). Il en existe de très nombreux types suivant les produits à échantillonner (Fig. 14).

b) DENRÉES EN VRAC

On pourra distinguer les prélèvements sur produit à l'arrêt (livraison par remorque ou camion, ou produit en stock) et les prélèvements sur produit en mouvement (vidange des camions, manutention des grains...).

- Grains à l'arrêt**Nombre de prélèvements**

- jusqu'à 15 t: 5 prélèvements élémentaires,
- de 15 t à 30 t: 8 prélèvements élémentaires,
- de 30 t à 50 t: 11 prélèvements élémentaires.

Si le lot est très hétérogène, le nombre de prélèvements peut être augmenté jusqu'à 1 prélèvement élémentaire par 5 t et 10 prélèvements au minimum.

Points de prélèvement**Modes de prélèvement**

Dans bien des cas le prélèvement s'effectue en surface, avec une poussette à main ou tout autre récipient de faible capacité. Cette technique rapide n'est pas particulièrement satisfaisante car, au cours du transport, une ségrégation a pu s'établir entre les différents éléments d'un lot. Les grains cassés et les fines ont tendance à se concentrer au fond de la benne et sur les bords. Il est donc préférable de faire un prélèvement sur toute la hauteur de la masse à l'aide de sondes.

Fig. 14: Sondes. (Doc. Tripette et Renaud.)

2 SONDE à BATEAU, POUR GRAINS,
3 mètres, en éléments démontables de 1 mètre. Rallonge complémentaire de 1 mètre
pour porter à 4 mètres la longueur totale.

3 SONDE à GRAINS,

Conique, largeur de l'ouverture 15 mm, longueur: 250 mm.

4 SONDE MANUTENTION,

en cuivre, pour grains, à cinq compartiments, diamètre 30 mm, longueur 1,06 m.

Une gaine «revolver» permet d'isoler les échantillons.

5 SONDE EN CUIVRE POUR GRAINS,

longueur 1,50 m ou 2 mètres.

Analogue à la sonde «Manutention», mais dix compartiments ou plus sur demande.

Diamètre normal 30 mm.

Diamètre 50 mm sur demande.

6 SONDE à PULVÉRULENTS,

longueur 300 mm, diamètre extérieur 14 mm, acier inoxydable.

7 SONDE à CACAO,

fabrication acier avec pointe aplatie. Longueur de la sonde proprement dite 380 mm, poignée creuse.

Largeur de l'ouverture: de 13 à 21 mm sur 265 mm.

SONDE à CAFÉ,

fabrication acier avec pointe aplatie. Longueur de la sonde proprement dite 330 mm, poignée creuse.

Largeur de l'ouverture: de 10 à 16 mm sur 250 mm.

8 CANNE SONDE EN CUIVRE POUR GRAINS,

à trois compartiments, diamètre 20 min, longueur 0,80 m.
Une gaine «revolver» permet d'isoler les échantillons.

On distingue les sondes manuelles moyennes à différents compartiments, les sondes manuelles motorisées, et les sondes automatiques.

Il existe deux types de sondes manuelles motorisées: les sondes à vis électriques et les sondes pneumatiques.

Les sondes automatiques constituent généralement un matériel sophistiqué et lourd (mise en place d'un portique) uniquement utilisé au niveau de silos importants.

- Grains en mouvement

L'expérience montre que c'est par des prélèvements sur du grain en mouvement que l'échantillonnage est le plus précis et c'est en prélevant la totalité du flux de grain pendant une fraction de temps que l'échantillon est le plus représentatif.

Prélèvement manuel

Il peut être effectué à la vidange des remorques avec du matériel simple et peu onéreux (pelle à grains ou poussette). Sachant qu'une ségrégation a pu s'établir dans la masse du produit au cours du transport (fines sur les bords, grains cassés au fond, etc.) le prélèvement - pendant une vidange lente et régulière - s'effectue en balayant toute la largeur du flot de grains. Plusieurs prélèvements peuvent être faits au cours de la vidange.

Prélèvement automatique

Il existe différents types de préleveurs automatiques. Le prélèvement doit s'effectuer sur la totalité du flux pendant un certain laps de temps. Ces matériels à traversiers ou à coupleurs sont généralement situés dans les conduits verticaux ou obliques des circuits de grains; ils sont conçus pour des prélèvements sur du grain sec et relativement propre (Fig. 18 et 19).

2.1.2.2. Matériels utilisés pour le prélèvement d'échantillons

- Prélèvement manuel

Par pelles, puisettes ou sondes ouvertes ou compartimentées.
Équipement simple et peu coûteux.
Efficacité relative (facteur humain).

SONDES MANUELLES MOTORISÉES

[Fig. 16: Sonde pneumatique. \(D'après ITCF.\)](#)

Prélèvement automatique

[Fig. 18: Principe général d'un préleveur traversier sur masse en mouvement. \(D'après ITCF.\)](#)

[Fig. 19: Préleveur automatique GAMET. \(Doc. Tripette et Renaud.\)](#)

2.1.2.3. Réduction de l'échantillon

L'échantillon global, obtenu après homogénéisation des différents prélèvements pourra dans certains cas être relativement important. Pour le réduire à une taille adaptée aux différentes analyses à effectuer en conservant sa représentativité, il faut utiliser des techniques de division:

- Méthode «du cône»

Elle consiste à mettre le prélèvement en tas et à séparer ce tas en 2 ou 4 parties qui constituent autant d'échantillons.

Cette technique simple, ne nécessite aucun matériel, mais peut entraîner des erreurs.

- «Diviseur Boerner» ou échantillonneur-diviseur conique

Il est formé d'un cône au sommet duquel tombe l'échantillon. A la périphérie du cône les grains sont recueillis en 36 filets qui sont regroupés ensuite et recueillis à la base sur 2 sorties. Ce type de diviseur convient pour un prélèvement ne comportant pas trop de fragments végétaux (Fig. 21).

[Fig. 21: Éléments constitutifs du diviseur BOERNER.](#)

[Fig. 22: Schéma d'un diviseur à rifles \(TPD\).](#)

Des prototypes, du type diviseur BOERNER, plus gros, Sont actuellement à l'étude pour permettre la division du contenu d'un sac entier.

- Diviseur à rifles

Cet appareil, constitué de plusieurs cases permet de diviser l'échantillon en deux. Il est notamment utilisé

pour la division d'échantillons de semences. Toutes les parties de l'appareil sont visibles et facilement accessibles.

Enfin dans les centres où l'on effectue des prélèvements en continu (voir plus haut), on peut adjoindre à l'échantillonneur un diviseur qui sépare le flux de grain en deux ou trois flux représentant au total le 1/10 du flux principal.

2.1.3. Critères de qualité

2.1.3.1. Caractéristiques physiques

- La teneur en eau du grain

C'est un facteur essentiel à connaître pour stocker sans risques et pour acheter ou vendre au juste prix.

Des méthodes empiriques (dureté des grains, tintement dans une boîte métallique, odeur, fluidité) sont encore souvent utilisées mais elles sont subjectives et peuvent se révéler dangereuses. La stabilité des grains ne pouvant être obtenue que pour des valeurs précises de l'humidité que seules des méthodes scientifiques peuvent fournir.

Les appareils de dosage de l'humidité mesurent des phénomènes physiques qui varient selon la teneur en eau

- **perte de poids par séchage poussé;**
- **conductivité et constante diélectrique des grains;**
- **humidité relative de l'air interstitiel, en équilibre avec le produit.**

Les différents doseurs d'humidité sont décrits au chapitre VI.

Ces appareils, bien que présentant encore certains défauts, devraient voir leur emploi se généraliser notamment au niveau des organismes de collecte.

Il est d'autre part souhaitable que ces derniers rémunèrent les producteurs en tenant compte de l'humidité des produits livrés.

- *Le poids spécifique*

Pour certaines céréales et notamment le blé, on détermine un poids spécifique qui est le poids d'un hectolitre (100 l) de grains y compris les impuretés et l'eau. Cette mesure, réalisée en France à l'aide d'une trémie conique de 50 l, permet une appréciation globale de l'humidité, la propreté et la maturité du grain.

- *Les impuretés*

On qualifie d'impuretés:

- les matières inertes représentées par les débris végétaux (rafles, pailles...), les éléments minéraux (graviers, sables...), ou animaux (insectes, débris animaux), des matières diverses (éléments métalliques...), excréments de rongeurs...;
- les graines étrangères constituées par d'autres céréales ou des graines d'autres familles, toxiques ou non toxiques;
- les grains présentant une altération. Par exemple, pour le maïs les grains brisés, les grains avariés ou moisissés, les grains de coloration anormale (échauffés), les grains attaqués par les

déprédateurs, les grains germés...

Ces impuretés ont une action néfaste au niveau du stockage: des morceaux de tiges ou des grains brisés par exemple peuvent favoriser le développement des insectes et des micro-organismes. Elles sont également indésirables au niveau de la transformation des produits. Les impuretés peuvent d'autre part fausser la mesure de l'humidité et du poids spécifique.

La détermination des impuretés est faite en laboratoire, par exemple pour le maïs, sur un échantillon de 200 g. Par tamisage et analyse visuelle, les différentes impuretés sont séparées, classées et pesées pour obtenir le taux d'impureté. Pour cela on utilise des tamis de laboratoire à tôle perforée (trous ronds de 4,5 mm pour le maïs par exemple).

Pour tout produit, il existe des seuils de tolérance au-dessus desquels des réactions de prix interviennent. En France, par exemple pour le maïs:

Tolérance maïs

Grains brisés	4,0 %
Impuretés grains	4,0 %
Grains germés	2,5 %
Impuretés diverses	1,0 %

2.1.3.2. Critères de qualité d'utilisation des grains

Ces critères permettent de définir les valeurs alimentaires, nutritives ou technologiques des grains.

- Qualité sanitaire

- **Absence de toxines. Rappelons que les altérations par les moisissures peuvent avoir des conséquences importantes: + mycotoxicoses (cirrhoses, cancer du foie).**
- **Altération du goût des produits (fèves de cacao, grains de café...**
- **Absence de résidus de pesticides.**

Les dosages des mycotoxines et des résidus de pesticides sont réalisés par des laboratoires spécialisés.

- *Valeur nutritive du produit*

- **Dosage biochimique des éléments nutritifs.**
- **Tests de croissance sur animaux.**
- **Tests de dégustation. Les produits doivent présenter des caractères organoleptiques adaptés aux habitudes alimentaires.**

Délicate à établir, la valeur nutritive n'est pas actuellement prise en compte dans les transactions commerciales.

- *Valeur technologique*

Les critères de valeur technologique des produits sont différents selon les industries de transformation auxquelles ils sont destinés.

- Exemples:**
- **Qualité technologique des blés.**
 - **Maïs: valeur amidonnière.**

- Riz: taux de brisures.

Parmi ces critères l'un, commun à tous les produits, est l'homogénéité des lots. Pour obtenir un produit (farines, semoules, etc.) de qualité standardisée et constante, les industries de transformation ont besoin d'un produit de départ ayant les mêmes qualités. Ceci est pratiquement impossible avec la commercialisation en sacs laquelle ne permet pas le nettoyage, le triage et le classement en lots homogènes ce qui constitue un handicap important à la substitution de céréales importées par les céréales locales.

2.2. Principes de conservation

[2.2.1. Techniques classiques](#)

[2.2.2. Techniques récentes](#)

Dans le premier chapitre, nous avons largement décrit quels étaient les facteurs de dégradation des denrées stockées.

Les techniques mises en œuvre pour assurer une bonne conservation sont celles qui agissent sur ces différents facteurs

- humidité (ρ) technique de séchage
- température (ρ) technique de ventilation - technique du froid
- air interstitiel (ρ) stockage hermétique (atmosphère confinée - gaz neutre - vide)
- agents extérieurs
 - insectes (ρ) désinsectisation

- rongeurs (ρ) dératisation

2.2.1. Techniques classiques

Nous qualifions ainsi le séchage et la ventilation qui sont les techniques les plus fréquemment employées pour éviter la dégradation des denrées stockées.

Le rôle du séchage est de déshydrater rapidement les grains jusqu'à une humidité assez basse pour que leur métabolisme et celui des micro-organismes associés soit très fortement ralenti.

La ventilation peut être utilisée à plusieurs fins:

- éviter l'échauffement des grains en évacuant au fur et à mesure la chaleur qu'ils peuvent produire;
- refroidir le grain par paliers (avec de l'air ambiant ou de l'air refroidi). On parle alors de «ventilation de refroidissement»;
- maintenir du grain humide en état avant son séchage. Cette ventilation peut même permettre une légère dessiccation;
- intervenir dans le système dit de «dryération» ou refroidissement lent différé.

Ces techniques sont caractéristiques des pays tempérés. Dans les régions chaudes, la «ventilation de refroidissement», notamment avec de l'air ambiant, est peut-être plus difficile à mettre en œuvre, cependant cette technique peut être appliquée dans les zones disposant, à certains moments, de températures inférieures à celle du stock.

Dans les chapitres qui suivent, nous reviendrons largement sur ces deux principes importants. Nous verrons également qu'il existe une grande diversité de matériels de séchage et de ventilation dont l'utilisation est conditionnée par la nature et l'état du produit à traiter. Néanmoins, la caractéristique commune à tous ces matériels est de forcer l'air à traverser le produit pour en modifier les caractéristiques d'humidité et de température.

2.2.2. Techniques récentes

- Conservation en atmosphère confinée

Ce n'est pas à proprement parler une technique récente. Elle est utilisée de façon traditionnelle dans certaines régions (greniers souterrains). Elle consiste à conserver les grains dans une structure étanche. En consommant de l'oxygène et en rejetant du gaz carbonique, la respiration des grains (et des micro-organismes) crée un milieu asphyxiant pour les insectes qui sont tués lorsque le taux d'oxygène est inférieur à 2 % (BANKS, 1979).

On agit donc sur le facteur «composition des gaz du milieu».

Quelques exemples de structures utilisant ce principe

- bidons métalliques,
- «wallers bin» (ou cellule de Chypre),
- silos souterrains argentins.

- Conservation sous gaz neutre

Dans la méthode précédente, la modification de la composition de l'atmosphère interne se fait

progressivement au fur et à mesure de la respiration de la masse.

Cette lenteur peut permettre un certain développement des insectes et d'autre part le principe n'est pas applicable sur des denrées inertes (fèves de cacao).

Le stockage sous gaz neutre va consister à remplacer rapidement l'air interstitiel par un gaz inerte (azote ou mélange azote-gaz carbonique). Cette technique est utilisée en Côte d'Ivoire pour le stockage du cacao mais également de céréales où les produits sont conservés en cellules métalliques soudées mises sous gaz neutre (N₂: 85 %; CO₂: 13 %; O₂: 2 %).

- Conservation sous vide

Le principe est connu depuis longtemps. L'application du vide tue les insectes et son maintien stoppe le développement des microorganismes. Actuellement deux techniques sont à l'étude:

- **Stockage en grandes poches polyéthylène**

Une première expérimentation réalisée au Cameroun sur du cacao a montré une bonne conservation après 20 mois de stockage. Une étude technico-économique de cette méthode est actuellement menée en Côte d'Ivoire.

- **Stockage en petits sacs plastiques aluminisés**

Des essais ont été conduits au Sénégal pour étudier la conservation sous vide de semences de céréales et de légumineuses. Cette technique pourrait permettre la constitution de stocks de sécurité de semences et une ligne pilote de conditionnement d'arachides a été installée.

- *Conservation par le froid*

Le développement des insectes est arrêté au-dessous de 10° C. Le développement des micro-organismes et le métabolisme propre des grains sont considérablement ralentis aux basses températures.

Le froid est couramment utilisé en agriculture pour la conservation des produits animaux (viandes, poissons, lait...) et des produits végétaux (fruits et légumes). Il peut également être utilisé pour la conservation des céréales et notamment des semences (conservation en magasins réfrigérés).

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar](#).[.cn](#).[.de](#).[.en](#).[.es](#).[.fr](#).[.id](#).[.it](#).[.ph](#).[.po](#).[.ru](#).[.sw](#)

Chapitre III - Séchage

[3.1. Considérations générales - rappels](#)

[3.2. Principe du séchage](#)

[3.3. Séchage artificiel](#)

[3.4. Séchage solaire](#)

3.1. Considérations générales - rappels

3.1.1. Teneur en eau du produit

3.1.2. Caractéristiques de l'air (cf. 1.2.2.3.)

Le rôle du séchage est de déshydrater rapidement les grains jusqu'à une humidité dite de «sauvegarde» (humidité à laquelle le grain sera stabilisé).

Le séchage va se faire par l'air qui apportera l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau (air caloporteur), absorbera cette eau-vapeur, et la transportera (air vapo-transporteur).

3.1.1. Teneur en eau du produit

Elle est déterminée par rapport à la matière humide (cf. 1.1.2.2.).

3.1.2. Caractéristiques de l'air (cf. 1.2.2.3.)

a) TEMPÉRATURES CARACTÉRISTIQUES DE L'AIR

- *Température (ou «point») de rosée*: la température de rosée est la température à laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser au contact d'une paroi froide, refroidie lentement.

Soit 1 kg d'air à une température donnée, il contient un certain poids de vapeur d'eau. Si l'on abaisse progressivement sa température, son humidité relative augmente jusqu'à 100 %. L'air est alors saturé et un léger abaissement de température provoque la condensation avec apparition de rosée (eau liquide).

Exemple: la température de rosée d'un air contenant 7,9 g de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec est de 10° C.

- **Température sèche:** c'est la température de l'air mesurée classiquement avec un thermomètre à bulbe sec.

- **Température humide:** placé au contact d'un corps humide, l'air se charge en eau sous forme de vapeur. La transformation d'eau liquide en eau vapeur absorbe de la chaleur: il y aura donc simultanément enrichissement de l'air en vapeur d'eau et abaissement de sa température. La température humide est la température atteinte par l'air saturé dans ces conditions; elle est généralement mesurée avec un thermomètre dont le bulbe est maintenu humide par un coton imbibé d'eau et placé dans un courant d'air d'une vitesse d'au moins 4 m/s sans autres échanges avec l'extérieur.

b) ENTHALPIE DE L'AIR

L'enthalpie est le terme utilisé en thermodynamique pour exprimer la chaleur totale (ou énergie calorifique) d'un système isolé. Exprimée en kilocalories (kcal) ou millithermies (mth) par kg d'air sec, elle représente la chaleur totale de 1 kg d'air sec + x kg de vapeur d'eau contenus dans cet air, et est donnée par la relation:

$$i = 0,24 \theta + x (0,46 \theta + 597)$$

dans laquelle:

i = enthalpie en kcal/kg d'air sec (ou mth/kg)

x = poids (en kg) de vapeur d'eau contenue dans 1 kg d'air sec

θ = température du mélange en ° C.

L'enthalpie est la somme de la chaleur emmagasinée par le mélange à la température θ

- par 1 kg d'air sec: $0,24 \theta$

- par x kg de vapeur d'eau

- sous forme sensible: $x 0,46 \theta$
- sous forme latente: $x 597$

Les coefficients représentent:

$0,24$ = chaleur spécifique de l'air (en kcal/kg/°C) (quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C la température de 1 kg d'air à pression constante)

$0,46$ = chaleur spécifique de la vapeur d'eau (en kcal/kg/°C) (quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° C la température de 1 kg de vapeur d'eau à pression constante)

597 = chaleur latente de vaporisation de l'eau à 0° C (en kcal/kg d'eau).

Exemple: enthalpie de 1 kg d'air à 60° C contenant 25 g de vapeur d'eau

$$i = 0,24 \times 60 + 0,025 (0,46 \times 60 + 597)$$

$$i = 14,4 + 0,025 (27,6 + 597)$$

$$i = 14,4 + 15,615 \approx 30 \text{ kcal/kg ou } 30 \text{ mth/kg.}$$

- *Transformation isenthalpique*

Une transformation isenthalpique est une modification des caractéristiques d'un système sans apport d'énergie extérieure, donc sans modification de sa chaleur totale.

c) VOLUME SPÉCIFIQUE DE L'AIR OU VOLUME MASSIQUE

Il s'exprime en mètre cube d'air humide par kilo d'air sec (V). On obtiendra la masse volumique réelle du mélange par la formule

$$r = \frac{1}{V} (1 + x)$$

r: en kg d'air humide par ml d'air humide

x: poids (en kg) de vapeur d'eau contenue dans 1 kg d'air sec

V: en m³ d'air humide par kg d'air sec. Il sera donné par le diagramme de l'air humide.

d) DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

Le diagramme de l'air humide est la représentation graphique des différents états du mélange air-vapeur d'eau. C'est un outil indispensable au technicien du séchage et de la ventilation car il permet, à partir de la connaissance de deux paramètres, de déterminer SANS CALCUL toutes les autres caractéristiques du mélange. Il permet donc de suivre l'évolution de l'état de l'air au cours du séchage. Le point figuratif d'un état donné de l'air s'appelle «point caractéristique».

Il existe plusieurs représentations de ce diagramme. Nous choisirons dans les exemples qui suivent, pour illustrer les utilisations les plus fréquentes, le diagramme de Mollier (voir annexe 2 et fig. 24).

- Teneur en eau

Les points de même teneur en eau sont situés sur les verticales noires (données en g/kg et appelée W).

- **L'humidité relative de l'air donnée en % est figurée par les courbes concaves vertes ε . La courbe 100 %, ou courbe de saturation, limite le diagramme.**

- Températures

- **température de rosée: valeur donnée en rouge sur la courbe de saturation (notée tr) et située à la verticale passant par le point figuratif;**
- **température sèche: droites obliques rouges appelées isothermes sèches;**
- **température humide: les droites d'isothermes humides ne sont pas représentées mais ont une pente proche des isenthalpes. Les valeurs sont données en rouge sur la courbe de saturation.**

- **Enthalpie: les points de même enthalpie sont situés sur les obliques noires appelées isenthalpes.**

- **Volume spécifique de l'air: représenté par les droites obliques bleues (v).**

Pour se familiariser avec ce diagramme, prenons quelques exemples Fig. 23 a - 23 b - 23 c.

1^{er} exemple:

Q: Caractéristiques d'un air dont la température sèche est de 60° C et la température humide (mesurée avec un thermomètre à bulbe humide) de 34,5° C.

R: Le point figuratif de cet air sur le diagramme est à l'intersection de l'isotherme sèche 60° C et de l'isotherme humide (confondue avec l'isenthalpe) 34,5° C. On obtient alors le point caractéristique A.

Fig. 23 a.

On peut maintenant lire directement les autres caractéristiques de cet air:

- humidité relative: 20 %;
- teneur en vapeur d'eau ou poids de vapeur d'eau qu'il contient par kg d'air sec: 25 g;
- température de rosée: 28,6° C;
- enthalpie: 30 mth/kg ou 30 kcal/kg;
- volume spécifique: $V = 0,98 \text{ m}^3/\text{kg}$ soit une masse volumique réelle de:

$$1/0,98 (1 + 0,025) = 1,05 \text{ kg/m}^3.$$

Fig. 23 b.

Humidité relative: 20 %.

Teneur en vapeur d'eau: 25 g/kg.

Fig. 23 c.

Température de rosée: 28,6° C.

Enthalpie: 30 kcal/kg.

Volume spécifique: 0,98 m³/kg

2^e exemple:

Q: quelles seront les caractéristiques de ce même air réchauffé de 16° C?

R: le réchauffage de l'air ne modifie pas la quantité d'eau qu'il contient. C'est donc une transformation «Isohydre» sans modification de la teneur en eau. Le point figuratif se déplace sur la verticale 25 g d'eau (isohydre 25 g) jusqu'à l'isotherme sèche 76° C (60° C + 16° C), on a alors le nouveau point figuratif B.

Son humidité relative sera de : 10 %
Son enthalpie de : 34 kcal/kg
Sa température humide de : 37° C
Son volume spécifique d'environ : 1,03 m³/kg.

3^e exemple:

Q: quelle est la capacité maximum d'absorption de vapeur d'eau ou «pouvoir séchant» par l'air à 60° C, 20 % d'humidité relative?

R: l'air à 20 % peut théoriquement absorber de l'eau vapeur jusqu'à saturation (100 %). La chaleur totale du système est conservée (il n'y a pas apport de chaleur). L'absorption de vapeur d'eau est donc une transformation isenthalpique. Le point figuratif (A) de l'air se déplace sur l'isenthalpe 30 kcal/kg jusqu'à l'intersection avec la courbe d'humidité relative 100 %. Les caractéristiques de l'air sont alors:

Température sèche - température humide: 34,5° C

Poids de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec: 35,5 g

Le pouvoir d'absorption de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec de l'air 60° C, 20 % d'humidité est donc de:

$$35,5 - 25 = 10,5 \text{ g.}$$

4^e exemple:

Q: quelle peut être l'influence du réchauffement de 16° C de l'air à 60° C - 20 % HR (exemple 2)?

R: de la même façon que dans l'exemple 3, on calcule la capacité d'absorption de l'air à 76° C - 10 % HR (point B).

Le point figuratif B se déplace sur l'isenthalpe 34 kcal/kg jusqu'à la courbe de saturation 100 %.

Le poids de vapeur d'eau par kg d'air sec est de: 41 g.

Conclusions:

Alors que du point A (60° C - HR 20 %) on peut obtenir à saturation une teneur en eau de 35,5 g/kg, on pourra obtenir du point B une teneur en eau à saturation de 41 g/kg. On voit donc que notre réchauffement de 16° C permet au kilo d'air sec considéré d'absorber 41 - 35,5 = 5,5 g de vapeur d'eau de plus.

[Fig. 24: Schéma d'utilisation du diagramme de Mollier.](#)

3.2. Principe du séchage

[3.2.1. Le séchage par air chaud](#)

[3.2.2. Quantité d'eau à enlever au cours du séchage](#)

[3.2.3. Débit spécifique ou débit de renouvellement d'air](#)

[3.2.4. Consommation thermique spécifique ou massique](#)

[3.2.5. Pouvoir calorifique des combustibles](#)

3.2.1. Le séchage par air chaud

Le séchage par air chaud est basé sur l'échange de chaleur et d'humidité entre l'air et le produit.

La chaleur transportée par l'air est utilisée pour:

- réchauffer les grains de leur température initiale à la température d'évaporation,
- fournir la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau des grains.

Le bilan de l'opération se traduit par:

- la dessiccation du grain,
- l'accroissement de la température du grain,
- l'augmentation de la teneur en eau de l'air,
- l'abaissement de la température de l'air.

L'eau contenue dans une masse de grains est liée plus ou moins fortement à ceux-ci.

[Fig. 25: Schéma de fixation de l'eau dans le grain.](#)

L'eau de types 1 et 2 est fortement liée au produit. Non solvante elle n'interviendra pas dans les processus de dégradation. Il n'est donc pas nécessaire de l'éliminer au cours du séchage.

L'eau de types 3 et 4 est solvante et responsable de la dégradation du produit, c'est donc cette eau que l'on cherchera à éliminer par le séchage.

L'eau libre est facilement évacuée car elle n'est pas adsorbée.

En régions chaudes, pour du maïs par exemple, cette eau est déjà en grande partie éliminée au moment de la récolte par le séchage naturel.

Pour avoir un grain bien stabilisé, il est nécessaire d'éliminer toute l'eau osmotique (3^e type). En climats tempérés on peut ne pas totalement éliminer cette eau car des techniques de conservation (ventilation froide notamment) permettent de rendre inactive la portion de ce type d'eau restante (cf. 1.2.2.3.). Par contre, en régions chaudes, cette eau osmotique qui favorise les réactions enzymatiques et le développement des moisissures doit être intégralement évaporée.

Au contact de l'air chaud, l'eau de la périphérie du grain va être évacuée sous l'effet du gradient d'humidité entre l'air et le grain. L'eau osmotique va migrer de l'intérieur du grain vers cette périphérie «séchée» par différence de pression osmotique. Au cours du séchage, cette diffusion de cellule à cellule sera de plus en plus freinée par les cellules qui «auront tendance à retenir leur eau». Les derniers % (ou points) * d'humidité seront donc plus difficiles à retirer que les premiers.

La vitesse de diffusion doit être prise en compte pour déterminer la vitesse de séchage de chaque produit afin d'éviter un «surséchage» de la périphérie des grains.

L'échange d'eau entre l'air et le produit tend vers une limite qui est donnée par les courbes d'équilibre air-grain (cf. chapitre I). Dans le cas du séchage rapide par air chaud, cet équilibre se situe à des humidités très faibles pour le produit car un réchauffement important de l'air abaisse très fortement son humidité relative.

Par exemple de l'air ambiant à 25° C et 90 % d'humidité relative et réchauffé de 35° C voit son humidité relative abaissée jusqu'à 15 %.

3.2.2. Quantité d'eau à enlever au cours du séchage

Si on appelle H_i l'humidité initiale (en %) du produit
et H_f l'humidité finale

la quantité d'eau E à enlever pour ramener 1 kg de produit de H_i % à H_f % est donnée par:

$$E = \frac{H_i - H_f}{100 - H_f} \text{ en kg d'eau par kg de produit humide}$$

Si l'on raisonne sur 1 quintal, soit 100 kg de produit, la relation est:

$$E = \frac{100 (H_i - H_f)}{100 - H_f} \text{ kg d'eau par quintal de produit humide.}$$

Exemple: quantité d'eau à enlever à 100 kg de maïs à 25 % pour le sécher à 13 %

$$E = \frac{100 (25 - 13)}{100 - 13} = \frac{1200}{87} = 13,8 \text{ kg d'eau}$$

Puissance évaporatoire - Débit d'un séchoir:

La puissance évaporatoire d'un séchoir est la quantité d'eau qu'il évapore en 1 heure. Elle s'exprime en kilogrammes d'eau évaporés par heure. Lorsque la puissance évaporatoire est donnée, connaissant la quantité d'eau à enlever par quintal du produit, on en déduit le débit du séchoir en quintaux/heure.

Exemple: séchoir avec capacité d'évaporation de 300 kg d'eau à l'heure.

En reprenant l'exemple précédent E = 13,8 kg d'eau, ce séchoir aura un débit de:

$$\frac{300}{100 (25 - 13)} = \frac{300}{13,8} = 21,7 \text{ quintaux / heure}$$

L'expression «le débit du séchoir est de 21,7 quintaux/heure» est-elle satisfaisante? - Réponse: NON.

Nous devons préciser davantage et dire: le débit d'entrée du séchoir est de 21,7 q/h de produit HUMIDE séché de 25 % à 13 %.

Par rapport au produit sec, pour une même puissance évaporatoire, on aura un débit de sortie du séchoir de:

$$\frac{300}{100 (25 - 13)} = \frac{300}{16} = 18,7 \text{ q / h de produit SEC séché de 25 à 13 \%}$$

NB: Les relations suivantes permettent de calculer, en fonction des humidités initiales et des humidités finales:

- le poids sec à partir du poids humide (et inversement)

$$P_s = P_h \times \frac{100 - H_i}{100 - H_f}; \quad P_h = P_s \times \frac{100 - H_f}{100 - H_i}$$

Lorsque l'on parle du débit d'un séchoir, il est donc important de préciser s'il s'agit de la quantité de produit HUMIDE séchée en une heure ou de la quantité de produit SEC sortant du séchoir en une heure.

Si par exemple un séchoir traite 15 q/h de produit humide de 25 % à 13 sa puissance évaporatoire est de:

$$15 \times \frac{100 (25 - 13)}{100 - 13} = 15 \times \frac{1200}{87} = 207 \text{ kg d'eau/h}$$

alors qu'un séchoir débitant 15 q/h de produit sec, séché de 25 % à 13 % a une puissance évaporatoire de:

$$15 \times \frac{100 (25 - 13)}{100 - 25} = 15 \times \frac{1200}{75} = 240 \text{ kg d'eau/h}$$

Il est nécessaire d'apporter ces précisions pour que l'utilisateur sache exactement à quoi correspondent les débits annoncés par les constructeurs dans la documentation commerciale, et à ce propos une autre remarque est importante.

Très souvent la puissance évaporatoire est donnée en «points par heure». Le «point d'humidité» est défini comme étant la quantité d'eau correspondant à 1 % d'humidité. Par exemple, un séchoir de 100 points/heure séchant un produit de 23 % à 13 %, soit 10 %, aura un débit de $100/10 = 10$ q/h (on devrait en fait parler d'un séchoir de 100 quintaux humides points/heure permettant un débit de 10 q humides/h).

Cette notion de «point» a l'avantage d'être très simple mais l'inconvénient grave de ne pas refléter exactement la réalité, car suivant les humidités, «le point» ne représente pas la même quantité d'eau.

Ainsi un «point» d'humidité entre 39 % et 40 % représente

$$E_{1\%} = e = \frac{100 (40 - 39)}{100 - 39} = 1,64 \text{ kg d'eau par quintal}$$

alors qu'un «point d'humidité» entre 13 % et 14 % représente seulement

$$E_{1\%} = e = \frac{100 (14 - 13)}{100 - 13} = 1,15 \text{ kg d'eau à enlever par quintal}$$

On voit que la valeur de ce point dépend uniquement de l'humidité finale:

$$e = \frac{100 (H_i - H_f)}{100 - H_f} = \frac{100 \times 1}{100 - H_f}$$

Il arrive souvent que le «point d'humidité» soit évalué à 1,2 kg d'eau par quintal, ce qui, nous venons de le voir, n'est qu'une approximation.

Il convient donc d'être prudent lorsque la capacité d'évaporation est exprimée en points/heure, et de savoir à quelle humidité finale il est fait référence. De même pour les débits on devra préciser s'il s'agit de grains humides entrant ou de grains secs sortant du séchoir.

De ces remarques il ressort que seule la puissance évaporatoire exprimée en kilogrammes d'eau par heure donne une idée juste des performances d'un séchoir.

3.2.3. Débit spécifique ou débit de renouvellement d'air

Le débit spécifique est le volume d'air qui traverse 1 unité de volume de produit pendant 1 unité de temps.

Les débits d'air varient selon les «écoles». Certains constructeurs emploient de très forts débits d'air (6 000 à 8 000 m³/h/m³) pour faire un séchage rapide, alors que d'autres préfèrent des débits plus faibles (2 000 à 4 000 m³/h/m³). Les forts débits d'air permettent d'augmenter le débit du séchoir; mais la dessiccation rapide des grains peut accroître leur fragilité au cours des manutentions et des transformations ultérieures.

Une augmentation du débit spécifique de l'air permet de réduire le temps de séchage mais entraîne une augmentation de la dépense en énergie (directement proportionnelle au débit d'air).

Un débit spécifique faible permet une meilleure utilisation de la chaleur, donc de meilleures performances thermiques, mais une baisse de la capacité du séchoir. Il faut donc tenir compte de ces différents facteurs pour choisir le débit spécifique, donc le séchoir.

3.2.4. Consommation thermique spécifique ou massique

Elle exprime la quantité de chaleur qu'il faut fournir pour enlever 1 kg d'eau au produit. Elle s'exprime en millithermies (1 mth = 1 kcal) par kilogramme d'eau évaporée.

Cette chaleur est utilisée pour réchauffer le grain, évaporer l'eau, réchauffer le séchoir. Il s'y ajoute des pertes par rayonnement, insaturation de l'air à la sortie, etc.

Sur des séchoirs continus, classiques, des essais faits en France par le CEMAGREF ont montré que des rendements évaporatoires de 1 100 à 1 200 mth/kg d'eau évaporée peuvent être considérés comme honorables.

Les séchoirs statiques par contre auront une consommation thermique spécifique supérieure à 1 500 mth/kg.

Exemple: séchoir classique à échangeur: Rendement 1 150 mth/kg d'eau.

	Mth	%
- Vaporisation de l'eau	600	52,2%
- Chaleur sensible de l'air usé	180	15,6%
- Rayonnement et diffusion du corps du séchoir	30	2,6%
- Insaturation de l'air usé (inévitables en fin de séchage)	130	11,3%
- Échangeur du générateur d'air chaud	140	12,2%
- Chaleur sensible du grain	70	6 %
	1 150 mth	100 %

La connaissance de la consommation thermique spécifique nous permettra d'apprécier la consommation en combustible.

3.2.5. Pouvoir calorifique des combustibles

C'est la quantité de chaleur fournie par la combustion de l'unité de poids ou de volume du combustible. Il peut être exprimé sous 2 formes:

- Pouvoir Calorifique Supérieur (P.C.S.): qui comprend la chaleur de condensation de la vapeur d'eau (l'eau est à l'état liquide au stade final de la combustion).

- **Pouvoir Calorifique Inférieur (P.C.I.): quantité de chaleur fournie par combustion complète sans récupération de la chaleur latente de vaporisation de la vapeur produite, ce qui est le cas usuel.**

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX COMBUSTIBLES

COMBUSTIBLE	Poids spécifique (kg/m ³)	Pouvoir calorifique inférieur (mth/kg _M S)	Pouvoir calorifique inférieur (mth/l ou mth/m ³)	Poids d'eau dégagé par combustion (g/kg ou g/m ³)	Teneur maximum en soufre (mg/kg ou mg/m ³)
USUELS					
- Fuel-oil domestique	830	10 150	8 425 mth/l	1 206 g/kg	5 000 mg/kg
- Fuel lourd	955	9 700	8 575 mth/l	1 270 g/kg	35 000 mg/kg
- Propane	1,991	11 010	21 915 mth/l	2 960 g/kg	30 mg/kg
- Butane	2,400	10 910	27 800 mth/l	3 720 g/kg	30 mg/kg
- Gaz naturel					
Lacq	0,737	11 820	8 710 mth/m ³	1 620 g/m ³	10 mg/m ³
Groningue	0,827	9 140	7 560 mth/m ³	1 400 g/m ³	10 mg/m ³
Algérie	0,840	11 240	9 440 mth/m ³	167 g/m ³	10 mg/m ³
DIVERS					
Anthracite		7 700			
Charbon moyen		6 600			

Bois		3 420			
Râfles de maïs	200	3 900			
Paille	160	3 000			
Coques d'arachides	250	4 000 à 4 500			
Coques de café	400	3 700 à 3 900			
Balle de riz	140	2 800 à 3 500			
Bagasse sèche		4 500 à 4 800			
Coque de coco		5 500			
Bourre de coco		4 000			
Gaz pauvre (gazo)			1 000 mth/m ³		
Gaz de fumier 60 % CH ₄ , 40 % CO ₂			5 500 mth/m ³		
Gaz de fumier lavé 100 % CH ₄			8 000 mth/m ³		

Connaissant le pouvoir calorifique d'un matériau sec (0 % d'humidité), le pouvoir calorifique à l'humidité H % est calculé par la relation:

$$PCI/MH = PCI/MS \left(1 - \frac{H\%}{100}\right) - 600 \times \frac{H\%}{100}$$

Application: PCI de râfles de maïs à 20 % d'humidité.

$$\text{PCI/kg MH} = 3\,900 (1 - 20/100) - 600 \times 20/100 = 3\,000 \text{ mth/kg MH}$$

La chaleur utilisée au niveau d'un séchoir est fournie par un générateur d'air chaud (G.A.C.) qui sera caractérisé par sa puissance calorifique: quantité de chaleur fournie par heure (en thermies) et son rendement thermique.

Exemple d'utilisation des données précédentes pour déterminer la puissance d'un séchoir:

- soit à sécher 100 t par jour de maïs à 25 % d'humidité initiale avec un séchoir continu fonctionnant 24 h sur 24.

Quantité d'eau à évaporer

Le maïs doit être séché de 25 % à 13 % soit

$$E = \frac{100 (25 - 13)}{100 - 13} = 13,8 \text{ kg d'eau/quintal}$$

soit, pour 100 t (= 1000 q)

13,8 x 1 000 = 13 800 kg d'eau/jour (ρ) 575 kg d'eau/heure

Puissance calorifique horaire

Compte tenu d'un rendement évaporatoire de 1200 mth/kg d'eau (séchoir continu), la puissance

calorifique nécessaire est de:

$$575 \times 1200 = 690\ 000 \text{ mth/heure}$$

Consommation de combustible

Si on utilise du fuel-oil, la consommation horaire sera de:

$$690\ 000 / 10\ 150 = 68 \text{ kg/heure ou } 68 / 0,83 = 82 \text{ l/heure}$$

Notons que 100 tonnes de maïs à 25 % ne représentent plus que

$$P_s = P_h \times \frac{100 - H_i}{100 - H_f} = 100 \times \frac{100 - 25}{100 - 13} = 86,2 \text{ tonnes}$$

de maïs après séchage à 13 %.

3.3. Séchage artificiel

[3.3.1. Séchage et séchoirs](#)

[3.3.2. Les générateurs d'air chaud](#)

[3.3.3. Économie d'énergie au niveau des séchoirs](#)

[3.3.4. Utilisation de la biomasse pour le séchage](#)

Lorsqu'il faut sécher de grandes masses de produit dans un délai court, quelles que soient les conditions

atmosphériques, il est nécessaire de faire appel à des moyens de séchage artificiel. Ces moyens, plus coûteux en énergie, plus compliqués et aussi plus onéreux que les moyens naturels, sont nécessaires pour obtenir un produit stable et commercialisable.

Il est probable qu'à l'avenir, avec l'introduction de nouvelles variétés à fort rendement, les mises en culture hors saison et les récoltes dès maturités des produits, il sera nécessaire de renforcer les moyens de séchage artificiel existant aujourd'hui.

TECHNIQUES DE SÉCHAGE

Pour le séchage des produits granuleux et notamment des grains, la technique généralement utilisée est le séchage à courants croisés.

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

3.3.1. Séchage et séchoirs

3.3.1.1. Séchage discontinu à lots successifs

a) LE SÉCHAGE STATIQUE

Le grain est disposé en couche généralement horizontale traversée de bas en haut par l'air de séchage. L'épaisseur de la couche peut varier de 30 à 70 cm et correspond à un compromis entre, d'une part le désir d'utiliser au maximum la capacité du séchoir et, d'autre part, l'augmentation de la résistance au passage de l'air avec l'épaisseur qui se traduit par une baisse de débit du ventilateur et ne permet pas d'obtenir le débit spécifique nécessaire pour assurer une bonne homogénéité de séchage.

Au contact des grains, l'air se charge en humidité jusqu'à la teneur en eau d'équilibre avec l'humidité des grains. Si la couche est suffisamment épaisse, on peut définir une ligne fictive dite «front de séchage» au-delà de laquelle l'air sera dans l'impossibilité de sécher davantage. Ce front de séchage se déplace du front d'attaque de l'air vers la surface du grain avec une vitesse qui est fonction:

- des caractéristiques de l'air chaud,
- du débit d'air chaud,
- de l'humidité du grain,
- de la nature et du tassement du grain.

En deçà du front de séchage, le grain est en cours de séchage. Au-delà il est en attente de séchage et peut même se trouver en conditions réhumidifiantes. Lorsque le front aura atteint la surface, toute la masse sera en cours de séchage. Le grain séchant de proche en proche, la couche située à l'attaque de l'air sera plus sèche que la couche supérieure. Le séchage étant toujours arrêté avant que l'équilibre air-produit soit atteint, on obtient toujours un séchage hétérogène.

[Fig. 26: Séchage des grains.](#)

Cette hétérogénéité de la teneur en eau des grains séchés est fonction de la température de l'air chaud et du débit d'air. Pour la maintenir dans des limites acceptables (plus ou moins 3 % autour de la valeur

moyenne) des essais ont été faits pour trouver des couples «température - débit d'air» convenables.

Ainsi le CEMAGREF a déterminé les couples «température - débit d'air» à respecter pour sécher du maïs de 35 % à 15 % avec une hétérogénéité maximum de 3 %.

Température de l'air chaud	Débit spécifique m³ d'air/heure/m³ maïs
45° C	2000
60° C	3000 - 3500
80° C	4000 - 4500
100° C	5000 - 6000

Plus la température est élevée et plus le débit d'air doit être important. Pour sécher 1 m³ de maïs avec de l'air à 60° C il faudra donc un débit spécifique d'environ 3 000 m³/h. Ce chiffre conduit en pratique à limiter l'épaisseur de la couche à 50 cm.

Si la couche est trop épaisse, le grain sera trop humide en haut et trop sec en bas. Le séchage étant généralement apprécié en prenant un échantillon de la couche supérieure, l'opérateur trouvant le grain encore trop humide prolongera le séchage ce qui accentuera l'hétérogénéité et augmentera le coût de l'opération. Il est souvent avancé que la vidange du séchoir et les manutentions ultérieures provoquent un brassage des grains qui annule l'hétérogénéité au séchage. En fait le brassage n'est que partiel et le risque de retrouver dans le silo des masses de grains humides pouvant se détériorer rapidement ne doit pas être négligé. Pour limiter ce risque, on aura souvent avantage à prévoir une ventilation d'homogénéisation du grain sortant d'un séchoir statique.

b) LES SÉCHOIRS STATIQUES

Également dits séchoirs discontinus dans lesquels le séchage s'effectue par lots successifs.

- Séchoirs à cases

La masse de produit à sécher est placée dans une enceinte surélevée, soit horizontale, soit inclinée. L'air réchauffé traverse le produit de bas en haut. Ces modèles de séchoir ont l'avantage de ne demander qu'un investissement restreint, qui peut se limiter au générateur d'air chaud et au faux-fond perforé, les parois pouvant être construites par l'utilisateur avec des briques ou des parpaings.

Comme on le constatera à l'examen de la figure 27, la réalisation de telles installations est très simple.

Les principales recommandations à respecter sont les suivantes:

- le générateur d'air chaud doit être en mesure de fournir un débit spécifique d'environ 2 000 m³/h/m³ de grains à une température de 45 - 50° C,
- la section des gaines de répartition d'air doit être telle que la vitesse de l'air soit inférieure à 8 m/s,
- le raccordement du générateur aux gaines, si la vitesse d'air à la sortie du générateur est supérieure à 8 m/s, doit être constitué par un divergent de 18° (environ 15 cm par mètre de longueur). En aucun cas il ne faut réduire la section de sortie du générateur,
- lorsque le fond est incliné (ce qui facilite le vidage des cases), la pente doit être inférieure à 30 %,

- l'épaisseur de produit ne doit pas dépasser 50 cm. Pour la contrôler facilement, il est pratique de faire des repères sur les parois. Elle doit s'accorder au débit d'air du générateur en fonction des pertes de charge dans le produit,

- le faux-fond perforé est composé soit d'une toile métallique fine, soutenue par un fort grillage ou par du métal déployé, soit d'une tôle perforée. On veillera à ce que les dimensions des mailles soient inférieures aux dimensions des grains à sécher.

Fig. 27: Séchoir à deux cases. (D'après CEMAGREF.)

En général, les séchoirs à cases sont étudiés pour traiter un lot en 10 à 12 h, la durée du séchage proprement dit étant de 10 heures, auxquelles il faut ajouter la durée du refroidissement (1 h) et les temps de chargement-déchargement.

Le rendement calorifique moyen de ce type de séchoir est de 1 500 à 2 000 mth/kg d'eau évaporée.

Autres exemples de séchoirs statiques à cases

• *Séchoir de la National Grain Authority (Philippines)*

Il est constitué d'une case d'environ 3 m³ en contreplaqué de 19 mm avec renforts en bastaings de 5 x 5 cm.

Les dimensions sont: 1,80 m x 3,60 m et une hauteur de 1,20 m.

La hauteur du faux-fond est de 68 cm.

Fig. 28: Case de séchage I.R.R.I.

Fig. 29: Vitesse de séchage du paddy avec de l'air à 43° C. Débit 1920 m³/h/m³ grain.

La vidange du produit peut s'effectuer par des portes latérales à guillotine (35 x 53 cm).

On sèche environ 1,5 t de paddy en 6 à 8 h.

• Séchoir case de l'I.R.R.I.

Ce séchoir est constitué d'un brûleur, d'un ventilateur, d'un conduit d'air chaud et d'une case rectangulaire à faux-fond en bois ou en métal. Cette case de 1,9 m x 2,8 m permet de sécher 1 tonne de paddy de 28 % à 14 % en 4 à 6 h (Fig. 28 et 29).

Elle est accouplée à un générateur d'air chaud à fuel ou à balle de riz.

Le débit spécifique utilisé est de 1900 à 2 100 m³/h/m³ de grains avec une température de l'air chaud de 43° C.

Pour mieux rentabiliser l'installation il peut être conseillé de jumeler deux cases pour que les vidanges et les chargements n'apportent pas de rupture dans le fonctionnement.

- Séchoirs à ventilation radiale

Dans ce type d'appareil, l'air arrive par une cheminée centrale grillagée et traverse horizontalement le grain placé dans un anneau concentrique (Fig. 30 et 31). La section est généralement circulaire, mais on rencontre également des séchoirs à section polygonale. Pour éviter que l'air ne s'échappe par le haut, il faut obturer la cheminée à une certaine distance de la surface du grain (F = E sur la figure 30).

[Fig. 30: Séchoir à ventilation radiale.](#)

Nous pouvons classer dans cette catégorie le SILO SÉCHOIR nouvellement apparu sur le marché et destiné au séchage du maïs en épis.

Fig. 31: Séchoir (Doc. KONGSKILDE).

Le silo séchoir est constitué d'une cheminée centrale et d'une paroi périphérique qui délimitent un espace annulaire dans lequel sont stockés les épis de maïs. La cheminée et les parois sont composées, à la manière des cribs, de montants métalliques et de grillage. L'ensemble repose sur une plate-forme bétonnée. Une bâche recouvre la partie supérieure des épis (Fig. 32).

Dimensions: - diamètre: 10 m,
- hauteur moyenne: 4 m,
- diamètre de la cheminée centrale: 1,50 m

donc une capacité d'environ 300 m³.

Fig. 32: Silo séchoir (Doc. DUPUIS).

Lorsque l'on augmente le pouvoir séchant de l'air au moyen d'un générateur d'air chaud, le ventilateur travaille en refoulement; l'air pénètre par le haut de la cheminée et sort à la périphérie du silo après avoir traversé et séché les épis.

Dans le cas d'une simple ventilation séchante il est prévu de travailler en aspiration.

c) SÉCHOIRS DISCONTINUS à BRASSAGE OU RECYCLAGE

Le principal défaut des séchoirs statiques est en fait l'hétérogénéité de séchage entre la couche inférieure généralement surséchée et la couche superficielle plus humide, d'où l'idée de brasser le produit au cours du séchage pour assurer une meilleure homogénéité.

- Séchoirs circulaires

Les séchoirs circulaires fonctionnent sur le même principe que les cases de séchage. Les opérations de remplissage, brassage et vidange sont cependant améliorées (Fig. 33).

Fig. 33: Séchoir circulaire.

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1: Arrivée grain humide | 6: Vis d'extraction |
| 2: Goulotte de répartition | 7: Générateur d'air chaud |
| 3: Vis de répartition et de vidage | 8: Porte de visite |
| 4: Plancher en tôle perforée | 9: Échelle |
| 5: Vanne de vidage | 10: Poutre support du plancher |

- Les cellules sèches type «IN BIN DRYING»

Il s'agit ici d'un séchage statique en couches très épaisses (jusqu'à 4 m) dans des cellules circulaires métalliques. Pendant le séchage, le grain est brassé en permanence par un ensemble automatique de une ou plusieurs vis animées de 3 mouvements simultanés (Fig. 34).

Fig. 34: Cellule sècheuse.

Suivant la taille des cellules (\emptyset de 5 à 10 m) on pourra sécher 50 à 250 t de maïs de 35 % à 15 % en une

centaine d'heures. Générateur d'air chaud (50° C - 60° C) - 140 m³/h/m³.

Ces cellules ne sont pas que des séchoirs, elles servent également pour le stockage.

- Les séchoirs à lois successifs (Fig. 35)

Il existe divers types de séchoirs discontinus dans lesquels la disposition des gaines est identique à celle que nous trouverons dans les séchoirs continus verticaux qui sont décrits plus loin.

Ces séchoirs par lots sont à ventilation radiale. Une vis centrale prélève le grain au bas de la cellule et le rejette au sommet assurant ainsi une circulation continue du grain au cours du séchage.

Ce système permet de réduire l'hétérogénéité de séchage inhérente au séchage statique. Ce type de séchoir fait la transition entre les séchoirs discontinus statiques et les séchoirs continus.

3.3.1.2. Séchage continu

a) EN SÉCHAGE CONTINU, la couche de grains est en mouvement dans le séchoir.

L'épaisseur de grains que l'air doit traverser est beaucoup plus faible que dans le cas des séchoirs statiques (de l'ordre de 15 cm à 30 cm) et différents systèmes de chicanes provoquent un brassage de la masse durant le trajet du grain. Les problèmes d'hétérogénéité de séchage évoqués pour le séchage statique ne se posent donc pas avec le séchage continu.

[Fig. 35: Séchoir discontinu déplaçable à recyclage de grain.](#)

1: Trémie de chargement

5: Générateur d'air chaud

06/11/2011

Conservation des grains en régions ch...

2: Vis d'alimentation

6: Cellule grillagée

3: Vis de recyclage

7: Goulotte de vida

4: Colonne annulaire - circuit grain

8: Chambre grillagée d'arrivée d'air
chaud

(Doc. MORIGE.)

Très souvent les températures de fonctionnement sont élevées et dépassent nettement 100° C. Il convient toutefois de connaître les températures limites à ne pas dépasser selon la destination ultérieure du produit et les caractéristiques à respecter: pouvoir germinatif, qualités technologiques, valeur alimentaire...

A titre indicatif on conseille généralement de ne pas dépasser les températures suivantes:

- Semence : 45° C
- Industrie du maïs : 80° C
- Alimentation du bétail : 100° C

[Fig. 36: Rendement en amidon en fonction de la température de séchage du maïs.](#)

Pour l'alimentation du bétail il semble en fait que la température ait un effet négligeable sur la valeur nutritionnelle des produits. Sur du maïs, on ne constate pas d'influence notable d'un séchage à 150° C par rapport à 90° C. Les conditions de pré-stockage avant séchage semblent avoir plus d'incidences que la température de séchage sur les performances zootechniques.

En séchage continu, on considère comme lent un débit spécifique d'air de 1500 à 2 000 m³/h/m³ de grains, et comme rapide un débit spécifique de 6 000 à 8 000 m³/h/m³.

La vitesse de séchage augmente avec le débit d'air, mais moins que proportionnellement. Le séchage rapide sera contrarié par une mauvaise utilisation de l'énergie transmise à l'air pour le réchauffer. A l'inverse, le bilan thermique d'un séchage lent sera meilleur car le contact prolongé air-grain permet un échange plus complet, donc une meilleure saturation de l'air usé.

Il convient de rappeler que si les températures de séchage peuvent paraître très élevées (80°, 100°, 120°, 140° C et au-delà), ce sont celles de l'air chaud, mais pas celles du grain qui ne demeure JAMAIS assez longtemps dans le séchoir pour les atteindre: la température atteinte par le grain peut être connue très simplement avec la courbe d'équilibre air-produit et le diagramme de l'air humide. Il est probable que la couche la plus proche de l'attaque de l'air sera surséchée et que sa température pourra atteindre 50-60° C (un séchage trop poussé, amenant les grains à 70° C ou plus, provoque un début de calcination sur le maïs).

C'est pendant la dernière phase du séchage, au cours de laquelle l'eau se raréfie dans le grain et la température augmente, que le grain est soumis aux plus fortes tensions internes. Des études américaines ont mis en évidence l'effet néfaste du séchage rapide sur les grains de maïs dans lesquels il provoque de nombreuses fêlures. Si le séchage est suivi immédiatement par un refroidissement brutal, les grains se brisent sous l'effet de contraintes inverses.

Ces phénomènes de fissuration, de clivage, ne sont pas nouveaux et sont connus depuis longtemps pour le riz, car les riziers sont très sensibilisés au problème des brisures, directement lié au rendement d'usage.

La technique employée pour limiter la casse des grains, tout en conservant un débit de séchage rentable, consiste soit à effectuer le séchage en plusieurs passages rapides entrecoupés de pauses d'homogénéisation, pendant lesquelles l'humidité s'égalise dans les grains (cas du riz), soit à sécher en un seul passage jusqu'à une humidité supérieure de 2 à 3 % à l'humidité finale recherchée, à laisser homogénéiser en cellule pendant plusieurs heures, puis à ventiler lentement avec de l'air ambiant; le grain

chaud réchauffe l'air et lui permet de terminer lentement le séchage.

Cette deuxième technique, mise au point par des chercheurs américains (Thomson et Foster), porte le nom de «dryeration» (terme traduit en français par Refroidissement Lent Différé): nous y reviendrons plus loin.

b) LES SÉCHOIRS CONTINUS

Les séchoirs continus sont des appareils à grand débit qui demandent un investissement plus important que les statiques et dont s'équipent les centres ayant de grandes quantités de produits à traiter.

Alors que le séchoir discontinu ne demande pas d'infrastructure, le séchoir continu - sauf dans le cas spécial des petits séchoirs continus mobiles encore peu répandus - ne représente qu'une partie d'un ensemble qui comprend, à l'amont, des cellules d'attente de grain humide et des élévateurs pour assurer en permanence l'alimentation du séchoir et, en aval, d'autres élévateurs et d'autres cellules pour recevoir le grain séché. Pour des raisons d'économie évidentes, les séchoirs continus fonctionnent 24 h sur 24, il faut donc que les apports soient planifiés pour éviter toute accumulation des grains humides se détériorant rapidement ou toute rupture de stock obligeant à arrêter le séchoir.

La puissance évaporatoire des séchoirs continus s'étage de 100 à plus de 5 000 kg d'eau par heure, soit, pour un séchage de 25 % à 13 %, des capacités de 0,6 à 30 tonnes/heure de maïs sec. Les modèles actuels les plus puissants sont équipés de brûleurs de plusieurs milliers de thermies/heure.

Fonctionnement

Le grain humide entre dans le séchoir par un orifice (trémie) équipé d'un dispositif automatique de régulation du débit. Dans un premier temps, il est réchauffé par de l'air humide ayant servi au refroidissement et recyclé pour employer la chaleur encore contenue par cet air. Le grain passe ensuite dans

la zone de séchage où il est traversé par l'air chaud venant du générateur; enfin il passe dans la zone de refroidissement où il est traversé par un courant d'air ambiant.

Fig. 37: Schéma séchoir continu.

Le rendement évaporatoire des séchoirs continus est généralement meilleur que celui des séchoirs statiques. Ceci peut sembler paradoxal car la couche de grains étant plus épaisse dans les séchoirs statiques et le débit spécifique plus faible, l'air sort du grain pratiquement saturé, alors que dans les séchoirs continus, l'épaisseur de grains étant plus faible (20-25 cm) et les débits spécifiques plus élevés, l'air ne sort pas saturé.

En fait, on constate que dans les séchoirs statiques, le séchage de la dernière couche conduit à très mal utiliser le pouvoir séchant de l'air et le bilan calorifique global est en faveur des séchoirs continus (1 500 kcal/kg d'eau en statique, 1200 kcal/kg d'eau en continu).

- Séchoirs continus verticaux

Ces séchoirs présentent l'avantage de ne demander aucune énergie pour faire circuler le grain qui descend sous l'effet de son propre poids,

Selon la disposition des gaines, on distingue

• ***Les séchoirs à colonnes***

Le grain s'écoule entre deux parois parallèles en grillage ou en tôle perforée. Dans le séchoir, les colonnes de section généralement rectangulaire sont disposées parallèlement et délimitent des chambres où l'air circule.

Fig. 38: Séchoir à colonne en 2 parties.

Sur certains séchoirs de faible débit, la colonne de grains est annulaire, avec ventilation radiale.

Lorsque le grain est sale, le risque de colmatage des grilles est important et le séchoir doit être nettoyé périodiquement (ce qui est une sage précaution, quel que soit le type de séchoir).

Par son principe même de faire passer une lame de grains dans un courant d'air perpendiculaire, le séchoir à colonne est à rapprocher des séchoirs statiques et bien que les débits d'air soient plus importants et l'épaisseur de grain plus faible, on relève une hétérogénéité de séchage entre les grains situés près de l'attaque de l'air et les grains près de la sortie de l'air. Pour remédier à cet inconvénient, certains constructeurs ont divisé chaque colonne en deux parties et, en jouant sur la vitesse d'extraction au bas de chacun de ces éléments de colonnes, font varier les vitesses relatives d'écoulement du grain. Le grain contenu dans la demi-colonne à l'attaque de l'air chaud circule plus vite que celui de la demi-colonne côté sortie d'air où le séchage est plus lent (Fig. 38).

Fig. 39: Séchoir continu vertical.

- *Les séchoirs à persiennes*

Pour limiter le risque de colmatage des grilles ou des tôles perforées, des séchoirs à persiennes sont apparus sur le marché.

La colonne de grains est contenue entre les tôles pleines non jointives. L'obstacle mécanique au passage des impuretés est supprimé.

Fig. 40: Schéma d'un séchoir à persiennes. (Doc. RIVIERRE CASALIS.)

La forme de la colonne oblige le grain à suivre un trajet en zig-zag, duquel on espère un certain brassage en cours de séchage.

Pour augmenter l'effet de brassage, certains constructeurs ont ajouté une tôle intermédiaire verticale à larges perforations dans la colonne (Fig. 40 et 41).

• *Les séchoirs à chicanes (ou fourreaux ou diedres)*

Les séchoirs à chicanes sont les plus utilisés maintenant en France pour les séchoirs de grand débit équipant les organismes de collecte.

[Fig. 42: Schéma: circuit de l'air dans un séchoir à chicanes. \(Doc. LAW.\)](#)

Le grain circule entre plusieurs étages de gaines en forme de V renversé, en tôle pleine et disposées en quinconce.

L'air chaud entre dans les gaines à partir d'une chambre de mise en charge latérale. Les gaines sont obturées alternativement côté chambre d'air chaud et côté chambre d'air usé, de sorte que l'air chaud sort par le dessous de la gaine et circule dans le grain jusqu'à ce qu'il atteigne la gaine de l'étage voisin par laquelle il est évacué vers la chambre d'air usé. La longueur du trajet de l'air est de 15 à 20 cm.

[Fig. 43: Dispositif d'extraction à augets. \(Doc. LAW.\)](#)

Ce système présente le double avantage de ne se colmater que difficilement - avantage appréciable lorsque l'arrêt du séchoir risque de perturber une campagne planifiée - et d'autre part d'assurer un brassage effectif du grain.

La forme en arête des gaines provoque la séparation de la veine de grain et l'alternance d'élargissements et de rétrécissements crée des écoulements différentiels. De plus, à mesure que le grain descend, sa distance à la surface d'arrivée de l'air chaud varie périodiquement.

Différents systèmes d'extraction du grain sec permettent de régler le débit du séchoir (extracteur à vis, écluses, augets etc.).

- Séchoirs continus horizontaux ou inclinés

Ces séchoirs ont l'avantage de visualiser l'opération de séchage et sont généralement plus polyvalents que les séchoirs verticaux. Ils sont en particulier adaptés au séchage de produits tels que les fèves de cacao fermentées et le manioc. Leur principal inconvénient est d'exiger une grande surface au sol.

Selon le mode de déplacement du produit, on distingue

• *Les séchoirs horizontaux à déplacement du grain par palettes*

La couche de grains de 30 à 40 cm évolue sur un tablier plat horizontal.

Les grains progressent sur la table de séchage depuis la trémie d'alimentation jusqu'à l'extrémité du séchoir, sous l'action d'un agitateur muni de palettes qui se déplace tout le long de la table de séchage. En remontant vers la trémie, l'agitateur rejette les grains vers l'aval, puis repart à l'aval en roulant sur les grains sans les déplacer (palettes «libres»). La durée du séchage est réglée par la vitesse de déplacement du tambour (Fig. 44).

Le séchoir peut être équipé d'une hotte permettant de récupérer les buées.

Fig. 44: Séchoir horizontal à passage continu forcé. (Doc. STELA.)

Remarque:

Ce séchoir peut être utilisé en séchage statique avec brassage du grain (Fig. 44 bis).

Fig. 44 bis: Utilisation en séchage statique.

• *Les séchoirs à tablier-transporteur (Fig. 45)*

Les grains sont mis en mouvement par un tablier-transporteur continu formé de deux chaînes latérales reliées par des barrettes transversales. La vitesse d'avancement du tablier est réglable pour ajuster la durée du séchage à l'humidité du produit.

Fig. 43: Séchoir continu à tablier transporteur.

• *Les séchoirs à cascades*

Alors que dans les deux types décrits ci-dessus l'avancement des grains est mécanique, dans le séchoir à cascades, il y a combinaison entre l'inclinaison du plan de séchage et l'effet d'entraînement de l'air entrant dans la couche à sécher par les fentes ménagées entre les lamelles métalliques qui forment le fond du séchoir.

L'épaisseur de la couche de grains qui varie de 15 à 20 cm, est réglée par des tambours supérieurs qui freinent la descente des grains.

La durée de séchage est réglée par la vitesse d'extraction (Fig. 46).

Fig. 46: Séchoir continu à cascades.**Remarque: Séchoirs mobiles**

Depuis plusieurs années, des constructeurs proposent des séchoirs continus mobiles pour répondre aux besoins de nombreux agriculteurs (et entrepreneurs de travaux agricoles) soucieux d'amortir leur matériel sur le plus grand nombre d'heures de fonctionnement possible.

Exemple de séchoir mobile et de chantier de séchage: (Fig. 47 et 48).

Fig. 47: Séchoir mobile continu.

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1: Ventilateur air chaud | 6: Chambre air froid |
| 2: Brûleur | 7: Vis des répartitions |
| 3: Ventilateur air froid | 8: Vis d'extraction |
| 4: Grillage | 9: Vis de reprise |
| 5: Chambre air chaud | 10: Colonne grain. |
- (Doc. CORNELOUP.)

Les différents principes de séchoir mobile sont à rapprocher de ceux des séchoirs fixes.

Certains sont équipés d'un moteur auxiliaire, mais la plupart sont commandés par la prise de force d'un tracteur. Séduisante dans son principe cette solution doit faire l'objet d'une étude préalable complète car elle exige une infrastructure relativement importante électricité, réserve de combustible, remorques, tracteurs.

[Fig. 48: Chantier de séchage avec séchoir continu mobile. \(Doc. CORNELOUP.\)](#)

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

3.3.2. Les générateurs d'air chaud

Le générateur d'air chaud fournit la chaleur nécessaire au réchauffage de l'air, qui est mis en contact avec le produit à sécher.

Nous parlerons ici des combustibles usuels; la biomasse étant abordée plus loin.

Jusqu'à une date récente le combustible le plus généralement utilisé était le fuel-oil domestique et les séchoirs ont souvent été conçus pour ce produit. Aujourd'hui d'autres hydrocarbures sont également utilisés comme le fuel lourd, le butane liquide ou le gaz naturel.

Rappel sur la combustion du fuel

Composition: carbone 86 %
hydrogène 13 %
divers 1 %, dont 0,4 à 0,5 % de

soufre.

La densité du fuel est de 0,82 à 0,85 kg/l.

Le fuel liquide ne s'enflamme qu'à haute température, mais les vapeurs chaudes s'enflamment dès 55° C et en pratique à 70° C.

La combustion complète de 1 kg de fuel demande 10 m³ d'air (soit environ 13 kg) et produit du gaz carbonique, de la vapeur d'eau, des traces d'anhydride sulfureux (SO₂) et de la chaleur. Le pouvoir calorifique inférieur que l'on retiendra pour les calculs est de 10 150 kcal par kg de fuel (ou 8 425 kcal/l).

En pratique, le fuel, pulvérisé en fines gouttelettes, par un brûleur, est réchauffé par la chaleur du foyer et s'enflamme spontanément. Pour diminuer la part d'imbrûlés, l'air est fourni en excédent (13 à 20 m³ par kg de fuel).

L'observation de la flamme peut fournir un diagnostic sommaire de la qualité de la combustion:

- flamme jaune clair brillant : combustion normale,
- flamme rouge : mauvais dosage de l'air,
- flamme peu lumineuse : pulvérisation grossière,
- flamme instable se décollant du brûleur : vitesse d'air excessive, ou dépression, ou mauvais tirage.

L'analyse des gaz de combustion est une technique plus élaborée pour l'examen du fonctionnement d'un générateur d'air chaud, mais fait appel à des appareils dont le praticien ne dispose généralement pas.

Le générateur d'air chaud est constitué d'un brûleur, d'une chambre de combustion et souvent d'un

échangeur. En effet les combustibles tels que fuel léger ou fuel lourd ayant une teneur importante en soufre (cf. tableau 3.2.5.) dégagent lors de la combustion des gaz très corrosifs et nécessitent généralement l'emploi d'un échangeur.

3.3.2.1. Brûleurs

Le brûleur est le principal organe d'un générateur d'air chaud. Il doit permettre:

- l'approvisionnement en air et en combustible,
- la régulation de cette alimentation,
- l'inflammation et la combustion régulière du mélange.

a) BRÛLEURS à FUEL

Selon le mode de pulvérisation du fuel, on distingue deux types de brûleurs:

- *Brûleurs à pulvérisation mécanique*

Ce sont les brûleurs les plus utilisés.

Le fuel est mis sous une pression de 8 à 12 bars par une pompe à engrenages, protégée à l'amont par un tamis de 15/100 mm.

Un régulateur de pression, placé à l'aval, permet de régler la pression de fonctionnement du brûleur dans une fourchette de ± 15 % autour de la pression normale et, en cours de fonctionnement, de maintenir la pression à 5 % près.

Si la pression baisse, le régulateur coupe l'arrivée de fuel.

Un gicleur (protégé par un filtre 12/100) entraîne la veine de fuel en rotation (rainures hélicoïdales) et provoque sa pulvérisation en un cône plein ou creux de 40 à 60°.

Les gicleurs ont un débit taré pour une pression donnée (les références sont souvent exprimées en US gallon = 3,785 l).

L'air est projeté, dans l'axe du gicleur, par un ventilateur centrifuge. L'aspiration du ventilateur est réglée soit par un registre se refermant par gravité lorsque l'aspiration diminue, soit par un volet de tirage manœuvré par un vérin commandé par la pression du fuel dans le circuit (Fig. 49).

La veine d'air et le fuel pulvérisé se mélangent dans la tête de combustion.

L'air est canalisé dans l'axe du jet de fuel par un cône à ailettes hélicoïdales et un dispositif défecteur met l'air en mouvement tourbillonnaire de sens inverse à celui des gouttelettes de fuel.

L'entraînement du brûleur (ventilateur et pompe) est assuré par un seul moteur.

[Fig. 49: Brûleur à pulvérisation mécanique. \(Doc. B.P.\)](#)

Deux modes de régulation sont employés sur les brûleurs mécaniques pour l'alimentation en fuel:

- **brûleur à un seul gicleur à fonctionnement intermittent commandé par thermostat: l'arrivée du fuel est coupée lorsque la température atteint une valeur maximum et ouverte lorsque la température décroît jusqu'à une valeur minimum. Ce fonctionnement en «tout ou rien» ne permet qu'un réglage grossier;**

- **brûleur à deux gicleurs: l'un des gicleurs fournit en permanence un apport calorifique minimal et l'autre, commandé par thermostat, fournit l'apport complémentaire (Fig. 50).**

Cette technique de réglage est plus élaborée que la précédente.

L'alimentation en air est prévue, soit constante, donc avec un grand excès à faible allure, soit modulée par un volet de tirage placé dans la conduite d'aspiration.

[Fig. 50: Brûleur à deux allures. \(Doc. B.P.\)](#)

Nota:

Un troisième mode de régulation parfois proposé par les constructeurs, consiste - sur un brûleur à un seul gicleur - à faire varier la pression de fonctionnement pour réguler son débit. Comme indiqué ci-dessus, la plage de régulation ne doit pas dépasser ± 15 % de la pression nominale.

Ce mode de régulation est cependant limité car la variation de pression de 10 % à 15 % permise, n'entraîne qu'une variation de débit d'environ 10 %.

- Brûleurs à pulvérisation pneumatique

Le principe du brûleur à pulvérisation pneumatique consiste à provoquer l'éclatement de la veine de liquide par une veine d'air dans une chambre de pulvérisation (Fig. 51).

Le fuel arrive, sous faible pression, dans une chambre de forme torique. Sous l'effet de la dépression régnant dans cette chambre, le fuel se répartit sur toute la paroi en un film mince qui est éclaté par le flux d'air à sa sortie de la chambre.

La pulvérisation est plus fine que celle obtenue avec la pulvérisation mécanique, ce qui assure une meilleure combustion.

L'arrivée du fuel, fourni sous faible pression par une pompe ou un réservoir en charge, est dosée par un régulateur à double action, commandé par la pression de l'air (Fig. 51).

Deux vanes pneumatiques sont placées sur le circuit. La première coupe l'arrivée du fuel lorsque la pression de l'air est trop faible. La seconde, placée sur une dérivation de la conduite principale, règle le débit du fuel en fonction de la température par l'intermédiaire d'un thermostat à fuite d'air. Sous l'effet de la température, ce thermostat démasque plus ou moins une fuite d'air faisant varier la pression de la membrane d'une vanne pneumatique, donc le débit de fuel.

L'amplitude de la régulation est très importante, le débit de fuel pouvant varier de 1 à 3, voire de 1 à 5.

La pulvérisation pneumatique a l'avantage d'être assez simple, de permettre une régulation continue du débit de fuel et de s'arrêter immédiatement à l'arrêt du compresseur.

[Fig. 51: Brûleur à pulvérisation pneumatique. \(Doc. B.P.\)](#)

Quel que soit le type de brûleur, tous sont équipés d'un dispositif d'allumage par électrodes entre lesquelles jaillit une étincelle produite par un transformateur qui fournit une tension de 10 000 volts environ.

Tous sont également munis d'un dispositif de sécurité qui arrête le brûleur en cas de non-allumage de la flamme. Ce dispositif à cellule photorésistante provoque l'arrêt du moteur et le déclenchement d'un signal lumineux ou sonore. Le moteur doit être réenclenché par l'opérateur.

NB: Brûleur à fuel lourd.

Le principe est le même que pour les brûleurs à fuel léger, le combustible est mis sous une pression de 20 bars par la pompe qui l'envoie dans une chambre d'atomisation. Pour que la pulvérisation soit correcte, il est nécessaire de chauffer ce fuel à 120° C pour le rendre plus fluide. Il faut également rappeler que le fuel lourd doit être stocké à environ 60° C pour éviter qu'il ne se fige.

b) BRÛLEURS à GAZ NATUREL

Les brûleurs à gaz naturel sont de trois types

- Brûleurs à «air soufflé»

De conception voisine de celle des brûleurs à fuel ces brûleurs peuvent parfois être mixtes (gaz et fuel). Au prix de certaines modifications, il sera donc possible de conserver l'ancien brûleur à fuel lorsque l'on voudra se reconvertir au gaz naturel.

- Brûleurs à veine d'air

Ces brûleurs sont très simples. Ils sont constitués d'un dièdre en acier perforé placé directement dans la veine d'air. Le gaz arrive au sommet du dièdre et les perforations des côtés du dièdre permettent l'admission de l'air. La vitesse de l'air dans la veine doit être comprise entre 10 et 20 m/s. La puissance calorifique est de l'ordre de 300 000 kcal au mètre linéaire de rampe.

[Fig. 52: Schéma d'un brûleur à veine d'air.](#)**- Brûleurs «à induction»**

Ces brûleurs «type torches» sont des brûleurs métalliques classiques à air induit prémélange partiel. Ils sont équipés de tête de stabilisation et sont également placés dans le caisson d'admission d'air.

NB: Brûleurs à butane liquide.

Brûleurs type fuel domestique ou brûleurs autovaporisants, ces derniers sont très simples. A l'extrémité des torches du brûleur se trouve un serpentín qui réchauffe le gaz liquide vers 50° C à 60° C et le vaporise. En fonction de la température à atteindre, un système de vannes permet une régulation modulante de l'arrivée de gaz.

[Fig. 53: Brûleur à induction. \(Doc. STEFL\)](#)

3.3.2.2. Chambres de combustion

Les combustibles brûlent avec une flamme qui atteint 1 500° C à 2 000° C, les gaz de combustion atteignant, eux, 800° C à 1000° C dans la chambre de combustion. Le volume et la forme des foyers dépendent de la puissance thermique requise. On considère que 1 ml de foyer correspond à 200 000 mth/h. Le foyer est en acier inoxydable réfractaire, parfois revêtu de matériaux réfractaires (amiante, briques, etc.).

Nous avons vu qu'avec le gaz naturel ou le butane liquide la combustion se fait directement dans la veine d'air. Avec le fuel, on distingue deux types de chambres de combustion.

Chambres de combustion sans échangeur, dans lesquelles les gaz de combustion additionnés d'air ambiant sont repris par un ventilateur et répartis dans le produit à sécher.

Chambres avec échangeur dans lesquelles les gaz de combustion servent à réchauffer l'air de séchage et sont évacués sans traverser le produit.

- *Chambres de combustion sans échangeur*

La transmission de la chaleur à l'air de séchage se fait par simple dilution. Un écran protège le ventilateur.

Ce type de chambre (Fig. 54) offre plusieurs avantages:

- réalisation simple, donc coût peu élevé,
- très bon rendement global de la puissance installée, car les pertes de chaleur sont réduites et la forme simple des circuits d'air ne provoque pas de fortes pertes de charge.

Fig. 54: Chambre de combustion sans échangeur. (Doc. B.P.)

Au passif, il faut porter le risque de transporter sur le produit à sécher des produits imbrûlés qui peuvent en détériorer la qualité. Ce risque sera d'autant plus grand que la combustion sera moins bien réglée (produits toxiques de pyrolyse benzopyrène).

Enfin le fuel étant riche en soufre les gaz contiennent des oxydes de soufre (SO_2 et SO_3) qui pourront être très corrosifs pour les séchoirs.

- *Chambres avec échangeur*

Dans ce type de chambre, l'air de séchage et les gaz de combustion sont en parallèle, mais sans aucun mélange. L'air de séchage se réchauffe au contact des parois chauffées par la combustion du fuel (Fig. 55).

Les avantages sont:

- air de séchage propre: aucun risque de dépréciation du produit par dépôts d'imbrûlés;

- air de séchage non corrosif;
- risques d'incendie limités;

Fig. 55: Chambre de combustion avec échangeur. (Doc. B.P.)

mais:

- les circuits suivis par l'air de séchage sont complexes, donc pour un même débit d'air, obligent à utiliser un ventilateur plus puissant pour vaincre des pertes de charge supérieures;
- le prix de revient est plus élevé;
- à leur évacuation dans l'atmosphère, les gaz de combustion sont à une température supérieure à celle de l'air ambiant; il y a donc une perte de chaleur à ce niveau (voir plus loin);
- le rendement thermique est de l'ordre de 75-85 %. Il dépend de l'importance de la surface d'échange (il faut 1 m² pour échanger 10 000 mth/h) et de la vitesse de l'air dans les circuits.

Un générateur d'air chaud avec échangeur nécessite un entretien plus suivi, les dépôts de suie réduisant les échanges. Les brûleurs devront donc être parfaitement réglés. Le rendement du générateur d'air chaud est donné par:

Q est la chaleur utile prise par l'air de séchage. C'est la différence entre **Q₁**: chaleur fournie par le combustible et **Q₂**: chaleur perdue par rayonnement, imbrûlés, fumées, etc.

$$\text{donc } \rho = \frac{Q}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Ventilateur

Le ventilateur est placé à l'amont ou à l'aval de la chambre de combustion et travaille en refoulement ou en aspiration. En général, les générateurs directs ont un ventilateur placé en aspiration. Le ventilateur en refoulement n'est utilisé que pour quelques générateurs à échangeurs perfectionnés.

3.3.2.3. Réglage des brûleurs

La question du réglage des brûleurs n'intéresse pratiquement que les brûleurs à fuel car les brûleurs à gaz ne posent que très peu de problèmes de réglage. Seul un excès d'air peut éventuellement provoquer un décollement de la flamme.

a) PERTES DANS LES GÉNÉRATEURS D'AIR CHAUD

- Pertes par rayonnement et conduction

On peut limiter ces pertes en isolant le générateur par de la laine de roche. (1 m² de calorifugeage peut permettre d'économiser 0, 15 à 0,30 litre de fuel par heure).

- Pertes par imbrûlés

Pour brûler totalement 1 kg de fuel il faut 9,75 m³ d'air (soit en pratique 10 m³). Lorsque l'air est insuffisant, des particules de carbone restent imbrûlées et provoquent l'apparition de fumée noire. Une partie de ces particules peuvent se déposer sous forme de suie sur les échangeurs altérant les échanges de chaleur et

provoquant une baisse de rendement.

Pour mesurer les imbrûlés on utilise une pompe de prélèvement et filtration de fumée à main qui retient les imbrûlés sur un papier-filtre. Le prélèvement doit être fait à 1,50 m après le début de la cheminée et au centre de celle-ci pour se trouver dans un courant de fumée non perturbé. La coloration du filtre par les imbrûlés est comparée à une échelle colorimétrique fournie avec l'appareil.

Causes de la présence d'imbrûlés:

- manque d'air (ρ) ouvrir le volet d'air;
- gicleur trop gros, mal adapté au brûleur;
- mauvaise pression du fuel:
 - * si elle est trop forte (ρ) trop de fuel
 - * si elle est trop faible (ρ) le fuel est mal pulvérisé.

Une bonne pression de fuel (domestique) est de l'ordre de 10 kg/cm² (entre 8 et 15 kg/cm² selon les fabricants).

En l'absence d'échangeur il faut éviter la formation d'imbrûlés car il y a un risque important de pollution des denrées traversées par l'air de séchage.

- Pertes par les fumées

Les pertes par les fumées sont le fait des générateurs d'air chaud à échangeur. Pour avoir une combustion complète du fuel (éviter les imbrûlés) on cherchera à avoir une combustion oxydante en augmentant la quantité d'air injecté. Cependant cet excès d'air qui aura été réchauffé est à l'origine de pertes puisqu'il est

évacué par la cheminée.

Dans le cas d'une combustion neutre, le taux de CO₂ contenu dans les fumées est de 15,7 %. Un excès d'air dilue le CO₂ et fait donc baisser son taux, il suffira donc de mesurer la teneur en CO₂ pour connaître l'excès d'air.

Il faut parvenir à un juste milieu pour obtenir le minimum d'imbrûlés et le maximum de CO₂.

Mesure du taux de CO₂

La teneur en CO₂ des fumées est mesurée, toujours au même niveau dans la cheminée, avec un absorbeur à base de potasse à fonctionnement manuel ou avec un doseur électrique.

La teneur en CO₂ ne doit pas être inférieure à 12 %.

Mesure de la température des fumées

La mesure se fait au même endroit que celui qui a été indiqué ci-dessus pour le prélèvement des imbrûlés. Les thermomètres métalliques (à lames) sont peu précis et on leur préfère les thermomètres à mercure ou les soudes thermométriques.

- température de fumée normale: 150 à 250° C;**
- température de fumée anormale: 450 à 500° C.**

Plus la température est basse, meilleur est le rendement. Cependant on se gardera de descendre en dessous de 150° C car alors des risques de condensation (formation d'acide sulfurique) pourraient

apparaître, conduisant à une détérioration du matériel.

Pourcentage de pertes par les fumées:

$$\% \text{ Pertes} = \frac{0,56 (\theta \text{ fumées} - \theta \text{ ambiante})}{\% \text{CO}_2}$$

Exemple 1:

Teneur en CO₂ : 13,5 %

Température des fumées : 250° C

Température ambiante : 15° C

$$\text{Pertes} = \frac{0,56 (250 - 15)}{13,5} = 9,75\%$$

Les pertes sont assez faibles; l'appareil a un bon rendement.

Exemple 2:

Teneur en CO₂ : 11 %

Température des fumées : 450° C

Température ambiante : 30° C

Pertes = 21,4 %

Dans ce cas l'appareil a un très mauvais rendement. il y a excès d'air et la température des fumées est trop élevée, en raison soit d'une mauvaise conception de l'appareil (faute du constructeur), soit de l'encrassement, soit de l'usure du matériel.

Dans tous les cas, les mesures doivent être régulières et au moins hebdomadaires, surtout après une intervention au niveau du brûleur.

b) ENTRETIEN ET RÉGLAGE

- Nettoyage des circuits

Le ramonage peut être manuel (par brossage), ou chimique.

Le ramonage chimique consiste à injecter dans la flamme une poudre qui dissout les impuretés déposées sur les parois. Elle ne peut agir que si le dépôt est mince, il faut donc prévoir un ramonage tous les 8 à 10 jours (à raison de 100 g de poudre pour 10 t de fuel).

L'injection de la poudre peut se faire en plusieurs endroits:

- au niveau du ventilateur du brûleur. Ce procédé facile a l'inconvénient de laisser sur le brûleur des particules de poudre, laquelle est caustique et détériore le brûleur;**
- au niveau de l'oeilleton du G.A.C. (le brûleur étant réglé à allure basse pour éviter le risque de retour de flamme).**

- Gicleur

Le gicleur peut également être une source de mauvais réglage. Chaque gicleur porte plusieurs indications

- **marque,**
- **débits en gallons. (Attention: gallon US = 3,78 l et gallon anglais = 4,55 l).**
- **angle de pulvérisation (30 à 80°).**

Les angles faibles sont prévus pour les chambres de combustion longues.

En règle générale, le fuel ne doit pas arriver à moins de 10 cm des parois de la chambre de combustion.

- **une lettre qui indique la forme du cône mais varie selon les constructeurs:**
 - * **cône plein,**
 - * **cône semi-plein,**
 - * **cône creux.**

Les gicleurs s'usent, il ne faut les nettoyer qu'avec de l'air comprimé, jamais avec des tiges métalliques.

Enfin le fuel peut contenir des impuretés. Il faut

- **surveiller les filtres,**
- **laisser reposer le fuel fraîchement livré (l'optimum est de disposer de 2 citernes),**
- **nettoyer les citernes.**

L'emploi d'additifs n'est valable que dans certaines limites et pour des fuels très encrassés. Dans bien des cas, leur utilité est très contestée.

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Home](#)"" """"""> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

3.3.3. Économie d'énergie au niveau des séchoirs

3.3.3.1. *Rappel*

Nous avons vu que le rendement calorifique moyen des séchoirs statiques était de 1 500 à 1800 kcal/kg d'eau évaporée et que celui des séchoirs continus était d'environ 1200 kcal/kg d'eau (cf. 3.2.4.). Il est possible d'agir sur certains facteurs pour limiter les pertes d'énergie.

3.3.3.2. *Les possibilités d'économie. Comment intervenir?*

a) On pourra tout d'abord réduire les pertes par conduction-rayonnement en isolant les parties chaudes du séchoir. Ceci représente un investissement assez faible mais l'économie qui en résulte reste limitée.

b) LE CHAUFFAGE DIRECT

La suppression de l'échangeur peut être envisagée pour éviter de gaspiller des calories. Nous avons parlé des risques d'un séchage direct utilisant le fuel comme combustible. Cette solution nécessite un parfait réglage du brûleur à fuel.

Le plus simple, est de prévoir une conversion en gaz naturel ou au butane liquéfié avec modification du générateur d'air chaud, mais ces gaz sont rarement commercialisés dans les pays en développement.

c) RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DU GRAIN

La chaleur sensible du grain pourra être récupérée par la méthode dite de «dryération» ou en français «Refroidissement Lent Différé».

Le refroidissement lent différé

- Principe

On utilise la chaleur emmagasinée par le grain au cours du séchage pour éliminer les derniers «points d'humidité».

- Technique

• Après le séchage, le refroidissement du grain ne s'effectue plus dans la partie basse du séchoir mais dans des cellules de refroidissement équipées d'un système de ventilation.

La zone de refroidissement est transformée en zone de séchage ce qui augmente le débit du séchoir.

• Les grains de maïs sortant du séchoir à une humidité de trois points supérieure à celle de sauvegarde, et à

une température de l'ordre de 50° C - 60° C sont transférés dans la cellule de «temporisation» où ils vont reposer pendant environ 8 à 12 h. Cette période de repos permet une migration de l'eau du grain de l'amande vers la périphérie, homogénéise la répartition d'eau dans le grain et supprime les tensions internes dues aux gradients hydrothermiques.

- **Après la période de repos, l'application d'une ventilation avec de l'air ambiant à raison de 40 à 60 m³/h/m³ pendant 10 à 15 h permet d'une part de refroidir le grain, et d'autre part, grâce au réchauffement de l'air par la chaleur du grain, d'évacuer les derniers points d'humidité.**
- **Après refroidissement complet le grain est transféré dans les cellules de stockage.**

Fig. 56: Schéma du principe de la méthode de séchage par dryération. (D'après I.T.C.F.)

- Intérêts du R.L.D.

- **Économies d'énergie de 15 % à 25 %.**
- **Augmentation de débit du séchoir de 30 % à 40 %.**

L'augmentation du débit de séchage par la dryération est liée à 4 facteurs:

1° La section réservée au refroidissement dans le séchoir continu est supprimée et utilisée pour le séchage.

2° Le produit sort à humidité plus élevée; il y a donc moins d'eau à enlever dans le séchoir.

3° L'air de séchage peut être porté à température plus élevée, sans risque de calciner le grain sortant du séchoir.

4° L'efficacité totale de l'opération est augmentée.**RÉSULTATS D'ESSAIS DE DÉBIT**

Température de l'air	Débit de séchage (en q/h de maïs 25 à 14)	
	Séchage classique	Dryération
87° C	22	29
115° C	27	49
143° C	36	62

- Diminution de la fragilité du grain

Les résultats obtenus au cours des essais sur maïs sont très nets.

Essais de séchage de maïs de 25 à 14 % selon divers procédés. Incidences sur le taux de brisures (résultats Thomson et Foster):

Méthode de séchage	% grains fêlés	% brisures
Séchage classique	43,6	11,3
Dryération	7,6	6,7
Séchage en 2 temps	4,9	7,0
Témoin	1,5	5,6

Par rapport au séchage classique, la dryération réduit très nettement le pourcentage de grains fêlés (43,6 à 7,6 %) et le pourcentage des brisures (11,3 à 6,7 %).

La durée de pause d'homogénéisation influe sur le taux de brisures; les meilleurs rendements en grains entiers ont été obtenus avec des temps d'homogénéisation de 12 heures.

- Inconvénients

Des condensations pouvant se produire lors du refroidissement et permettre le développement ultérieur des moisissures, il est IMPÉRATIF de vider la cellule lorsque le refroidissement est achevé. Cette technique ne doit donc pas être utilisée si le refroidissement est fait dans la cellule de stockage.

- **Nécessité d'une cellule de refroidissement avec ventilation spéciale.**
- **Le système nécessite un évacuateur de buées efficace. Il est également conseillé d'isoler la zone de dryération du reste du silo.**
- **L'élévateur de grains encore humides et chauds doit être surdimensionné et également équipé d'une évacuation de buées.**
- **Vue la température des grains à la sortie du séchoir la mesure de l'humidité devra être faite par une étuve (on ne pourra utiliser un humidimètre électrique que si l'on a auparavant refroidi brutalement l'échantillon prélevé).**

La dryération reste cependant un système intéressant d'économie d'énergie et avec l'emploi d'un chauffage direct au gaz on peut espérer descendre à 950 kcal/kg d'eau évaporée.

d) RECHERCHE D'UNE MEILLEURE SATURATION DE L'AIR

La technique de séchage à courants croisés utilisée dans les séchoirs continus fait que tout au long de son circuit dans le séchoir le grain est attaqué par un air ayant toujours les mêmes caractéristiques. En haut du séchoir, l'air chaud rencontre le grain très humide et ressort pratiquement saturé. Par contre, en bas de la colonne de séchage, le grain étant déjà fortement séché, les transferts d'eau sont beaucoup plus difficiles. Le débit spécifique étant le même, l'air qui ressort est loin de la saturation, donc sa température est encore élevée (60° C environ) et il peut être recyclé.

Ainsi, l'air sortant du générateur d'air chaud est envoyé dans la partie basse de la colonne de séchage. L'air usé qui en ressort est renvoyé dans la partie haute où il se sature en traversant et séchant le grain humide. Cette technique permet d'abaisser la consommation spécifique à 850 kcal/kg d'eau évaporée.

Fig. 57: Principe du séchoir à double circulation d'air (VIM).

Elle présente cependant l'inconvénient de sous-utiliser la partie haute du séchoir. La température d'attaque n'étant plus que de 60° C la quantité d'eau évaporée dans cette zone est faible par rapport à ce qu'elle pourrait être si on utilisait une température supérieure. Cet inconvénient est éliminé dans les séchoirs suivants:

Séchoir surrégénéré

Dans ce séchoir, à deux étages, l'air usé sortant du premier étage est mélangé avec de l'air sortant de la zone de refroidissement.

Ce mélange, avant d'attaquer l'étage supérieur du séchoir, est réchauffé à une température élevée (de l'ordre de 150° C); il peut ainsi sécher le grain humide qui arrive au séchoir. L'air usé sortant du séchoir est

alors pratiquement saturé.

Cette technique permet une économie de 25 % par rapport à un séchoir classique en chauffage direct et de 35 % par rapport à un séchoir conventionnel équipé d'un brûleur à échangeur. Elle permet d'abaisser la consommation thermique spécifique à 760 kcal/kg d'eau évaporée. La capacité de séchage est accrue de 120 %.

[Fig. 58: Séchoir surrégénéré. \(Doc. FAO\).](#)

Des essais en vraie grandeur ont en effet donné les résultats suivants (essais ITCF - 1977):

	Séchoir conventionnel	Séchoir 2 étages	gains
Consommation thermique spécifique	Direct 1000 kcal/kg Indirect 1 150 kcal/kg	750 kcal/kg	25% 35%
Puissance d'évapo ration	1 575 kg/h	3 483 kg/h	120%

Sur le même principe il est possible de concevoir des séchoirs à étages multiples avec réglage échelonné des températures d'air.

e) RÉCUPÉRATION D'UNE PARTIE DE LA CHALEUR DE VAPORISATION DE L'EAU

Tous les procédés décrits précédemment sont théoriquement limités dans leurs performances par la quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation de l'eau.

On pourra récupérer une partie de cette chaleur en condensant l'eau contenue dans l'air usé. La chaleur ainsi récupérée permettant un préchauffage (40° C - 45° C) de l'air neuf arrivant au séchoir.

Nous pouvons reprendre le schéma de principe pour un séchoir biétagé. L'air très chaud (150° C) qui attaque les grains (très humides) de l'étage supérieur est recyclé. Cet air bien saturé et chaud est condensé au niveau d'un laveur, l'eau récupérée est chaude. Au niveau d'un échangeur eau-air (10 fois plus performant qu'un échangeur air-air), elle cède sa chaleur à l'air frais entrant dans la partie inférieure du séchoir en le préchauffant à 40° C - 45° C.

Cette technique devrait permettre de parvenir à des consommations thermiques spécifiques de l'ordre de 700 kcal/kg d'eau évaporée, voire moins.

Des mises au point sont cependant encore nécessaires. L'air ayant traversé le grain est en effet chargé de poussières et de pellicules qui risquent de provoquer des colmatages au niveau de l'échangeur.

Nous venons de voir quels types d'actions peuvent être menées au niveau d'un séchoir en vue d'économiser l'énergie. Cependant nous n'avons parlé là que de séchoirs utilisant des sources d'énergies «classiques» telles que fuel ou gaz. Récemment sont apparus sur le marché des séchoirs utilisant la biomasse comme source énergétique.

[Fig. 59: Principe du séchoir «biétagé» à économiseur. \(D'après ITCE.\)](#)

3.3.4. Utilisation de la biomasse pour le séchage

Dans l'opération de séchage le combustible est très coûteux surtout depuis le renchérissement des produits pétroliers qui ont l'énorme avantage d'être faciles à stocker et à utiliser (existence de brûleurs faibles et régulés). Pour les petits séchoirs isolés leur emploi n'est pas envisageable et pour les grands il est de moins en moins économique.

Deux solutions de remplacement offrent de l'intérêt: le séchage solaire et l'emploi de combustibles de

remplacement.

Le séchage solaire offre l'avantage d'une énergie gratuite mais irrégulière et peu concentrée.

L'énergie solaire reçue au sol étant en moyenne de 5,5 kwh/m²/jour ceci correspond au pouvoir calorifique de $(5,5 \times 860) / 4\ 000 = 1,2$ kg de bois sec. Bien entendu le rendement de la captation ou de la combustion a une très grande importance pour l'utilisation de ces potentiels énergétiques.

En pratique, à moins d'employer des capteurs de grande surface ou de sécher des produits de quelques pour cent d'humidité seulement, le débit des séchoirs solaires est limité. Les sous-produits celluloses, lorsqu'ils sont disponibles sur le site, renferment une énergie calorifique importante et apte à réchauffer les grandes masses d'air nécessaires au séchage.

L'énergie calorifique des sous-produits est souvent sous-estimée, alors qu'elle est considérable.

Ainsi:

- une plantation de cocotiers à 150 arbres par hectare et 67 noix par arbre et par an, fournit en noix et palmes l'équivalent calorifique de 5450 kg de fuel;**
- l'usinage d'une tonne de riz produit 200 kg de balle (équivalent à 60 kg de fuel). Dans un séchoir ayant un rendement évaporatoire de 2 000 mth/kilo d'eau évaporée, ce qui est moins que moyen, ces 200 kg de balle permettent d'évaporer 330 kg d'eau, soit de sécher une tonne de paddy de 35 % à 14 %. L'humidité initiale est souvent bien inférieure, et la balle est généralement suffisante pour produire l'électricité nécessaire à l'usinage.**

De nombreux autres exemples peuvent être cités. En première approximation le pouvoir calorifique des

sous-produits cellulosiques est estimé à 3,300 th/kg que l'on exprime également par:

«3 kg de sous-produit = 1 kg de fuel»

(Cf. 3.2.5. pour connaître le P.C.I. de différents bio-combustibles).

a) GÉNÉRATEURS D'AIR CHAUD UTILISANT DES SOUS-PRODUITS

Ces matériels sont encore peu nombreux et souvent au stade du développement, Nous distinguerons les matériels par puissance, ce qui correspond généralement à un contexte socio-économique.

- **Petite puissance.**
- **Moyenne puissance.**
- **Grande puissance.**

- *Générateurs de petite puissance* (moins de 50 thermies/heure)

Pour mémoire, rappelons que le bois est le combustible presque exclusif à ce niveau avec de graves problèmes de déforestation dans de nombreuses régions du monde. Le séchage n'entre que pour une très faible part dans ce fléau, car les zones déficitaires en bois sont généralement sèches.

L'un des petits séchoirs utilisant le bois est le modèle BROOKS décrit plus loin au chapitre IV.

Des modèles dérivés ont été réalisés, tous conçus avec un échangeur pour éviter le risque d'incendie. Ainsi celui de l'Université de Ife (Nigéria) permet de sécher 200 kg de grain (couche de 10 cm d'épaisseur) de 25 à 12 % en 4 heures avec une consommation de 60 kg de bois, ce qui correspond à un rendement évaporatoire de 1,73 kg de bois par kilo d'eau, donc plus de 5 thermies par kilo d'eau évaporée, ce qui est très

défavorable et explique pourquoi ce type de séchoir ne connaît qu'une diffusion très limitée.

L'emploi de sous-produits ne faisant pas l'objet - comme le bois - de transactions commerciales, est souvent plus intéressant.

Aux Philippines, l'I.R.R.I. a mis au point deux générateurs à balle de riz. L'un est réalisé en briques avec une ossature métallique (Fig. 61) et l'autre en tôles métalliques.

Avec une consommation de 3 à 4 kg de balle par heure, le réchauffage de l'air atteint 14° C (29° à 43° C) pour un débit d'air de 73 m³ heure (rendement du réchauffage d'air de l'ordre de 10 % seulement). La température maximum atteinte est de 60° C avec une consommation de 8 kg/heure, mais la combustion est alors moins complète.

- *Générateurs de moyenne puissance (50 à 200 thermies/heure)*

Ces matériels présentent un intérêt particulier pour les pays en développement car ils correspondent à des structures villageoises ou communautaires aptes à supporter un investissement hors de portée des agriculteurs individuels et impossible à rentabiliser à leur échelle. Toutefois, peu de matériels sont actuellement vulgarisables car ils ne correspondent pas à une gamme de puissance intéressant les pays développés pour lesquels les priorités sont d'une part le chauffage domestique avec de petites chaudières à eau et d'autre part, les grands séchoirs de plus d'un millier de thermies.

Certains constructeurs proposent cependant des générateurs polycombustibles à échangeur air-air de puissance comprise entre 50 et 200 thermies pouvant répondre à de nombreux besoins, Les foyers en briques réfractaires permettent une bonne montée en température et une combustion régulière du produit, mais les briques réfractaires sont rarement disponibles sur place et sont coûteuses à importer. De plus il faut prévoir une réfection du foyer après plusieurs années (selon l'intensité d'utilisation). Les foyers

métalliques ayant une inertie thermique faible sont plus sensibles aux variations d'alimentation et d'humidité du produit mais offrent l'avantage d'une implantation et d'une maintenance aisées.

[Fig. 60: Schéma d'un séchoir statique avec générateur d'air chaud à bois et échangeur air-air. \(D'après MAZUHELI - Autriche.\)](#)

[Fig. 61: Schéma d'un foyer à balle de riz. \(I.R.R.I. - Philippines.\)](#)

[Fig. 62: Générateur polycombustible à échangeur air-air. \(D'après Doc. WESTFALIA.\)](#)

[Fig. 63: Schéma générateur à rafles de maïs sur séchoir continu. \(D'après Doc. ROULIN.\)](#)

Avant toute acquisition il est prudent de procéder à des essais avec le fournisseur afin de vérifier d'une part la régularité de fonctionnement du foyer avec le produit à brûler, et d'autre part, l'absence de colmatage des grilles par des cendres fusibles après refroidissement; de «cuisants» échecs ayant été observés pour cette raison.

Notons que très souvent le foyer peut recevoir un brûleur d'appoint à fuel ce qui permet de régulariser le fonctionnement et de pallier des déficiences d'approvisionnement.

Les foyers à combustion directe travaillant en excès d'air, leur rendement est souvent moyen (50 à 70 %) et l'emploi de brûleurs gazogène est une nouvelle orientation intéressante avec la mise au point actuelle de gazogènes polycombustibles. Le gazogène offre l'avantage d'une combustion plus régulière et produit un gaz directement utilisable dans un brûleur simple à gaz pauvre. Les premiers modèles commercialisables devraient être rapidement disponibles.

- *Générateurs de grande puissance* (au-delà de 500 thermies/heure)

Depuis très longtemps les sous-produits sont utilisés dans des foyers de chaudières industrielles pour la production de vapeur et transformation en énergie mécanique ou électrique. La balle de riz a longtemps assuré l'indépendance énergétique des rizeries avant d'être supplantée par le groupe électrogène Diesel dont l'exploitation est devenue à nouveau coûteuse. Pour le séchage, les premières applications ont été réalisées sur des séchoirs de maïs de semence en épis car ce procédé - ayant un mauvais rendement - est très coûteux en combustible. Plusieurs types de foyers sont utilisés: en acier, briques, béton ou céramique réfractaires. Un échangeur air-air ou une chambre de dilution complètent l'installation. Pour certains un séchage préalable des rafles est prévu par recyclage d'air usé.

Ces générateurs de grande puissance ne sont encore testés qu'avec des rafles et de la paille et sur un petit nombre d'installations. Devant atteindre le niveau de fiabilité d'un équipement industriel il est probable que leur complète mise au point exigera encore plusieurs campagnes d'essais.

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

3.4. Séchage solaire

[3.4.1. Énergie solaire](#)

[3.4.2. Capteurs solaires](#)

3.4.3. La pratique du séchage solaire

3.4.1. Énergie solaire

Le terme de gisement solaire est fréquemment employé par analogie avec les énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole, minerais radioactifs),

a) DISPONIBILITÉ DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

- Caractéristiques du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un rayonnement de nature électromagnétique compris dans une bande des longueurs d'onde (λ) variant de 0,22 à 10 microns (μm) (10^{-6} m). Plus de la moitié de cette énergie est émise dans la bande des infrarouges.

Figure

Rayonnement direct et rayonnement diffus, rayonnement réfléchi

La terre capte environ dix milliardièmes de l'énergie rayonnée par le soleil, soit une puissance de $1,8 \times 10^{14}$ kw, ce qui représente annuellement de cinq à dix fois l'ensemble des réserves fossiles connues (uranium compris). Au-dessus des nuages, une surface plane horizontale d'un m^2 reçoit en moyenne 1400 watts (constante solaire). Le rayonnement direct est le plus important quand le ciel est clair.

Le rayonnement diffus dépend de la couverture nuageuse. Il provient des réflexions dans les masses d'air et

les nuages.

Le rayonnement réfléchi traduit la fraction d'énergie reçue par le sol ou un bâtiment, qui est réfléchi. On parle parfois de coefficient de réflexion ou d'albédo (du latin albus blanc) exprimé en pourcentage.

Le rayonnement global au sol est la somme des rayonnements direct et diffus. Dans le meilleur des cas, il est de l'ordre de 1000 watts par m².

[Fig. 64: Rayonnement solaire. \(D'après J. L. PERRIER.\)](#)

PART DES RAYONNEMENTS DIRECTS ET DIFFUS DANS LE RAYONNEMENT GLOBAL: EXEMPLE DE DAKAR.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne Annuelle
% rayonnement direct	78	76	71	70	73	60	53	46	60	66	67	71	66
% rayonnement diffus	22	24	29	30	27	40	47	54	40	34	33	29	34
rayonnement global kwh/m ² /J	5,42	6,07	6,49	6,83	7,01	6,54	5,78	6,74	5,64	5,61	5,03	4,84	5,83

Source bibliographique: SEMA.

- Variation du rayonnement solaire en fonction des saisons

La terre décrit autour du soleil une ellipse en 365 jours et un quart, et tourne sur un axe passant par les pôles en 24 heures. L'orbite terrestre appartient à un plan nommé écliptique mais la terre ne se déplace pas à la façon d'une toupie dont l'axe serait perpendiculaire à l'écliptique. S'il en était ainsi, les jours et les nuits auraient partout une durée égale. Il n'en est rien sauf à l'équateur. L'inégalité des jours et des nuits s'explique par l'inclinaison de l'axe des pôles sur l'écliptique. L'axe des pôles est incliné de 67° et le plan de l'équateur de 23° . L'égalité des jours et des nuits sur toute la terre a lieu aux équinoxes de printemps le 21 mars et d'automne le 23 septembre, le cercle d'éclairement passe alors par les deux pôles.

L'angle d'incidence des rayons solaires avec l'horizontale et la longueur du jour varient en cours d'année. La qualité d'énergie se répartit de façon inégale dans le temps, c'est la succession des saisons et dans l'espace, c'est le découpage du globe en grandes zones climatiques.

[Fig. 65: Mouvement de la terre autour du soleil.](#)

- Variation du rayonnement solaire suivant la localisation géographique

Pour atteindre chaque point de la surface éclairable du globe (1/2 sphère) les rayons lumineux doivent traverser une couche atmosphérique d'épaisseur variable selon la position géographique du lieu.

Fig. 66.

[Fig. 66.a](#)

La figure nous explique la raison pour laquelle il fait chaud à l'équateur et froid au pôle Nord ($E > e$).

[Fig. 66.b](#)

La figure nous explique pourquoi le rayonnement solaire Varie pour un point géographique donné en jonction de la rotation terrestre et donc de l'heure solaire - le rayonnement étant le plus intense à midi, pratiquement nul à 6 h et 18 h (pour une insolation de 12 h).

[Fig. 66.c](#)

Influence de la forme sphérique.

[Fig. 67: Influence de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre. Latitude 43°25' Montpellier E hiver > E équinoxes > E été.](#)

Notons que dans un même pays il existe de fortes variations (Nord Cameroun, Nord Côte d'Ivoire, par exemple). La proximité de la mer ou d'un grand lac représente un facteur favorable, à l'exception de quelques régions où les brouillards sont très nombreux comme en Mauritanie. Cet accroissement du nombre d'heures d'ensoleillement est lié à la faible rugosité de la mer: le développement de la nébulosité s'effectue à l'intérieur des terres. En plus, la bordure côtière bénéficie d'une forte réflexion des rayons solaires dès que ceux-ci sont assez inclinés sur l'horizon.

La connaissance du nombre d'heures d'ensoleillement annuel en un point ne suffit pas à déterminer le potentiel solaire en ce point, car cet ensoleillement peut présenter des caractéristiques très variables selon l'heure et la saison (soleil plus ou moins bas sur l'horizon) et selon l'état de l'atmosphère.

En Afrique sahélienne, disposant d'un excellent ensoleillement, des différences notables subsistent entre les pays. On peut considérer le Niger et le Burkina Faso comme pays très favorisés, le Sénégal et le Mali comme pays favorisés, la Côte d'Ivoire et le Cameroun comme pays peu favorisés. C'est donc dans ces derniers pays (équatoriaux) que les problèmes de séchage et de stockage sont les plus aigus.

b) LE SOLEIL TROPICAL ET LES IMAM D'ÉPINAL

Un litre d'eau nécessite l'apport de 600 kcal pour être vaporisé, mais en fait, cette évaporation se fait par entraînement au contact de l'air et globalement le rendement ne dépasse guère 50 % ce qui se traduit par une consommation effective de 1 000 à 1200 kcal par kg d'eau à évaporer.

La durée annuelle d'ensoleillement direct varie suivant les régions du globe de moins de 1000 heures à plus de 4 000 heures par an (sur 8 760 heures).

Mais la courbe des 2 MO heures par exemple passe aussi bien en France qu'en Côte d'Ivoire, au Cameroun ou au Brésil. La connaissance du nombre d'heures d'ensoleillement annuel en un point n'est pas suffisante pour déterminer le potentiel solaire en ce point. Cet ensoleillement peut présenter des caractéristiques très variables, selon l'heure, la saison et selon l'état de l'atmosphère (ciel plus ou moins brumeux).

L'insolation traduit l'énergie reçue au sol. Elle s'exprime par rapport à une unité de surface généralement le m² en se référant à une unité de temps: l'année, le jour. C'est pourquoi les unités les plus diverses sont rencontrées dans la littérature. Dans le système international cette insolation serait à exprimer en Watt par m². L'unité encore couramment utilisée est le kWh par m² et par jour. Les tableaux suivants permettent les conversions entre les diverses unités.

Il n'y a pas parfaite superposition entre l'ensoleillement et l'énergie reçue au sol, le relief joue, en effet, un rôle important.

UNITÉS DE TRAVAIL ET DE PUISSANCE - MODE DE CONVERSION UNITÉS DE TRAVAIL

	JOULE N. m =W.	KILOWATT	KILOCALORIE kcal	THERMIE	TEP
--	-----------------------	-----------------	-------------------------	----------------	------------

	S = 1 J	HEURE KWh			
Joule	1	$0,278 \times 10^{-6}$	$0,239 \times 10^{-3}$	$0,239 \times 10^{-6}$	$5,239 \times 10^{-10}$
kWh	$3,6 \times 10^{-6}$	1	860	860×10^{-3}	860×10^{-7}
hcal	4186	$1,16 \times 10^{-3}$	1	10-3	10-7
thermie	$4,18 \times 10^6$	1,16	103	1	10-4
TEP	$4,18 \times 10^{10}$	$1,16 \times 10^4$	107	104	1

TEP: Tonne d'équivalent pétrole = 10000 thermies.

[Fig. 68: Sommes annuelles du rayonnement solaire global \(kilojoules par cm² et par an\).](#)

UNITÉS DE PUISSANCE

	watt / J/S	kW	Ch	Kgm/s	kcal/h
watt	1	10-3	0,00136	0,102	0,860
kW	1 000	1	1,36	102	860
Ch	736	0,736	1	75	645
kgm/s	9,81	0,00981	0,0133	1	8,45
kcal/h	1,16	$1,16 \times 10^{-3}$	0,00157	0,118	1

Exemples d'utilisation de ces tableaux (lecture horizontale)

1 joule = $0,239 \times 10^{-3}$ kcal

1 kWh = $3,6 \times 10^{-6}$ joule

Autre unité

13TU (British thermal Unit) = 0,252 kcal

(D'après SEMA.)

La température, la pluie, l'humidité relative, le vent

Pour promouvoir le séchage solaire, par entraînement à l'air chaud, il faut s'intéresser non seulement à l'ensoleillement et à l'insolation mais aussi à d'autres données météorologiques: la température et l'humidité de l'air ambiant, la vitesse du vent.

Malheureusement, les données météorologiques sont trop fréquemment exprimées en valeurs moyennes. Il faudrait disposer de ces valeurs pratiquement heure par heure pendant les périodes de séchage.

c) UN EXEMPLE CONCRET: DIMBOKRO - COTE D'IVOIRE

L'exemple choisi est Dimbokro en Côte d'Ivoire, en région productrice de cacao. L'exemple cacao nous paraît illustrer les besoins en séchage solaire dispersés en milieu rural. En effet, les exploitations ont encore un caractère très familial et le paysan est amené à traiter des petites quantités, de l'ordre du quintal, par ses propres moyens.

Envisageons donc les données climatiques de Dimbokro.

L'ensoleillement de Dimbokro, 1914 heures/an est à comparer à celui de Nice: 2 750 heures/an.

Il convient d'affiner le diagramme général et de préciser les données climatiques, en fonction des mois de récolte des fruits tropicaux. A Dimbokro, zone de cacaoyers, la récolte se déroule pendant une campagne variant de 80 à 100 jours pendant les mois d'octobre, novembre, décembre.

Fig. 69: Caractéristiques climatiques moyennes mensuelles. Côte d'Ivoire - Dimbokro.

Fig. 70: Côte d'Ivoire - Dimbokro.

**Caractéristiques climatiques en fonction des heures pendant les mois de récolte des fèves de cacao. (▲) °C
Température - (●) H.R. % d'humidité relative de l'air.**

Les caractéristiques essentielles de ces mois de récolte de cabosses de cacao montrent une température moyenne comprise entre 27° C et 27,5 °C une pluviométrie mensuelle décroissante de 120 à 20 millimètres d'eau. L'humidité relative, en fonction des heures de la journée, est toujours très importante. Ce n'est que vers 15 heures que Cette humidité relative avoisine 60 %.

La zone productrice de cacao est, pendant la récolte, non seulement une zone de pluies, mais aussi une zone où l'humidité relative reste toujours forte.

En effet, afin de promouvoir le séchage par énergie solaire, il importe de disposer de données météorologiques précises. De plus, du point de vue purement des conditions climatiques, il faut toujours avoir présent à l'esprit, que les zones principales de production de produits agricoles tropicaux, correspondent à des zones à climat tropical humide. Si la température est de l'ordre de 27° C, l'humidité relative reste toujours supérieure à 60 % et les précipitations sont importantes. Pour sécher les produits agricoles tropicaux, arrivés à maturité dans des conditions météorologiques non optimales, il est nécessaire d'aider le soleil en proposant des capteurs (séchoirs solaires).

Il convient en outre d'étudier les spécificités des produits tropicaux, sans oublier le facteur essentiel, les réalités socio-économiques et socio-culturelles des pays concernés.

3.4.2. Capteurs solaires

a) PRINCIPES

- *Le corps noir*

Il est bien connu que la couleur noire absorbe la chaleur du soleil. Tout matériau absorbe les rayonnements solaires, en réfléchit une partie, et réémet des rayonnements. Il est important de noter que la réémission des rayonnements s'effectue dans une gamme de longueur d'onde différente de celle des rayons absorbés. Ainsi, un corps va absorber des rayons du domaine du visible (0,40-0,80 μm) et réémettre dans la gamme des rayons infrarouges autrefois baptisés rayons calorifiques.

Le comportement des surfaces des corps est décrit par rapport à un corps idéal dénommé *corps noir* ou *radiateur idéal*.

[Fig. 71: Définition d'un corps noir.](#)

Un corps noir parfait absorbe tout le rayonnement solaire, sa température s'échauffe puis à l'équilibre réémet la totalité de l'énergie reçue sous forme de radiations de longueur d'onde différente.

CARACTÉRISTIQUES D'UN MATÉRIAU VIS-À-VIS D'UN RAYONNEMENT

MATÉRIAU	RÉFLEXION	ABSORPTION	ÉMISSION

Métal poli	0,1	0,3	0,10
Peinture noire mate	0,1	0,3	0,95
Noir de fumée	0,04	0,96	0,90
Miroir parfait	100	0	0
Corps noir parfait	0	100	100

Globalement, on peut dire que lorsque le soleil éclaire une surface, cette surface réémet des rayons infrarouges dont la longueur d'onde et l'énergie sont fonction de la température.

- Effet de serre

Un corps noir, ou un matériau en noir mat, recevant le rayonnement du soleil, réémet des rayons infrarouges, invisibles, calorifiques.

L'effet de serre est obtenu en intercalant entre le soleil et le corps noir un matériau transparent aux rayons du soleil et arrêtant les rayons infrarouges réémis.

Le verre et certains plastiques ont cette particularité. L'énergie réémise par le corps noir est absorbée par le verre, qui s'échauffe. A l'équilibre le verre retransmet cette énergie pour moitié vers le corps noir, l'autre moitié vers la voûte céleste. Pour récupérer à nouveau la moitié des émissions extérieures de la vitre on peut réutiliser l'effet de serre en plaçant une seconde vitre. Toutefois, la multiplication des surfaces transparentes diminue la transparence globale de l'ensemble. Lorsque le soleil frappe une vitre, il faut tenir compte des facteurs suivants:

Figure

Aucun matériau n'est totalement transparent au rayonnement (le verre, «vert» visible sur sa tranche, contient des oxydes de fer réduisant la transparence à certaines longueurs d'onde). Une partie du rayonnement est réfléchi, en fonction de l'angle d'incidence. Une autre partie est absorbée puis rayonnée.

Globalement, l'analyse des échanges par rayonnement dans l'effet de serre est résumé dans le schéma ci-après.

[Fig. 72: Analyse des échanges par rayonnement de l'effet de serre. \(D'après fiche GRET-GERES, n° 540.\)](#)

b) ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN CAPTEUR PLAN

Quatre éléments entrent dans la constitution d'un capteur plan:

- **couverture transparente aux rayons du soleil opaque aux infrarouges,**

Figure

- **absorbent jouant le rôle de corps noir,**
- **isolation,**
- **caisson.**

Tous ces éléments sont très divers. Leurs choix résultent d'un compromis entre les performances, les impératifs économiques, et les contraintes de factibilité locale.

- La couverture transparente

Elle assure l'effet de serre en laissant passer les radiations solaires mais en arrêtant les infrarouges. Elle

réalise l'isolation thermique à l'avant de l'absorbeur et protège contre les intempéries, poussières, insectes.

Le choix s'établit entre le verre, de bonne qualité optique et d'excellente durabilité (mais cher, lourd et fragile), et les matériaux synthétiques, qui ont pour inconvénients majeurs d'être de durabilité médiocre en raison de leur altération aux ultraviolets. Certains «plastiques horticoles» sont garantis 4 ans, alors que le polycarbonate est garanti 10 ans.

- *L'absorbeur*

Jouant le rôle de corps noir absorbeur des radiations lumineuses pour les convertir en rayons infrarouges calorifiques, ils doivent avoir un coefficient d'absorption important et être constitués de matériaux pouvant résister à des températures élevées (100-130° C).

Le transfert de chaleur entre l'absorbeur et l'air est d'autant meilleur que les surfaces d'échanges sont importantes. C'est pourquoi on multiplie les surfaces de contact, en utilisant des traitements de surface au niveau microscopique ou en utilisant des échangeurs avec des ailettes.

On préfère aujourd'hui les absorbeurs poreux, copeaux métalliques, ou matériaux synthétiques noirs, bourre de coco, roseaux fendus, balles de riz noircies, dans lesquels l'air traverse l'absorbent ce qui améliore les échanges air-absorbeur.

- *L'isolation*

Elle limite les pertes thermiques du capteur. Elle est plus ou moins soignée en fonction de l'utilisation et de l'investissement de première installation.

Idéalement, il est intéressant de placer entre l'absorbent et l'isolant, une feuille d'aluminium réfléchissante.

Les isolants peuvent être du polyester expansé, des lièges ou des matériaux locaux, coques d'arachide, bourre de coco sous forme de coït, rafle de maïs, ou banco.

- *Le caisson*

Il constitue l'armature de l'ensemble. Il est très important de soigner son herméticité.

[Fig. 73: Les principaux types d'isolateurs à air.](#)

c) CLASSIFICATION DES CAPTEURS SOLAIRES

- *Généralités*

On sait qu'une simple loupe, traversée par les rayons solaires, peut mettre le feu à un combustible. Une lentille convergente concentre en son foyer toute l'énergie lumineuse qui arrive à sa surface.

Une classification de capteurs peut être basée sur la concentration ou non de l'énergie lumineuse. Il faut mentionner que dans le cas de capteurs à concentration, il faut suivre le soleil de façon que les rayons soient bien focalisés sur le foyer ponctuel ou linéaire.

Dans le cadre du séchage solaire de produits agricoles, il faut veiller à utiliser une température faible, aussi utilise-t-on des capteurs sans concentration (*capteurs-plans*).

Une autre classification peut être basée sur la nature du fluide caloporteur. L'eau ou l'eau glycolée (pour abaisser son point de congélation) est souvent utilisée pour le chauffage domestique, on peut rencontrer parfois du fréon pour les pompes à membranes fonctionnant à l'énergie solaire. En pratique, pour les séchoirs solaires de produits agricoles, on rencontre des capteurs solaires à air.

- Classification des capteurs solaires plans à air

Pour le séchage par entraînement, les deux phases essentielles sont:

- **le chauffage de l'air (transfert de chaleur),**
- **l'extraction de l'eau soustraite au produit à sécher par l'air de séchage (transfert de matière).**

Les classifications seront diverses et multiples selon la phase à laquelle on se réfère. On distinguera: le séchage direct, le séchage indirect, le séchage par ventilation naturelle, le séchage par ventilation forcée.

[Fig. 74: Différents modèles de capteurs solaires plans à air. \(FOURNIER, COUDERT.\)](#)

*** *Les séchoirs directs***

Les produits sont exposés directement au soleil, une boîte de séchage permet d'utiliser l'effet de serre. Les séchoirs « directs » sont des appareils extrêmement simples et rustiques. L'effet de serre est utilisé pour améliorer la captation de l'énergie solaire. Des ouvertures sont pratiquées pour la circulation de l'air par tirage naturel.

Il faut toutefois noter que si les produits sont protégés des prédateurs, animaux et insectes, l'exposition directe au soleil provoque la destruction de vitamines photosensibles et des photo-oxydations.

*** *Les séchoirs indirects***

Le produit n'est pas exposé directement au soleil, il est même à l'abri de la lumière, ce qui autorise une meilleure préservation des qualités nutritionnelles de l'aliment.

L'air chauffé par énergie solaire, ou par un autre mode, est envoyé sur le produit à sécher, placé sur des claies de séchage, réparties dans une enceinte fermée hermétiquement. Dans de gros séchoirs à céréales des dispositifs mécaniques peuvent assurer le déplacement des grains de façon à faciliter les transferts thermiques et de masse.

La circulation d'air est réalisée soit par convection naturelle, soit par circulation forcée.

La convection naturelle est assurée par la différence de densité entre l'air chaud et l'air externe. Elle est accélérée par l'utilisation d'une cheminée solaire ou non, munie d'une trappe de tirage admettant de l'air frais à la base de la cheminée, ce qui accélère le tirage.

La circulation forcée est assurée par un ventilateur soufflant ou aspirant. Une régulation du débit d'air, en fonction de la durée du séchage et de la température de l'air, est alors possible.

Signalons que l'on parle de systèmes passifs pour les séchoirs utilisant l'énergie éolienne.

*** *Les séchoirs mixtes***

Dans ce type de séchoirs, l'action combinée des radiations solaires, incidentes sur le produit à sécher et l'air réchauffé dans un capteur, fournit la chaleur nécessaire à l'opération de séchage.

*** *Les séchoirs hybrides***

Ce sont des séchoirs qui utilisent l'énergie solaire mais aussi une autre source énergétique consommatrice de réserves fossiles pour suppléer au chauffage et/ou à la ventilation.

Figure

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Home](#) "" "" "" "" "" > (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it). [ar](#). [cn](#). [de](#). [en](#). [es](#). [fr](#). [id](#). [it](#). [ph](#). [po](#). [ru](#). [sw](#)

3.4.3. La pratique du séchage solaire

a) INTRODUCTION

Si l'énergie solaire est utilisée sous toutes les latitudes et depuis toujours pour sécher les aliments, les utilisations de capteurs solaires sont très dispersées. Beaucoup de matériels restent à l'état de prototypes et peu de réalisations ont connu des généralisations. Des recherches sont encore à promouvoir pour mieux connaître les produits et leurs aptitudes au séchage d'une façon générale, et au séchage lié aux caprices des conditions météorologiques. Ces recherches permettront de proposer des méthodes de séchage direct, ce qui permettra de réduire les pertes après-récolte et de fournir un produit séché ou un produit marchand de meilleure qualité.

b) RENDEMENT DES CAPTEURS SOLAIRES

La vitalité d'une installation solaire dépend de ses performances, de sa longévité et de son prix. Les performances d'un capteur sont fonction de paramètres propres au capteur qui sont: longueur, débit, température maximum d'utilisation, nature du matériau, rendement. Ce dernier paramètre joue un rôle primordial compte tenu, entre autres, du niveau de température à atteindre et des variations du

rayonnement solaire en un point.

Rappelons la définition du rendement:

$$\text{Rendement d'un capteur} = \frac{\text{Énergie fournie au fluide caloporteur}}{\text{Énergie solaire reçue sur la surface du capteur}}$$

Les rendements des capteurs sont donnés dans la figure ci-après sous forme de diagramme (Fig. 75 c).

- *Températures d'entrée et de sortie de l'air - débit de l'air:*

[Fig. 75c: Schéma: rendements d'un capteur solaire.](#)

Plus le débit de l'air est grand, moins l'absorbeur a le temps de monter en température (les pertes sont donc moins élevées) et vice versa. (D'après Fiche GRET n° 468).

Le rendement d'un capteur peut varier dans une très large fourchette, en fonction de nombreux paramètres. L'analyse de ce rendement est importante, car, plus le rendement est élevé, moins il faut de surface de capteurs (et donc d'investissements) pour obtenir une énergie utile donnée (kWh).

c) POSITIONNEMENT DES CAPTEURS

Le capteur recevra une énergie maximale si les rayons du soleil frappent la couverture transparente perpendiculairement. Il y aurait intérêt à suivre le soleil. En théorie, pour tenir compte de la course du soleil, il faudrait chaque jour modifier l'angle du capteur par rapport au sol, et chaque heure tourner le capteur pour suivre le soleil dans sa course de l'est vers l'ouest. Pour une belle journée à Perpignan, si un plan de 1 m² fixe orienté plein sud capte 5,44 kWh, ce même capteur suivant la course du soleil captera 7,45

kWh, soit une énergie 1,37 plus forte.

Il faut positionner le capteur de manière qu'il reçoive le maximum d'énergie au cours de sa période d'utilisation.

En théorie, il faut avoir recours au diagramme solaire du lieu où l'on veut positionner les séchoirs solaires. Ce diagramme établi pour un lieu donné permet de connaître en fonction du jour et de l'heure, la hauteur du soleil et son azimut. Moyennant certains calculs on peut déterminer les ombres portées, on parle d'effet de marque. Ces calculs sont souvent fastidieux et requièrent le diagramme solaire du lieu considéré. Il est beaucoup plus aisé d'utiliser une règle à calcul, l'héliomètre, mise au point par F. FABRE (66330 - Saleilles - France). Cet appareil indique par simple lecture directe les coordonnées du soleil à toute date, à toute heure, en tout lieu du globe.

Dans la pratique on se contentera des règles suivantes pour définir l'angle d'inclinaison α par rapport à l'horizontale.

[Figure \(\$\lambda\$ angle définissant la latitude du lieu.\)](#)

Quant à l'orientation, il suffira d'être orienté plein sud au midi solaire; l'ombre portée doit être rigoureusement dans le prolongement du capteur lui-même.

d) SÉCHOIRS SOLAIRES

Le produit à sécher est étendu en couche mince, à même le sol ou sur des nattes. Des pertes interviennent, par le mélange avec la terre, ou par des animaux, infestation d'insectes. En cas de pluies, il faut ranger le produit à l'abri.

Au niveau familial, l'UNICEF propose le séchoir poche qui permet de sécher les légumes en séchage direct.

[Fig. 76: Le séchoir «poche». \(Source: FAO UNICEF\)](#)

- Séchoir solaire basculant «ITIPAT»

Le séchoir «basculant» est une claie rectangulaire (longueur 3 fois largeur), constituée d'un cadre en bois divisé en 4 couloirs longitudinaux. Le fond, en natte de bambou, possède aux deux extrémités un orifice pour la circulation de l'air. Près de chaque orifice, une plage noire transforme l'énergie solaire en énergie calorifique. Le cadre est recouvert d'une feuille en PCV translucide et comporte un axe transversal placé au milieu de ce cadre qui repose sur 2 supports verticaux d'une hauteur égale au quart de la longueur du cadre (ce qui l'incline de 300 par rapport à l'horizontale).

Le produit à sécher est placé entre les 2 plages noires sur la surface utile. Pour recevoir les rayons solaires au plus près de la verticale, le séchoir est orienté est-ouest. Les essais menés par l'I.R.C.C. ont permis de sécher du cacao fermenté chargé à 45 kg/m² en conditions climatiques favorables et 20-25 kg/m² en conditions défavorables.

[Fig. 77: Séchoir basculant.](#)

- Séchoir «autobus»

Les séchoirs dits «autobus», utilisés au Cameroun et en Côte d'Ivoire pour le séchage du cacao, sont très simples dans leur principe. Une case rectangulaire abrite des claies superposées que l'on expose au soleil en les faisant coulisser sur des rails en bois qui sortent au niveau de chaque claie. Les matériaux modernes (tôles, rails, etc.) permettent naturellement de nombreuses améliorations du modèle de base pour les grandes plantations. En Amérique, ce ne sont pas les claies qui se déplacent, mais le toit qui est monté sur

rails et vient recouvrir l'aire de séchage.

- Séchoir à fruits et légumes

On utilise l'action combinée des radiations solaires incidentes sur le produit à sécher et de l'air réchauffé dans un capteur plan.

Capacité journalière : 5 kg de produit.

Temps de séchage : 1 à 3 jours.

[Fig. 78: Séchoir fruits et légumes. \(U.S.A.\)](#)

[Fig. 79: Séchoir PUIGGALI.](#)

On peut signaler le séchoir indirect à absorbeur poreux à convection naturelle par cheminée solaire et trappe de vidange, mis au point par des thermodynamiciens de Bordeaux: PUIGGALI et COMBARNOUS. Ce séchoir permet en outre de stocker des calories dans des récipients d'eau. La restitution de cette chaleur permet de prolonger la durée du séchage plusieurs heures après le coucher du soleil.

Signalons pour les régions méditerranéennes le séchoir FOURNIER. Ce dispositif, pour des capacités «familiales» de dizaines de kilogrammes de fruits et légumes, est un ensemble compact rassemblant absorbeur poreux, claies de séchage et cheminée solaire.

[Fig. 80: Plan du séchoir FOURNIER.](#)

Des essais de séchage solaire de maïs ont été réalisés à l'I.I.T.A. d'Ibadan (Nigéria).

Les systèmes étaient les suivants

- plateau de 1,50 m x 0,65 recouvert d'un plastique polyéthylène transparent pouvant contenir 40 kg de maïs grains (70 kg de maïs en épis despathés);
- séchoir solaire constitué d'une caisse en banco (1,50 x 0,65) avec orifices de ventilation supérieurs et inférieurs... Le dessus de la caisse est constitué d'une feuille de polyéthylène.

Ces séchoirs étaient comparés au crib.

Les résultats ont été les suivants:

			Temps en jours pour atteindre	
			15%	12%
			Humidité initiale	
Saison humide (août-nov.)	Plateau	30-35%	45	70
	Séchoir solaire	30-35%	21	55
	Crib	30-35%	80	-
Saison sèche	Plateau	25%	6	9
	Séchoir solaire	25%	6	8
	Crib	25%	10	-

Les auteurs concluent cependant en signalant que compte tenu du coût des séchoirs solaires, leur emploi ne peut se justifier, par rapport au crib, que pour des produits de haute valeur (semences) ou lorsqu'il est

absolument indispensable d'atteindre les 12 % d'humidité.

Ils signalent enfin que pour le séchage du maïs, l'utilisation de feuille plastique est plus avantageuse que celle des séchoirs testés; le crib restant cependant le système le plus économique.

Conclusion

Le séchage par voie solaire est la méthode ancestrale la plus usitée pour stabiliser les produits agricoles. Toutefois, les méthodes traditionnelles doivent être améliorées par l'utilisation de séchoirs solaires. Ainsi, en protégeant les produits agricoles de la pluie, de la poussière, des différents déprédateurs, animaux, rongeurs, insectes, micro-organismes, les pertes après-récolte pourraient être réduites.

Il importe de se souvenir que les problèmes de séchage se posent en milieu tropical humide, où, si la température est élevée, l'humidité relative de l'air est grande. Des données météorologiques suffisamment ponctuelles sont à connaître, de même que les allures de séchage des produits agricoles tropicaux.

Il faut étudier des solutions polyvalentes utilisables pour différents produits.

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"""> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[.ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

Chapitre IV - Stockage traditionnel

[4.1. Méthodes de stockage traditionnel](#)

[4.2. Amélioration du stockage traditionnel](#)

Dans de nombreux pays en développement, la récolte est à plus de 80 % conservée au niveau des villages. Les paysans ne se libèrent à court terme que d'une faible partie de leur récolte pour couvrir certains besoins en argent liquide (il est toutefois des exemples nombreux de récoltes gagées sur pied qui doivent être rapidement commercialisées à des cours peu avantageux au risque d'obliger les agriculteurs à les racheter, pour leur consommation personnelle en période de soudure). En général, le producteur conserve une grande partie de sa récolte pour la consommation familiale annuelle et dans certaines zones à hauts risques climatiques (sécheresses répétées), il constitue des stocks à long terme.

Le stockage s'effectue selon des méthodes traditionnelles et les types de stockage varient selon les zones climatiques, la nature des produits et leur destination (semence, consommation, vente...

4.1. Méthodes de stockage traditionnel

Quelques exemples:

- *Dans les zones sèches sahéliennes*, les greniers sont généralement en terre.

De forme ronde ou carrée, ces greniers en terre plus ou moins additionnée de fibres végétales (pailles...) reposent généralement sur une ou plusieurs pierres qui évitent les remontées d'humidité. L'ouverture

ménagée à la partie supérieure pour le remplissage et la vidange est recouverte d'un toit de chaume. Lorsque les greniers sont de forme ovale, l'ouverture est plus réduite et peut dans certains cas être recouverte d'un couvercle (pierre...) luté à l'argile.

Les greniers sont parfois divisés en plusieurs compartiments qui permettent ainsi de stocker plusieurs produits (ex.: Kpéou au Togo). Le sorgho et le mil sont souvent stockés en épis mais aussi en grains. Certaines techniques traditionnelles consistent à les mélanger à de la cendre ou à du sable fin pour limiter l'infestation par les insectes.

De tels silos en terre assurent généralement une bonne conservation et ceci d'autant plus qu'ils se situent dans des zones où les grains sont dès la récolte, à une humidité basse.

L'autre type de grenier est constitué de fibres végétales tressées (chaume d'andropogon par exemple). Ils constituent alors une sorte de grand panier, posé sur un chassis en bois à quelques dizaines de centimètres (30-40 cm) du sol, et recouvert d'un toit de chaume. Le sorgho y est stocké en panicules, parfois pendant plusieurs années.

Pour le stockage de petites quantités de grains (semences, légumineuses...) on utilise souvent des jarres d'argile ou desalebasses que l'on garde à l'intérieur des habitations. Le produit bien sec y est stocké parfois mélangé à de la cendre et le récipient est fermé avec de l'argile.

- Dans les zones humides

Dans ces zones, le paysan a coutume de laisser sécher la récolte sur pied pendant parfois plus d'un mois après maturité des grains.

Après la récolte, le produit encore humide est alors stocké en épis dans des structures aérées qui doivent

permettre une finition du séchage au cours du stockage (épis suspendus, branche, perche, etc.), épis sur plateformes, épis en greniers aérés...).

Dans le cas du maïs par exemple (souvent stocké en épis non despathés), les méthodes suivantes sont employées:

- Greniers aérés classiques

Quadrangulaires ou circulaires, ces greniers sont généralement constitués de feuilles de palmiers maintenues par des armatures en branchage ou en bambou. Leur fond, situé à environ 70 cm du sol, repose sur des pieux en teck ou en bambou. L'ensemble est recouvert d'une toiture en chaume.

- Les «Ebli-va» ou «EWE barn»

Fréquents dans les zones méridionales du Togo, Bénin, Ghana.... ces greniers de forme cylindrique sont constitués d'un empilement d'epis de maïs en spathes, reposant sur une plate-forme. Cette dernière, située à environ 50 cm du sol, est constituée de rondins de bois reposant sur de nombreux pieux. L'ensemble est recouvert d'un toit de paille conique. La taille des greniers est variable en fonction de l'importance de la récolte maïs en général les diamètres varient de 2 à 3 m et la hauteur d'épis de 1,20 m à 1,50 m. Certains greniers peuvent avoir plus de 6 m de diamètre.

La forme arrondie de ces greniers et la disposition des épis intimement collés les uns aux autres ne favorisent pas une bonne ventilation de la masse. Des problèmes de moisissures surviennent fréquemment, notamment dans les greniers de grande taille.

Remarquons que les producteurs des îles du Cap-Vert construisent des greniers parfaitement identiques à l'Ebli-Va.

Un autre type de stockage sur plate-forme est réalisé par le «Kedelin». Les épis de maïs en spathes sont déposés en vrac sur une plate-forme de rondins de bois. Celle-ci est située à plus de 1,50 m du sol et ne repose plus que sur 4 pieux, L'ensemble est recouvert d'un toit de chaume.

Les villageois ont l'habitude de faire la cuisine sous ce type de grenier qui, de ce fait, se trouve enfumé pratiquement en permanence. La conservation est améliorée par l'action séchante et insectifuge de la fumée du foyer.

Le grenier «Katchalla» est une structure aérée qui a l'allure d'un cône renversé reposant sur une pierre (évite les remontées d'humidité). La construction est en rondins de bois reliés par de petites branches entrelacées, et soutenus par des potaux. L'ensemble est recouvert d'un toit de chaume.

- Problèmes au cours du stockage - pertes

Les pertes au cours du stockage, au niveau de la ferme, sont souvent considérées comme importantes et les chiffres de 25 %, voire 50 % de pertes, sont parfois avancés. Ces estimations impressionnantes ont conduit certains organismes internationaux, en particulier la F.A.O., à mettre sur pied des programmes de lutte souvent précédés par l'étude de la nature et de l'importance des pertes.

Des études menées récemment fournissent des évaluations plus précises des pertes comme en témoignent les exemples suivants.

Au Malawi, les pertes dans les exploitations de la région centrale (altitude: 1200 m - pluies: 800 mm en 4 mois - températures moyennes comprises entre 15°C (juin) et 24,5°C (novembre) sont faibles avec les variétés locales d'arachides et de maïs sur lesquelles elles ne dépassent pas 1 % à 1,5 % respectivement.

Au Bangladesh, l'étude d'une centaine de greniers traditionnels à paddy et riz étuvé de petite capacité (30 à

300 kg) a conduit à une estimation des pertes de 2,04 % en poids et 2,43 % en valeur alimentaire après 4 mois de stockage.

Ces exemples vont à l'encontre des thèses généralement avancées selon lesquelles les pertes les plus importantes se produisent lors du stockage chez les producteurs.

Ces affirmations doivent être nuancées selon tes régions et les espèces cultivées. Dans les zones sahéliennes par exemple, les conditions climatiques permettent de conserver des céréales locales (mil - sorgho) pendant plusieurs années, tandis que le niébé reste très attaqué. Dans les régions humides, les problèmes sont généralement plus graves et notamment sur les cultures de première saison humide. La technique consistant à laisser le maïs sécher au champ, rendue nécessaire par le type de stockage traditionnel utilisé (Ebli-va...) peut être à l'origine de pertes conséquentes. Des études de la F.A.O. ont donné les résultats suivants:

- Pertes au cours du séchage au champ

Zone de forêt/Zone de savane humide

	<i>Fin août</i>		<i>Fin sept.</i>		<i>Fin octobre</i>	
% attaques d'insectes	2,8	1,4	1,8	1,9	10,8	2,1
% pertes en poids dues aux insectes	0,9	0,7	2,4	0,6	3,2	0,8
% plants tombés	-	-	7,0	-	20,8	ε
% pertes dues aux oiseaux	-	-	6,8	-	18,2	ε
Humidité du produit	26%	26%	20%	20%	16%	15%

Les attaques débutées au champ vont se développer en cours de stockage.

Les pertes peuvent alors être beaucoup plus importantes que dans les zones sèches. Les données sont néanmoins diverses et suivant les auteurs les pertes en poids dues aux insectes varient entre 5 % et 30%.

Enfin, d'une manière générale, les variétés améliorées sont beaucoup plus sensibles aux attaques d'insectes que les variétés traditionnelles locales.

L'importance des pertes est en définitive très variable suivant les zones climatiques et les produits, et l'on doit se garder de considérer que, du fait de la rusticité des moyens de stockage, les pertes au niveau villageois sont partout importantes.

Avant toute action d'amélioration du stockage, il est nécessaire de définir correctement quelle est la nature des pertes, leur importance et à quels niveaux elles se situent.

4.2. Amélioration du stockage traditionnel

[4.2.1. Amélioration du séchage](#)

[4.2.2. Amélioration du stockage](#)

4.2.1. Amélioration du séchage

4.2.1.1. Nécessité du séchage

Dans les zones humides, les produits arrivés à maturité ne sont pas à une humidité qui permet de les stocker. Le maïs par exemple, culture fréquente en zones humides, pourra être en fin de première saison des pluies à une humidité de 25-30 %. Il est donc indispensable de le sécher. Nous avons vu que la technique qui consiste à le laisser sécher au champ pour un préséchage sur pied jusqu'à ce qu'il atteigne environ 20 % d'humidité n'est pas une solution satisfaisante car elle expose la récolte à de nombreuses attaques (insectes, rongeurs, oiseaux, moisissures...) et elle retarde ou empêche la préparation des champs pour une éventuelle seconde culture. On a donc intérêt à récolter le produit à maturité et comme il n'est pas possible de le stocker tel quel, on doit impérativement le sécher. Ceci est valable pour toutes les denrées produites en zones humides (céréales, légumineuses...). Bien souvent, au niveau villageois, le séchage s'effectue par exposition des produits au soleil.

4.2.1.2. Séchage solaire amélioré

Le séchage au soleil est très largement utilisé dans les pays tropicaux (cf. 3.4.3. D).

Plusieurs méthodes sont employées pour améliorer la technique traditionnelle:

[Fig. 88: Technique d'amélioration du séchage solaire. \(Doc. T.S.P.C.\)](#)

- Séchoir «Allgate»

L'ex T.S.P.C. préconise l'emploi d'une bâche de plastique noir, circulaire et pourvue, à sa périphérie, d'oeillets dans lesquels passe une corde. Le produit est disposé en couche mince, comme sur une natte; il est isolé de l'humidité du sol et facilement abrité de la pluie en serrant la corde qui referme la poche. Le plus grand modèle peut contenir jusqu'à 150 kg de grains.

Une simple feuille de plastique peut être utilisée comme indiquée fig. 88.

- Aires de séchage

Les aires de séchage bétonnées se rencontrent généralement dans les plantations (café, cacao). Il faut prévoir une légère pente pour que les eaux de pluies s'évacuent rapidement et des abris à proximité (au point haut de l'aire le plus souvent) pour mettre le produit hors d'eau (Fig. 89).

Au Kenya, les grandes plantations achèvent au soleil le séchage des cafés Arabica sur les tables à 60 cm du sol (Fig. 90). La table se compose d'un bâti métallique et d'un grillage à larges mailles recouvert d'une toile de jute. Le café est disposé en couche mince (3 grains au plus). Pendant la nuit, ou si une pluie survient, les tables sont recouvertes avec des bâches en papier goudronné ou en plastique.

- Séchoir «autobus» (cf. 3.4.3. D)

[Fig. 90: Séchoir «Autobus» pour café, maïs, cacao...](#)

4.2.1.3. Petits séchoirs artisanaux

Nous rappellerons ici les séchoirs du type Brooks qui furent vulgarisés au Nigéria et au Bénin pour le séchage en épis ou en grains.

Nous reproduisons fig. 91 le plan du séchoir réalisé à la station I.R.A.T. de Niaouli (Bénin).

Le corps de chauffe, constitué par des demi-fûts métalliques disposés en tunnel, réchauffe l'air de séchage qui pénètre sous le fauxfond par 2 événements situés de part et d'autre du foyer et traverse la couche de grains ou d'épis à sécher par convection naturelle de l'air chaud.

La couche à sécher ne doit pas dépasser 30 cm d'épaisseur pour le maïs en épis et 10 cm pour le maïs en

grain si la température de l'air de séchage reste inférieure à 50-55° C. Si la température atteint 70-80° C, il faut limiter l'épaisseur de la couche pour réduire l'hétérogénéité de séchage ou brasser le produit.

Le débit d'un tel séchoir est de l'ordre de 300 kg de maïs séché de 20 à 14-15 % d'humidité en 10 à 12 h.

4.2.1.4. Séchage en crib

La technique du séchage en crib, encore largement utilisée dans les climats tempérés pour sécher lentement les épis de maïs, peut également être utilisée en climat tropical, même humide.

Cette technique de séchage-stockage est décrite plus loin (cf. 4.2.2.).

[Fig. 91: Séchoir artisanal type BROOKS. \(Coupe transversale\)](#)

[Fig. 91: Séchoir artisanal type BROOKS. \(Coupe longitudinale\)](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

4.2.2. Amélioration du stockage

4.2.2.1. Amélioration des structures

Toutes les actions dans ce domaine doivent être envisagées avec la plus grande prudence car l'adaptation au milieu et la qualité des structures de stockage actuelles, mises au point au fil des siècles, ne doivent pas être négligées.

a) STRUCTURES EXISTANTES (quelques exemples)

- Greniers en terre

Construits de façon traditionnelle dans les zones sèches, ces greniers sont adaptés au stockage des produits secs. On peut conseiller un lissage des parois externes et internes et surtout veiller au lutage correct de toutes les fissures qui peuvent apparaître et qui pourraient constituer un refuge pour les insectes. La structure pourra être renforcée en additionnant à la terre 10 % de ciment.

- Grenier type Ebli-va

L'utilisation de ce type de grenier nécessite un préséchage des épis qui s'effectue généralement au champ. Sa forme arrondie et sa réalisation (épis serrés) ne lui assurent pas une bonne aération. Faiblement ventilé, il risque donc d'être le siège d'un développement de moisissures si les épis empilés ne sont pas correctement séchés.

Pour améliorer les circulations d'air il peut être intéressant d'équiper le grenier d'une cheminée centrale d'aération réalisable en matériaux locaux (rondins + branchage) ou en grillage (Fig. 92).

[Fig. 92: Schéma de réalisation d'une cheminée centrale dans un grenier Ebli-va.](#)

Chaque fois que cela est possible, et notamment pour le stockage sur des plate-formes surélevées par rapport au sol d'au moins 1 m (ex.: Kedelin), il faut équiper les pieux de soutien de barrières antirats (cônes métalliques).

- Les cribs

Les cribs sont à considérer, soit comme des structures traditionnelles à améliorer, soit comme des structures nouvelles à implanter.

Dans les zones humides où l'on récolte le produit dès maturité pour libérer le champ, l'emploi du crib est à recommander car tout en étant une structure de stockage, c'est avant tout un moyen de séchage.

Les expériences de l'I.I.T.A. d'Ibadan ont montré que des épis de maïs de première saison récoltés à maturité à 30-35 % d'humidité et mis en crib après avoir été despathés peuvent, malgré la seconde saison des pluies, être séchés jusqu'à 15 %. Cette valeur est atteinte après 80 jours de stockage en crib. Il faut noter que l'humidité de 13 % ne peut cependant pas être atteinte.

Avec du maïs de seconde saison des pluies, généralement plus sec à la récolte: 25 %, l'humidité de 15 % est atteinte en 10 jours seulement.

CONFECTION DES CRIBS

1° DIMENSIONS

- Largeur

Les expériences ont montré que dans les zones très humides (mais 30-35 %) il est conseillé de limiter la

largeur du crib à 60 cm.

Dans les zones à une seule saison des pluies où le maïs est déjà plus sec à la récolte (25 %) cette largeur peut être augmentée jusqu'à environ 1 m. Enfin, dans les zones beaucoup plus sèches, elle peut atteindre 1,50 m.

- Hauteur

- **La distance entre le sol et le fond du crib doit être égale à 1 m (au minimum 80 cm) pour pouvoir fixer des cônes anti-rongeurs.**
- **La hauteur de stockage peut être variable, elle résulte d'un compromis entre une capacité maximale de stockage, l'équilibre du crib, et la facilité de remplissage. Elle est en général de 1,50 m à 2 m.**
- **Un espace est à prévoir entre le haut des épis et le toit incliné.**
- **La longueur du crib varie en fonction de la quantité de produit à stocker.**

- Capacité

Soit par exemple un crib de 60 cm de large et de 1,70 m de hauteur de stockage.

1 m de longueur de crib représentera un volume d'environ 1 m³ (0,6 x 1,7 x 1).

Dans un mètre cube on pourra placer 500 kg d'épis de maïs à 30 % d'humidité (épis despathés) qui correspondront à 300 kg de maïs grains séchés à 14 %.

Donc un petit agriculteur dont la production avoisine 1,5 t de maïs grains sec, devra construire un crib de 5 m de long.

2° CONSTRUCTION

Sur le marché, il existe des cribs modernes avec montants métalliques, parois en grillage et toiture en tôle. Cependant, au niveau villageois, il est préférable de vulgariser l'emploi de crib construit en matériaux locaux.

- Poteaux et traverses en bambou ou bois (rondins, teck, etc.) espacés tous les mètres et enfoncés à plus de 50 cm dans le sol; la partie souterraine des poteaux doit être recouverte d'un enduit spécial (goudron, vieille huile de vidange...) pour la protéger contre la pourriture et les termites.
- Parois en raphia, roseau, bambou, baguette de bois..., si l'on ne veut pas utiliser le grillage. L'important étant de retenir les épis tout en laissant un passage suffisant à l'air. Les essais menés à Ibadan n'ont pas montré de différence de vitesse de séchage entre les cribs à paroi en raphia et ceux à parois grillagées. D'une façon générale, toute paroi n'offrant pas une résistance plus importante que celle des épis au passage de l'air peut convenir (lattes de 4 cm de largeur maximum espacées de 4 cm environ).
- Le plancher du crib pourra être en rondins, bambous... amovibles pour permettre la vidange.
- Toit en tôle ondulée ou amiante-ciment, mais également en tout matériau local habituellement utilisé pour les couvertures (paille, feuille de bananier...). Avec ces matériaux végétaux, la réparation du toit interviendra plus fréquemment (parfois chaque année). Le débordement du toit semble n'avoir que très peu d'importance sur le déroulement du séchage. Des comparaisons

entre un débordement de 1 m et un de 25 cm ont montré, après deux mois de stockage, que le séchage dans les cribs était identique. Ce débordement sera en fait nécessaire pour éviter que l'eau du toit ne ruisselle sur les épis.

- **L'assemblage des éléments peut se faire avec des lianes mais plus fréquemment avec des- clous.**
- **Enfin il est indispensable de ne pas oublier la mise en place de barrières anti-rats (cônes métalliques).**

3° ORIENTATION

Dans la mesure du possible le crib est orienté perpendiculairement aux vents dominants. Si ces derniers sont importants, on devra consolider la structure en l'équipant de jambes de renfort.

D'une manière générale le crib doit être placé dans un endroit bien ventilé, en évitant par exemple de le situer le long d'un mur ou derrière un rideau d'arbres.

NB: Pour assurer un séchage en crib correct du maïs récolté humide (30-35 %), les épis devront être despathés. Nous reviendrons plus loin sur ce problème en abordant le traitement du crib contre les insectes.

b) STRUCTURES NOUVELLES

- Généralités

De nombreuses opérations ont cherché à créer de nouveaux modes de stockage en milieu villageois. Toutes n'ont pas connu les succès escomptés, essentiellement semble-t-il, en raison de leur non adoption par les

paysans. Même lorsqu'ils en ont les moyens, ce qui n'est pas toujours le cas, il ne leur apparaît pas évident d'avoir un intérêt financier à investir dans de nouvelles structures, et dans bien des cas, ils préfèrent conserver leurs structures traditionnelles (cette attitude est à rapprocher du niveau réel des pertes).

Nous présentons quelques exemples de structures améliorées qui ont ci-dessous été proposées. Le lecteur pourra utilement consulter des ouvrages spécialisés: (Manuels VITA, G.T.Z...).

- Silos artisanaux

- **Silo artisanal vulgarisé par l'U.S.A.I.D. au Nigeria (Fig. 95)**

Ce silo cylindrique est prévu pour recevoir 1 tonne de maïs-grain. Il repose sur des piliers de fondation en béton (ou en pierre) qui supportent une dalle en béton armé de 1,50 m de diamètre. Les parois sont montées en parpaings de terre de 10 x 10 x 15 cm et enduites sur les deux faces au ciment. L'enduit extérieur est armé avec du grillage à poulailler.

Le dôme de couverture, en terre et enduit de ciment, repose sur des bambous ou sur un fond de fût métallique.

Le dôme de couverture, en terre et enduit de ciment, repose sur des bambous ou sur un fond de fût métallique.

Matériaux nécessaires: 4 à 5 sacs de ciment; 22 m de fer à béton;
9 m² de grillage, maille 26 mm.

* Trappe de vidange: 1 plaque de métal de 15 x 30 cm, 1,5 mm d'épaisseur; 1/4 livre de graisse

épaisse.

* Moule à parpaings: 1,5 kg de pointes en 6 cm; 1 planche de 60 x 10 cm, épaisseur 2,5 cm.

Fig. 95: Coupe du silo USAID. (Doc. USAID.)

• **Silo «Pusa»**

Ce silo en boue ou briques crues a été expérimenté par l'I.A.R.I. de New-Delhi (Inde).

Plusieurs modèles ont été construits. Celui qui est décrit à la fig. 96 est prévu pour recevoir 2 tonnes de céréales sèches en grains.

* **Forme** : rectangulaire; dimensions intérieures: 1,40 x 1,00 m; hauteur 1,60 m.

* **Fondation** : dalle en brique ou sol sain compact.

* **Base et toit** : plate-forme en béton de terre de 10 cm d'épaisseur dans laquelle est prise une feuille de polyéthylène (épaisseur: 0,175 mm). Le toit repose sur une charpente en bois.

* **Parois** : doubles, avec feuille polyéthylène intercalée.

* **Montage** : la base est construite en premier, puis la paroi intérieure. L'ensemble est recouvert d'une enveloppe en polyéthylène, mise en forme à l'avance et raccordée à la feuille de base par soudure à chaud. La paroi extérieure est montée ensuite.

* **Orifices** : il est prévu un trou de visite de 60 x 60 cm dans le toit. La feuille de polyéthylène n'est pas découpée à cet endroit, mais seulement fendue selon la diagonale de l'ouverture. Un orifice de vidange est prévue à la base de la cellule.

Fig. 96: Cellule «Pusa». (Doc. FAO.)

Ce silo a permis d'obtenir d'excellentes conservations de blé très sec (7,5 %) pendant plusieurs années et doit permettre de conserver dans de bonnes conditions toutes les denrées classiques: paddy, maïs, mil, oléagineux et légumineuses.

Ces deux silos sont conçus sur le principe du stockage hermétique, qui est le plus sûr en zone tropicale, à condition que le produit ensilé soit bien sec.

Nous pouvons également citer:

- * les cellules en buse de béton,**
- * les cellules en plaques de béton cerclées par des câbles d'acier,**
- * les cellules en agglomérés de béton: parpaings creux autocoffrants (silo CARRERA),**
- * les cellules en ferrociment (mortier enrobant un grillage) comme par exemple le FERRUMBU.**

• Les bidons métalliques

Les bidons métalliques de 2001 utilisés dans le commerce des hydrocarbures et des huiles ont été proposés comme structures de stockage au niveau familial. Ces fûts peuvent contenir environ 150 kg de produits (céréales, légumineuses) en grains. Pour éviter les risques de condensation et de détérioration du produit, on ne devra stocker que des grains bien secs et l'on protégera les fûts du rayonnement solaire en les entreposant dans des locaux ou en les ombrageant.

La structure étanche que constitue le fût correctement fermé par sa bonde permet l'obtention d'une atmosphère confinée qui est une méthode de lutte contre les insectes. Cependant la contrainte «grain bien sec» va à l'encontre d'une obtention rapide de cette atmosphère. Aussi a-t-on parfois coutume, pour prévenir tous les risques, de traiter préalablement les grains avec un insecticide.

Cette structure métallique met également les grains à l'abri des rongeurs.

S'ils ne servent qu'au stockage des grains, les fûts métalliques correctement entretenus peuvent avoir une durée de vie minimum de 5 ans. Certains agriculteurs les conservent plus de 10 ans.

L'utilisation de tels fûts est à recommander notamment pour les produits stockés en petites quantités et habituellement difficiles à conserver comme le niébé et d'autres légumineuses, avec lesquels ils pourront donner des résultats remarquables.

Le problème actuel est que ces fûts se font de plus en plus rares sur le marché et que dans certaines régions leur coût devient prohibitif..

Sur le même principe, certains projets, conçoivent de faire fabriquer, par des ateliers correctement équipés, des petites cellules métalliques de 1,5 t à 2 tonnes, cellules rondes ou carrées permettant le stockage des produits en grains. Comme dans le cas des bidons, il sera impératif de ne stocker que du grain bien sec.

- **Sacs plastiques**

Pour le stockage de petites quantités de produits notamment du niébé, l'IRAT a proposé de conserver les grains dans des sacs plastiques en polyéthylène pouvant contenir 40 kg à 50 kg. Avant la fermeture du sac un fumigant - contenu dans une capsule souple renfermant 18 g de tétrachlorure de carbone (C Cl₄) - est introduit.

Les sacs, qui risquent d'être attaqués par les rongeurs, doivent être entreposés sur une plate-forme surélevée (dont les pieux de soutien doivent être équipés de barrières antirats). Enfin ils sont abrités du rayonnement solaire en les recouvrant de feuillage.

Au Brésil, on utilise également des poches plastiques pour conserver le grain bien sec. Ces poches, de quelques centaines de kilos de capacité, sont enterrées ou recouvertes de terre après remplissage et permettent un stockage en atmosphère confinée.

Dans le nord de l'Australie (zone sèche) du grain sec (8 à 10 %) a été stocké en tranchée de 2 m de profondeur doublée d'un film polyéthylène de 50 microns et recouverte de 40 cm de terre. Après 42 mois de stockage, la faculté germinative a été conservée. La principale précaution à observer est le choix d'un site hors d'eau (sur un point haut ou sur une pente).

- **Stockage communautaire**

Une expérience originale a été menée au Rwanda par le Catholic Relief Service dans le but initial de lutter contre les pertes importantes observées dans le stockage du haricot, mais aussi d'assurer aux populations un approvisionnement continu et à un prix stable en denrées de base (haricot, sorgho...).

La structure utilisée (Fig. 97) se compose de plusieurs cellules de stockage en vrac d'environ 20 m³ chacune (2,70 x 2,70 x 2,70), d'un bureau et d'une aire de réception et parfois d'une zone pour le stockage en sacs. La construction, en maçonnerie, est protégée des remontées d'humidité par une barrière antivapeur (bitume). Les murs extérieurs de 30 cm d'épaisseur sont en briques cuites ou en parpaings, les séparations intérieures ont 20 cm d'épaisseur. Les murs sont enduits sur les deux faces par un crépissage additionné de produit hydrofuge. Des chaînages permettent le maintien de la structure.

Les cellules sont couvertes par une dalle où est ménagé un trou d'homme pour le chargement. Ce trou d'homme reçoit un couvercle.

Les cellules sont théoriquement conçues pour être étanches et permettre un stockage en atmosphère confinée; il est cependant prévu un traitement insecticide par fumigation ou insecticides de contact.

La gestion de tels centres est du type Banque de céréales.

Le silo qui est au service de la population est tenu par un gérant. Le producteur porte au silo son produit où il est pesé, contrôlé (humidité, impuretés...) et en reçoit la contre-valeur en argent plus un bon de dépôt. Il peut revenir n'importe quand retirer des vivres en présentant son bon de dépôt. Le produit lui est alors revendu avec une faible majoration correspondant aux frais de stockage et de personnel.

Un fond de roulement préalable est nécessaire. Une fois rempli, le silo joue normalement son rôle de stockage et permet une stabilisation des prix.

Cette expérience originale tend à se développer dans d'autres pays.

[Fig. 97a: Schéma des silos communautaires. \(D'après Catholic Relief Service.\)](#)

[Fig. 97b: Schéma des silos communautaires. \(D'après Catholic Relief Service.\)](#)

4.2.2.2. Utilisation d'insecticides

Les méthodes d'amélioration du stockage traditionnel doivent être simples, peu onéreuse, et présenter un avantage financier évident pour l'agriculteur. En fait il semble que les actions les plus immédiatement efficaces sont souvent celles qui vulgarisent l'emploi d'insecticides.

Le lecteur pourra se reporter au chapitre VII traitant de la désinsectisation des stocks.

Nous pouvons rappeler que la lutte contre les insectes est menée de façon traditionnelle par différentes méthodes:

- **exposition au soleil qui favorise le départ des insectes adultes,**
- **l'enfumage au-dessus des foyers domestiques,**
- **l'utilisation de plantes répulsives,**
- **l'addition de matières inertes (cendres, sable),**
- **la conservation en atmosphère confinée (stockage souterrain, mais relativement rare).**

Des méthodes plus récentes sont également envisageables: utilisation d'huile, stockage en structures étanches (bidon 200 l, sacs plastiques...). Cependant la technique la plus fréquemment vulgarisée aujourd'hui consiste à utiliser des insecticides de contact.

Le poudrage est la technique généralement retenue, car elle ne nécessite pas de matériel important pour être appliquée.

Au niveau de l'agriculteur, le poudrage est souvent fait à la main, mais il est possible de conseiller sans grands frais l'emploi de poudreuses très simples, construites avec un soufflet, pour traiter les greniers ou l'emploi de fûts montés sur un axe excentré pour mélanger les grains et l'insecticide (cf. chapitre VII).

Les principaux insecticides actuellement utilisés sont

- **les organophosphorés parmi lesquels le pyrimiphos-méthyl et le chlorpyrifos-méthyl sont particulièrement intéressants en raison de leur bonne efficacité sur les coléoptères (Capucin des grains excepté), leur bonne persistance d'action et leur faible toxicité sur l'homme;**
- **les pyréthriinoïdes de synthèse et notamment la deltaméthrine (K. Othrine) pour leur efficacité sur les coléoptères et le Capucin des grains (Rhizopertha dominica).**

Exemple: Le pyrimiphos-méthyl, plus connu sous le nom commercial d'Actellic, est disponible sous

différentes formulations:

- **poudre 2 % pour poudrage (2 g de matière active pour 100 g de poudre),**
- **liquide pour pulvérisation:**
 - **concentré émulsionnable de 25 CE (250 g de m.a./litre de produit)**
 - **concentré émulsionnable de 50 CE (500 g de m.a./litre de produit).**

La dose à appliquer est de 10 g de matière active par tonne de produit (10 ppm), soit 500 g de poudre 2 % par tonne.

Exemple 1 (théorique):

Traitement d'un grenier en terre de 1 m de diamètre et 1,60 m de hauteur rempli de sorgho grain.

• Quantité de produit nécessaire:

- **volume du grenier:**

$$\frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{3,14 \times 1}{4} \times 1,60 = 1,26 \text{ m}^3$$

- **contenance du grenier:**

Poids spécifique du sorgho 710 kg/m³
soit 1,26 m³ x 0,710 = 0,9 tonne

- **quantité de produit nécessaire:**

0,9 t x 500 g/t = 450 g de produit commercial. A raison de 250 g par sachet, 2 sachets sont nécessaires.

• **Traitement:**

- **Avant le stockage nettoyer correctement le grenier et brûler les balayures.**

- **Le pyrimiphos-méthyl diffuse bien dans la masse, ce qui permet de prévoir un traitement en «sandwich». On traitera donc tous les 20 cm, en prévoyant des marques sur l'intérieur du silo.**

- **Nombre de dose à prévoir: 1 dose de poudre tous les 20 cm; grenier de 1,60 m soit: 9 doses en comptant le fond. Ajouter 1 dose pour le poudrage intérieur du silo vide, soit 10 doses. On a acheté 500 g de produit commercial: à répartir en 10 doses. La dose de poudre pour une couche sera de 50 g.**

• **En pratique:**

- **une dose sert à traiter l'intérieur du grenier,**

- **une dose traite le fond du grenier,**

- **le grain est chargé par couches de 20 cm poudrées successivement avec 1 dose chacune,**

Exemple 2:

Traitement d'un crib: largeur: 60 cm

hauteur: 1,70 m

longueur: 4 m.

Volume du crib: environ 4 m³, soit 2 tonnes de maïs en épis.

Quantité d'insecticide 500 g/t x 2 t = 1 kg de poudre, soit 4 sachets de 250 g. Poudrage en «sandwich» tous les 20 cm.

En comptant la couche inférieure et la couche supérieure au total 10 couches sont à appliquer, soit:

$$1000/10 \text{ g} = 100 \text{ g par couche.}$$

Il faut donc diviser chaque sachet en 2,5 parts et en appliquer 1 part par couche.

Enfin on pulvérise tout l'extérieur du crib avec de l'Actellic liquide. (Solution à 7,5 % de matière active par exemple.)

L'Actellic se dégradant plus rapidement à l'air libre que dans un grenier fermé, il faut renouveler tous les mois cette application.

Épis en spathes ou sans spathes

Dans les greniers traditionnels, les insecticides sont généralement utilisés sur du maïs en spathes. L'insecticide renforce la protection déjà en partie assurée par les spathes. Cette technique présente l'avantage pour le consommateur de ne pas mettre l'insecticide directement au contact du grain. Cependant la présence des spathes protègent de l'insecticide les insectes déjà présents dans l'épi.

Pourquoi despatcher avant la mise en crib?

1° Le produit est récolté humide (30 % d'humidité). Il est alors nécessaire de despathier les épis pour favoriser un séchage rapide. La présence des spathes empêche une bonne ventilation des épis qui, à cette humidité, risquent fort d'être le siège d'un développement de moisissures.

2° Les spathes empêchent une bonne protection du grain par l'insecticide. Si avec les variétés traditionnelles on pouvait considérer que les spathes généralement très enveloppantes et très jointives pouvaient assurer une certaine protection contre les insectes, il en va tout autrement avec les variétés améliorées où les spathes sont souvent plus courtes et plus lâches.

En conclusion il est conseillé de despathier les épis de maïs lors du stockage en crib.

Pour des raisons identiques il est recommandé d'égousser haricot et niébé avant stockage.

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's Linux, we know it).[ar.cn.de.en.es.fr.id.it.ph.po.ru.sw](#)

Chapitre V - Stockage en sacs

[5.1. Conception des magasins](#)

[5.2. Les matériaux de construction](#)

[5.3. Équipements des magasins](#)[5.4. Stockage en magasins souples](#)[5.5. Gestion des magasins](#)[5.6. Magasins réfrigérés](#)

Selon la destination du produit, le stockage sera implanté sur les lieux de production, près des centres de commercialisation, près des centres de transformation, près des centres d'exportation.

Dans tous les cas, la question se pose de savoir s'il faut stocker en vrac ou en sacs. Après une phase transitoire au cours de laquelle le stockage en vrac et le stockage en sacs ont coexisté, les pays exportateurs de céréales stockent généralement en vrac.

Les pays en développement se trouvent dans la phase transitoire et les deux techniques y coexistent avec chacune leurs avantages et leurs inconvénients.

MAGASINS DE SACS

La solution de stockage en sacs en magasins est la plus fréquemment utilisée, car elle permet d'employer des bâtiments existants et, dans le cas de constructions neuves, exige un investissement plus faible que le stockage en vrac.

Les principaux facteurs de dégradation des stocks sont, nous l'avons vu, la température, l'humidité et les différents déprédateurs (insectes, rongeurs, oiseaux). Les magasins doivent être conçus et gérés de façon à limiter l'influence de chacun de ces facteurs.

Nous énumérons ici les points principaux sur lesquels le responsable de la construction d'un magasin doit se pencher pour préparer son projet:

- choix du site - exposition,
- dimensions du magasin - nombre d'ouvertures,
- construction: plancher
 murs
 toiture
 ouvertures (portes, fenêtres),
- équipements.

5.1. Conception des magasins

[5.1.1. Choix du site. Exposition](#)

[5.1.2. Conception des magasins](#)

[5.1.3. Principes de construction](#)

5.1.1. Choix du site. Exposition

- Le choix du site est un facteur très important de réussite. Le sol de fondation doit être stable pour éviter que le bâtiment ne se fissure ou qu'il soit nécessaire de prévoir des fondations spéciales toujours coûteuses. L'avis d'un organisme spécialisé (Génie rural, Travaux publics) doit être demandé avant de fixer le choix de l'implantation.

La topographie des lieux est également à prendre en compte. On évitera les zones basses, inondables, pour leur préférer un point haut, d'où les eaux de pluie s'évacuent facilement, mais d'accès facile, en gardant à l'esprit qu'il faut prévoir des voies d'accès ouvertes par tous temps et pouvant supporter des véhicules lourds.

L'implantation devra donc se faire près des voies de communications (axe routier).

Il faut enfin tenir compte des réseaux d'électricité et d'eau s'il est prévu que le magasin en soit équipé.

- Pour limiter l'élévation de température produite par le rayonnement solaire en zone tropicale, le bâtiment doit être orienté est-ouest dans le sens de la longueur, c'est-à-dire qu'il ne présentera au rayonnement du matin et du soir que ses pignons, les façades étant orientées nord-sud et protégées pendant la journée (au moment où le rayonnement est le plus intense et proche de la verticale) par les débordements de la toiture. L'absorption maximum de chaleur se fait par le toit, car les rayonnements obliques sont peu intenses et s'appliquent sur des surfaces réduites. Les façades étant ombragées, la conduction par les murs n'a que peu d'importance, les températures intérieure et extérieure étant peu différentes.

En climat chaud et humide, les constructions lourdes ayant une grande inertie thermique ont moins d'intérêt qu'en climat chaud et sec. L'inertie thermique est intéressante pour conserver le mieux possible la fraîcheur de la nuit dans la mesure où l'écart de température diurne est élevé.

Dans le cas des climats chauds et humides à faible écart diurne, la construction lourde ne s'impose donc pas, à moins qu'un conditionnement d'air ne soit prévu.

Il a cependant été constaté, en Côte d'Ivoire, pour des magasins de stockage de cacao, que des constructions lourdes avec toitures en béton permettent d'emmagasiner de la chaleur dans la journée, ce qui abaisse l'humidité relative à l'intérieur du magasin. Pour compléter cette action les portes sont ouvertes

pendant les heures les plus chaudes de la journée.

L'orientation du magasin doit être telle que les portes opposées soient dans l'axe des vents dominants. Cette orientation est toutefois moins impérative que l'exposition au soleil, car la direction des vents dominants est souvent imprécise, d'une part, et certains travaux indiquent que l'air pénètre mieux dans les ouvertures faisant un angle de 45°C avec la direction du vent, d'autre part.

5.1.2. Conception des magasins

5.1.2.1. Dimensions

Pour calculer les dimensions du magasin, il faut tenir compte non seulement du tonnage et du volume spécifique de la (ou des) denrée(s) à stocker, mais également du coefficient d'utilisation du volume offert compte tenu de la nécessité de prévoir des espaces libres pour la manutention, l'individualisation des tas, la facilité d'inspection et de fumigation. Enfin, pour les magasins ayant une certaine importance, il est nécessaire de prévoir en annexes: une aire de travail, une remise pour les matériels et un bureau...

Surface au sol

Tonnage à stocker

Le volume spécifique des principales denrées stockées en sacs est le suivant:

- Mil souna 1,25 m³/t
- Pois, haricots, lentilles 1,3 m³/t
- Blé, riz usiné, café 1,6 m³/t

- Maïs, sorgho, arachide décortiquée, palmistes 1,8 m³/t
- Soja, cacao 2 m³/t
- Farine de blé, farine de maïs 2,1 m³/t
- Graines de coton. 2,5 m³/t

Hauteur des tas

Cette hauteur est fonction du produit à stocker, par exemple pour des farines on limite celle-ci à 20 lits de sacs pour éviter une compaction des niveaux inférieurs alors que, pour les céréales en sac jute, on peut stocker sur 30 lits et plus. Elle est également fonction du type de sac utilisé, et de la qualification du personnel.

Avec du sac polypropylène tissé ayant tendance à glisser, la hauteur est souvent limitée à 3 mètres alors qu'elle dépasse 5-6 mètres avec du sac en jute.

5.1.2.2. Coefficient d'utilisation du volume offert

- Individualisation des tas

La meilleure utilisation du volume offert est naturellement obtenue en stockant en un seul tas. Ceci est rarement possible en pratique et n'est d'ailleurs pas à recommander. Le chef de magasin est souvent conduit à indivisualiser les lots selon la nature des produits (voire même leurs variétés), leur destination, etc. D'autre part une individualisation du stock peut faciliter la gestion et permettre un meilleur contrôle des denrées stockées.

A cet effet on doit prévoir:

- un écartement de 1 m environ entre les piles de sacs et les murs qui servira d'allée d'inspection et de traitement;
- des couloirs de manutention de 3 à 4 m de largeur. Dans les magasins importants (prévoir au moins un grand couloir central);
- au-dessus des tas, une hauteur telle qu'un homme puisse se tenir debout en tout point du tas. En pratique réserver 1 m au-dessous du faite des murs.

- Proportions

Pour faciliter le travail et la gestion des stocks, il est souvent judicieux de retenir pour le magasin une forme rectangulaire en cherchant à avoir une longueur double de la largeur.

5.1.2.3. Exemple de calcul des dimensions

Déterminer les dimensions d'un magasin devant stocker 1000 t de maïs en sac jute en 4 lots.

Le volume du stock de maïs sera, d'après le volume spécifique donné précédemment: $1000 \text{ t} \times 1,8 \text{ m}^3/\text{t} = 1800 \text{ m}^3$.

Si l'on prévoit de stocker sur une hauteur de 5 m, la surface au sol sera de: $1800/5 = 360 \text{ m}^2$.

Pour se rapprocher des proportions telles que Longueur $L \cong 2 l$ (largeur) on détermine approximativement 1 par:

surface = $L \times l = 2 l^2 = 360 \text{ m}^2$ d'où $l = 13,4 \text{ m}$

Retenons par exemple $l = 12$ m

La surface occupée par le produit étant de 360 m², la longueur sera de: 30 m.

Nous pouvons maintenant «éclater» ces 4 lots en prévoyant par exemple:

- une allée centrale de manutention de 3 m de large,
- une allée perpendiculaire de 2 m de large,
- une allée d'inspection sur le pourtour de 1 m de large.

Figure

Le schéma est alors le suivant

Les dimensions du magasin seront:

Largeur $l = 1$ m + 6 m + 3 m + 6 m + 1 m = 17 m

Longueur $L = 1$ m + 15 m + 2 m + 15 m + 1 m = 34 m

soit une surface au sol de 578 m².

La hauteur des murs sera de 5 m + 1 m = 6 m.

Le pourcentage d'utilisation du magasin sera:

$$\frac{1800 \times 100}{578 \times 6} = 52\%$$

Ce calcul théorique permet une bonne approche des dimensions à préconiser; le choix définitif sera fixé compte tenu des dimensions standard de construction.

5.1.2.4. Locaux annexes

Dans la pratique il est courant de constater que l'occupation du sol telle que nous l'avons définie dans l'exemple précédent n'est pas réalisée. Le magasin limité à «quatre murs et un toit» n'est pas une structure fonctionnelle car, faute de place, il doit abriter le bureau du magasinier, la (ou les) bascule(s), le stock de sacs, les bâches, les appareils et produits insecticides, voire le matériel de nettoyage. Il en résulte souvent une impossibilité pratique pour le magasinier de gérer sainement son stock et d'éviter les réinfestations de lots préalablement traités.

Dans les centres importants comprenant plusieurs magasins, il est possible de prévoir un bâtiment de «Services» abritant au minimum: un bureau de 15 à 20 m² (suffisant pour servir au besoin de petit laboratoire), un dépôt pour la sacherie et les bâches, un dépôt pour les produits insecticides, une aire de travail pour le stockage transitoire de lots à fumiger ou reconditionner, et éventuellement un équipement de nettoyage (nettoyeur-séparateur), traitement et réensachage. Trop souvent ces matériels sont mis en place après la conception du projet et sont mal implantés, en sorte que leur utilisation est difficile et souvent abandonnée.

Dans le cas de magasins isolés d'une certaine importance, il est relativement peu onéreux de réaliser cette aire de services en prévoyant un appentis non bardé (sauf pour le bureau) en long pan du magasin.

En reprenant l'exemple précédent la disposition des différentes annexes peut se faire en fonction des circuits de grains.

[Fig. 98: Schéma possible pour magasin important.](#)

5.1.3. Principes de construction

5.1.3.1. Fondations

Si possible éviter la construction sur des terrains argileux instables (glaise) ou des terrains remblayés. On devra dans tous les cas atteindre le bon sol qui devra présenter une résistance à la pression supérieure à 1,5 kgf/cm'.

Les fondations, qui forment l'ossature de base du bâtiment, seront constituées de «plots» en béton au droit des poteaux reliés entre eux par des semelles filantes.

5.1.3.2. Sol

Le sol du bâtiment est généralement constitué d'une dalle de béton reposant sur un lit de pierres ou autres matériaux concassés, correctement compactés; cette couche de base étant recouverte d'un lit de sable. Entre la dalle et ce sol préparé est placé un écran imperméable à l'eau et à la vapeur d'eau qui peut être constitué soit par des couches de bitume ou d'asphalte étendues à chaud, soit par un feutre bitumé, soit encore, comme c'est généralement le cas, par un film de matière plastique (film polyane).

La dalle elle-même est faite de béton armé. Elle doit comporter des joints de dilatation de façon à éviter d'éventuelles fissurations toujours difficile à contrôler.

La dalle est recouverte d'une chappe de béton de quelques centimètres, lissée et dans laquelle on peut incorporer un durcisseur. Dans certains cas la dalle porteuse est prévue sur vide sanitaire; cette solution, qui nécessite un ferrailage important, est souvent très onéreuse.

Enfin, l'option magasin surélevé de 1,20 m peut également être envisagée; elle est intéressante dans son

principe car elle facilite les manutentions entre le magasin et les véhicules de transport (pour autant que les quais de chargement et de déchargement soient à la bonne hauteur car sinon on aura, au contraire, créé une contrainte supplémentaire). Cette solution est également chère, elle peut entraîner un surcoût d'environ 40% de la construction.

5.1.3.3. Élévations

On distingue d'une part, l'ossature constituée par les poteaux, le chaînage bas et le chaînage haut, et d'autre part, les murs qui constituent un remplissage entre les éléments de cette ossature.

Dans beaucoup de cas l'ossature est réalisée en béton armé.

Les poteaux qui soutiennent le bâtiment en reprenant toutes les forces sont reliés entre eux par un chaînage bas, lui-même solidaire du plancher, et par un chaînage haut qui renforce la structure et sert de base à la fixation de la charpente. Lors de la construction, il faut veiller à la bonne attache entre elles des différentes parties de l'ossature: fondations-poteaux -poteaux-chaînages, et vérifier notamment le bon recouvrement des fers.

Enfin, si les poteaux doivent présenter des saillies (poteaux plus larges que les murs), celles-ci seront toujours à l'extérieur du bâtiment de façon à avoir une paroi intérieure lisse qui facilite la manutention et l'entretien.

Les poteaux peuvent parfois être métalliques (IPN).

Les murs sont généralement montés en agglomérés de ciment creux (meilleure isolation) de 15 à 20 cm d'épaisseur. Ils doivent recevoir sur les deux faces un enduit lissé. Cet enduit sera lui-même recouvert de peinture claire.

Par exemple

- **intérieurement: peinture vinylique ou glycérophtalique,**
- **extérieurement: peinture à la chaux.**

Enfin, pour faciliter l'entretien du magasin, il est nécessaire que la liaison mur-sol soit arrondie.

Les parois lourdes en maçonnerie ont l'avantage de présenter de bonnes propriétés thermiques.

Dans certains cas cependant, le bardage du bâtiment est en matériaux légers:

- fibrociment : matériau fragile,
- tôle galvanisée : il faut une couche de zinc suffisante pour résister à la corrosion,
- tôle d'aluminium : légères et solides, elles peuvent être exposées à des risques de corrosion d'origine électrolytique au contact d'autres métaux ou de béton humide.

5.1.3.4. Couverture**- La charpente**

Souvent en treillis métallique, elle est constituée de barres en fer profilé. Généralement des fermes, croissillonnées sont constituées de fers cornières, l'assemblage se faisant à l'aide de boulons ou rivets. Il est nécessaire de bien respecter le principe de la triangulation. Les pannes sont des IPN. Les charpentes métalliques permettent des portées plus grandes que les fermes en bois.

Des pannes métalliques permettent des espacements entre fermes (travée) de 7 à 8 m, alors que l'on est

limité à 4-5 m avec le bois.

Cette charpente métallique repose sur des poteaux en fer ou des poteaux en béton armé.

Il existe également des fermes portiques métalliques regroupant poteaux et charpente, mais elles sont rarement disponibles localement.

[Fig. 99: Ferme cadre.](#)

[Fig. 100: Ferme portique.](#)

- *La toiture*

Elle peut être réalisée en plaques de fibrociment (bon isolant thermique, mais fragile), en tôles d'acier galvanisé ou en tôles d'aluminium (fort pouvoir réfléchissant). Le débordement du toit doit être de 1 m en pignon et, en long pan, d'une largeur telle qu'il permette une protection des ouvertures de ventilation (1 m et plus).

L'éclairage naturel par plaques translucides en toiture est déconseillé en raison des risques d'échauffement ponctuel de la surface du stock. Pour limiter les condensations il est parfois recommandé de mettre un isolant, cependant, en cas de fuites du toit, cet isolant empêche de situer correctement leur origine.

5.1.3.5. Ouvertures

- *Portes*

Elles doivent être correctement réparties en fonction des circuits de grains envisagés. Dans la mesure du possible (notamment pour les grands magasins) il faut disposer d'au moins deux portes pour pouvoir appliquer aisément le principe «premier entré - premier sorti», pour la gestion des stocks.

D'autre part, pour faciliter les contrôles, il est intéressant d'avoir les portes situées sur un même côté de bâtiment, par exemple deux portes sur un même long pan.

Ces portes doivent avoir des dimensions suffisantes ($l = 3$ m; $h = 2,5$ m au minimum). Le type de porte conseillé est celui des portes métalliques à battants s'ouvrant à la française. Métalliques, car plus résistantes, et à battants car permettant une bonne fermeture. Les portes coulissantes sont en effet à l'origine de nombreux problèmes: vrillage facile, mauvaise fermeture créant toujours entre l'encadrement et la porte un jour important, laissant le passage libre aux insectes et aux rongeurs.

Pour éviter une perte de volume utile, il faut prévoir leur ouverture vers l'extérieur du magasin.

Les portes doivent également être surmontées d'un auvent avec gouttières pour les protéger et permettre les manutentions par temps de pluie.

- Ouvertures d'aération

Pour éviter des problèmes d'entrée d'eau, de rongeurs, de vol, etc., les aérations basses disparaissent. L'expérience montre en effet que ces ouvertures basses présentent dans la pratique beaucoup plus d'inconvénients que d'avantages.

Les ouvertures de ventilation, placées au faite des murs en long pan, doivent être largement dimensionnées, (1 m² par travée), protégées des pluies par le débordement du toit et obturables par volets simples rabattables. Enfin, elles doivent être équipées de grillage antioiseaux (maille de 20 mm), extérieur,

et de grillage moustiquaire (maille 1 mm) fixé sur cadre en bois amovible (pour permettre le nettoyage) et placé au moins 10 cm en retrait du précédent.

On évitera les ouvertures en laitière, toujours difficiles à mettre en œuvre ainsi que les aérateurs statiques à commande par chaîne qui deviennent souvent très rapidement inefficaces par manque d'entretien dû à une accessibilité difficile.

5.1.3.6. Aménagement

Il faut prévoir une concession vaste et enclose autour du magasin. Les camions doivent pouvoir accéder aux portes du magasin en toute saison.

Les abords du magasin doivent être protégés contre les eaux du ruissellement par un fossé régulièrement entretenu.

5.1.3.7. Note importante

Tous les calculs de dimensionnement du magasin doivent être faits par des spécialistes (Génie civil - béton armé...) et au niveau de la construction, il est primordial de confier les marchés à des entreprises compétentes et de prévoir un financement (5 %) pour la surveillance effective des travaux.

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Table des matières](#) - [◀Précédente](#) - [Suivante▶](#)

[Home](#)"" """"> (From globally distributed organizations, to supercomputers, to a small home server, if it's

5.2. Les matériaux de construction

[5.2.1. Béton et mortier](#)

[5.2.2. Fers](#)

[5.2.3. Bois](#)

[5.2.4. Matériaux de couverture](#)

5.2.1. Béton et mortier

Les bétons et mortiers sont des matériaux composés, constitués par les trois éléments suivants:

- granulats (gravier et sable),
- un liant (le type le plus utilisé dans les constructions modernes est le ciment),
- l'eau de gâchage.

5.2.1.1. Granulats

Qualifiés de matériaux «inertes», les granulats utilisés pour la fabrication du béton sont les sables et les graviers. Sables et graviers se différencient par leur granulométrie (sable approximativement entre 0,1 mm et 5 mm - gravier 5 mm à 25 mm).

Nature des sables

Les sables de nature siliceuse ou calcaire peuvent être employés dans la confection des mortiers et béton. Les sables granitiques fortement micassés sont généralement à rejeter car ils réduisent la cohésion du béton. En fait les agrégats doivent provenir de sables sans activité sur le ciment. On devra donc éviter les calcaires tendres, les feldspaths et les schistes. Le meilleur sable reste le sable siliceux.

Qualités des sables

Les granulats doivent être propres, exempts de poussière fine, de limon d'argile et de matière organique, sinon le béton manquera d'adhérence, se fissurera et sera de faible résistance. Pour s'assurer de cette propriété, on peut mettre les matériaux à tester dans un bocal après avoir ajouté de l'eau jusqu'à immersion puis après avoir secoué énergiquement, on laisse reposer trois heures. Dans la ségrégation qui s'ensuit les éléments fins ne doivent pas dépasser 10 % du volume total. Dans le cas contraire il sera nécessaire de laver les matériaux.

*** Sables de mer: malgré leur finesse et le risque de corrosion des armatures qu'ils présentent, ces sables peuvent être utilisés dans la construction, à condition d'être exempts de coquilles et d'être débarrassés des sels par lavage correct à l'eau douce.**

Influence de l'humidité sur les sables

Avec de faibles pourcentages d'humidité, le sable se tasse beaucoup moins que s'il est sec car les grains glissent difficilement les uns sur les autres (foisonnement).

Taille des sables

Les sables trop fins, s'ils offrent une bonne ouvrabilité des mortiers, leur confèrent cependant une faible résistance à la compression. Il est souvent préférable d'utiliser les sables trop fins en béton plutôt qu'en

mortier (fissurations), les sables gros exigent un fort dosage de ciment.

Pour la confection des mortiers, un bon granulat peut être constitué par un mélange 2/3-1/3 de sable gros et de sable fin (granulométrie discontinue apportant la meilleure compacité). Pour un béton, les granulats doivent avoir une granulométrie «dispersée» (calibre le plus différent possible) afin de combler tous les interstices, donc d'éviter une «ségrégation» et il faut disposer d'un gros agrégat de type argileux afin d'augmenter l'adhésion du liant.

Enfin les agrégats doivent avoir une bonne résistance mécanique et donc ne pas être trop friables.

5.2.1.2. Liants

Ces produits servent à unir entre eux les matériaux pierreux. Les principaux liants sont les chaux et les ciments.

- la chaux éteinte, qui durcit à l'air, est employée dans les bétons de terre,
- les chaux hydrauliques (qui durcissent à l'eau) proviennent d'un calcaire contenant 10 à 20 % d'argile,
- les ciments lents sont composés essentiellement de calcaire de silice et d'alumine. Les Ciments Portland Artificiels (CPA) sont caractérisés par leur résistance minimale à la compression (en bars) à 28 jours. Les plus courants sont:

- C.P.A. 325 : pour le béton armé courant (325 bars à 28 j)
- C.M. 250 : travaux de maçonnerie courants, moellons, parpaings...
- C.M. 160 : enduits, mortiers, agglomérés...

5.2.1.3. Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit être de «bonne qualité», c'est-à-dire ne contenir ni matières organiques, ni impuretés en solution, ni déchets industriels. Elle doit intervenir en proportion précise dans le mélange (mouillage des granulats, hydratation du liant). En excès, elle diminue la résistance des mortiers. On doit enfin tenir compte de l'humidité initiale des sables. Le rapport E (eau)/C (ciment) doit être en général de 0,40 à 0,50 en poids.

5.2.1.4. Mise en ouvre

Pour la construction des murs et des cloisons, le béton est généralement utilisé sous forme de blocs. On distingue alors les blocs pleins, ou «parpaings», pour les murs intérieurs porteurs, et les blocs creux dont les alvéoles remplies d'air améliorent les caractéristiques d'isolation. Pour qu'il reste maniable, un bloc devra peser au plus 25-30 kg, ce qui limite ses dimensions. Les dimensions usuelles en cm sont

10 x 20 x 40

15 x 20 x 40

20 x 20 x 40.

Ces blocs peuvent être produits soit industriellement, soit artisanalement par de petites machines qui permettent une fabrication sur le site. Après fabrication, on laissera sécher les blocs, sous abri ventilé, pendant au moins 1 mois (l'exposition directe au soleil est totalement à proscrire). Les blocs pourront alors être utilisés avec des joints au mortier de ciment.

DOSAGE POUR OBTENIR 1 m³ DE BÉTON (d'après Mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux)

Usage	Ciment	Sable	Gravillon	Gravier	Pierre cassée	Casson de briques	Eau
	(kgf)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)
Semelle de propreté	150	400				800	220
Formes	200	400			800		180
Semelle de fondation	250	400		200	600		170
Béton banché	300	400	850				170
Béton arme	350	400	350	450			165
Béton moulé	350	450	800				215
Ouvrages spéciaux	400	400	350				170

Sources: Ministère de la Coopération.

5.2.1.5. Béton de terre

1° Encore utilisé aujourd'hui pour la construction dans de nombreux pays du monde, le béton de terre reste un matériau économique qui ne doit pas être négligé.

Ce béton est également constitué de trois composants

- *des agrégats* : gravier et sable,
- *un liant* : en l'occurrence limon et argile,
- *l'eau de gâchage.*

En fait, le béton de terre semble intéressant si on peut utiliser un matériau tout-venant. En Afrique on pourra trouver un tout-venant de gravillons et d'argile latéritiques ou sables argileux (ou argiles sableuses), éoliens ou sédiments fluviaux, qui constituent des bons sois de construction. Tous les sois ne conviennent évidemment pas et dans la recherche de gisements, on doit éliminer d'emblée les terres organiques (terres noires ou brun foncé). On doit ensuite effectuer tous les essais de contrôle de mécanique des sols. On peut améliorer la résistance mécanique des sols en ajoutant des stabilisants.

- *ciment* : pour les sols sableux, mais se mélange mal à l'argile,
- *chaux* : stabilisant de l'argile,
- *mélange chaux/ciment* : on donne souvent les proportions 2/3 chaux-1/3 ciment,
- *paille* : pour sol argileux. Elle atténue le retrait et facilite le séchage. Le mélange s'appelle «pisé»,
- *autres* : cendres, huile de coco, bouses de vaches, termitières...

2° Utilisation

A l'utilisation en béton de terre banché, dont la fabrication et la mise en œuvre sont délicates, on préfère généralement la fabrication de parpaings, plus facile, moins risquée et tout aussi économique.

Avant moulage on doit procéder à une préparation du matériau (tamisage pour éliminer les éléments de plus de 20 mm) et à son malaxage manuel ou mécanique. Les parpaings sont faits avec une terre à peine humide. Moulage et compactage peuvent se faire:

- *à la main* : moules à deux parpaings de 10 cm d'épaisseur que l'on remplit par couches de 5

cm correctement pilonnées (poids de 6 kg au moins),

- *ou mécaniquement* : par des « presses à agglomérés » à bras ou à moteur dont il existe plusieurs modèles.

D'après Craterre: des presses commerciales particulièrement intéressantes

	Source d'énergie	Manuel						Hydraulique		
Dénomination	Nom	Cinva-Ram	Teh-Block	Ellson Blockmaster				SM Terstaram	MMH 2000	CLU 2000
				S	D	SB1	SB2			
Origine	Pays	Colombie	Burkina Faso	Inde	Inde	Inde	Inde	Belgique	Belgique	Suisse
Caractéristiques physiques	Dimensions (l x L x H) (cm)	20 x 50 x 60	40 x 50 x 75	40 x 69 x 90				75 x 160 x 100	100 x 300 x 150	150 x 32 x 162
	Poids net (kg)	63	97	145	155	165	175	280	1350	1550
	Moteur								Bernard 10 HP diesel	Hatz E 785 11 HP diesel
	Consommat.l/heure								2	2
Caractérist. Commercial.	Prix (F.F.) 1979	1000	2000	1400	1500	1600	1650	4000	55000	70000 (pan.)

										presse)
	Délai. de livraison (mois)	de stock	de stock	de stock				3 mois	3 à 6 mois	3 à 6 mois
Caractéristist. qualitatives	Pression en kgf/cm ²	7	5	7 à 25				20	40	20
	Taux de compression	1,63	1,34	(1,80)	(1,46)			1,65	-2	(1.6)
	Profond. max. du moule (mm)	145	175	131	131	158	158	145	175	120
	Course max. du plat. (mm)	55	45	30	50	50	50	39 + 18 = 57	88	45
	Dimens. des blocs standard (L x l x h)	29,3 x 14 x 8,9	29 x 29 x 13	22,7 x 10,6 x 7,3 (x 2)	22,7 x 10,6 x 7,3 (x 2)	30,5 x 14,6 x 10,8	30,5 x 22,5 x 10,8	29,5 x 14 x 8,8	29,5 x 14 x 8,8	25 x 12 x 7,5 (x 2)
Production	Nombre de blocs par jour	425	423	425	850	425	425	425	2000	2000
	Vol. compacté par jour (m ³)	1,55	4.64	0,74	1,48	2,04	3,14	1,54	7,26	9
	Nombre, d'ouvriers	4	4	3	3	4	4	4,30	3,10	4,60

3° Séchage et stockage

Une attention particulière doit être apportée au séchage qui doit être lent et graduel. Il devra se faire sous un hangar bien ventilé abritant les parpaings de la pluie et du soleil. Après une journée, les blocs peuvent être empilés en laissant entre eux une bonne ventilation. Pour que le stabilisant (ciment ou chaux) durcisse convenablement, il est nécessaire de maintenir les parpaings humides pendant une semaine en les recouvrant de toiles que l'on humidifie. Le séchage des parpaings doit durer au moins un mois.

4° Construction

Les parpaings de terre s'utilisent comme les parpaings de ciment. Le mortier est un mortier de terre contenant des agrégats inférieurs à 1 mm auquel on peut ajouter du ciment (100 kg/m³).

5.2.2. Fers

Ils sont largement utilisés dans la construction: béton armé, charpente, huisseries.

5.2.2.1. Fers à béton

Les armatures du béton servent à pallier son insuffisance à l'extension; elles sont en acier doux, peuvent être lisses, crénelées, torsadées... et sont disponibles en différents diamètres (5 à 40 mm).

5.2.2.2. Fers laminés

Il existe des profilés IPN, UPN, T et L couramment utilisés dans la constitution des charpentes et des poteaux, En charpente on pourra utiliser des fermes cadres en treillis soudés ou boulonnés... ou également des fermes portiques.

5.2.2.3. Métal déployé

Il peut être utilisé comme armature pour les voiles en béton ou comme grillage pour les ouvertures.

5.2.3. Bois

Matériau courant dans la construction, il intervient surtout au niveau des charpentes de faible portée. Il doit être de bonne qualité et sec pour éviter une déformation ultérieure. Avant leur utilisation sous différentes formes: bastings, madriers, chevrons, planches, etc., les bois doivent être stockés dans un endroit sec et protégés par du goudron, de l'huile ou de la peinture.

5.2.4. Matériaux de couverture

Les matériaux les plus courants sont:

- la tôle galvanisée, disponible en plusieurs longueurs: 1,65 à 3 m,**
- la tôle en aluminium, qui a un fort pouvoir réfléchissant des rayons solaires - Dimensions standard: Longueur: 2 m - largeur: 0,90 m.**

La légèreté de ces plaques constitue une de leurs principales qualités: 7 kg/m pour la tôle galvanisée - 2 à 3 kg/m pour la tôle aluminium. Leur fixation s'effectue par tire-fond ou crochets,

- la tôle en amiante-ciment a pour principale qualité de constituer un bon isolant thermique, cependant son poids plus important: 16 kg/m, alourdit la charpente. Sa pose doit être soignée, la mise en place des tire-fond ou des crochets de fixation pouvant occasionner des fissures qui risquent de s'élargir avec le temps.**

5.3. Équipements des magasins

5.3.1. Électricité

5.3.2. Reconditionnement des produits

5.3.3. Équipements mobiles

5.3.1. Électricité

Les magasins pourront être alimentés en électricité par le réseau ou par groupes électrogènes.

L'eau devra également être disponible au niveau du bureau (qui peut servir de petit laboratoire) et des installations sanitaires.

5.3.2. Reconditionnement des produits

Nous avons retenu que les magasins devaient être conçus de façon à dégager une «aire de travail» couverte. C'est à ce niveau que peut s'effectuer le reconditionnement des sacs.

On peut à cet effet prévoir les équipements fixes suivants:

- trémie de vidange des sacs,**
- élévateur ou vis d'alimentation,**
- un nettoyeur-séparateur,**
- un désinsectiseur en continu (facultatif),**
- un second élévateur pour alimentation,**
- peseur-ensacheur (deux bascules d'ensachage),**
- une couseuse de sacs.**

Fig. 105: Schéma d'une unité de reconditionnement.

5.3.3. Équipements mobiles

N.B.: Tout d'abord nous pouvons rappeler que les piles de sacs sont souvent montées sur palettes. Ces palettes de bois doivent être solides et de dimensions telles qu'elles soient aisément déplaçables pour permettre le nettoyage du magasin. L'emploi de palettes n'est pas toujours à conseiller car, si elles évitent les remontées d'humidité par le sol, elles ont aussi des inconvénients:

- coût élevé surtout en zones sèches,
- refuge aisé pour les rongeurs,
- rangement difficile,

En conséquence, nous conseillons avant tout la réalisation d'une bonne étanchéité de la dalle. Les palettes restent intéressantes dans les magasins anciens et dans les zones humides.

Les divers matériels dont doivent être équipés les magasins sont

- balais,
- appareil portatif de désinsectisation (voir chapitre VII),
- bascule classique de 200 kg de construction métallique,
- petit matériel de laboratoire pour échantillonnage,
- appareil de mesure de l'humidité,
- appareils de manutention,

Nous développerons ici les appareils de manutention en sacs.

a) ***Diabes à bandage caoutchouc*** pour le transport des sacs à l'unité. Ces petits chariots peuvent rendre d'importants services au niveau d'un magasin en limitant la fatigue des travailleurs.

Pour le transport horizontal des sacs sur palettes, il existe des petits transporteurs manuels appelés «transpalette» qui permettent à un seul homme de déplacer des palettes chargées.

[Fig. 106: Diable.](#)

[Fig. 107: Transpalette. \(D'après doc. KAHL.\)](#)

b) ***Monte-sacs mobile***

Les monte-sacs mobiles sont intéressants pour la construction des tas. Ils peuvent être placés près de la pile. Le pivotement de 90° de la plate-forme permet de prendre facilement le sac.

Dans les matériels courants la hauteur de levée atteint 7 m. Ces appareils, électriques ou à moteurs thermiques, ont l'avantage de ne requérir qu'une faible surface au sol.

c) ***Convoyeurs de sacs ou sauterelles***

Les convoyeurs sont les matériels les plus répandus pour le gerbage en tas. Ils se composent:

- d'un tablier, ensemble rigide et inclinable de 6 à 10 m de long, supportant, par l'intermédiaire de rouleaux étanches, une bande en caoutchouc de 50 à 60 cm de large, généralement garnie de barrettes transversales, pour transporteur incliné;
- d'un chariot constitué de 2 barres articulées sous la trémie et reliées à un essieu monté sur roues

à pneus. Deux bras verticaux articulés sur l'essieu permettent le réglage de l'inclinaison du tablier qu'ils supportent par des galets.

Sur les modèles simples, le réglage de l'inclinaison se fait par un treuil à main.

Le chariot supporte le moteur électrique (3 à 4 ch) et les transmissions d'entraînement du tapis.

Le réglage de la tension de la bande est obtenu par translation de l'axe du tambour de renvoi.

Pour les tas de grande surface, il est possible d'adapter rapidement une prolonge, orientable à 180°, avec moteur indépendant.

Pour le transport, le tablier est rabattu à l'horizontale et un triangle d'attelage avec œil se fixe sous la trémie.

[Fig. 108: Monte-sacs mobile. \(Doc. CHAMPION.\)](#)

[Fig. 109: Convoyeur de sacs \(sauterelle\). \(Doc. CHEVEUX.\)](#)

d) *Chariots élévateurs*

Il existe des petits chariots élévateurs «tout terrain» à deux ou quatre roues motrices qui peuvent être équipés de nombreux accessoires et notamment de fourches permettant les manutentions en palettes, caisses, containers, etc.

Au niveau d'un centre de stockage, ils peuvent rendre d'importants services du fait de leur polyvalence et de leur grande maniabilité.

La capacité de charge est d'environ 2 tonnes et la hauteur de levage des palettes, de l'ordre de 4 m.

NB: Palettisation

Les palettes supportant les sacs sont des planchers carrés de 1,20 m de côté montés sur madriers.

Pour maintenir en place les charges palettisées (sacs, cartons... une technique intéressante, de mise en œuvre simple, consiste à les envelopper d'une housse thermorétractable.

Une fois la palette constituée, on découpe à la longueur voulue une feuille de plastique rétractable (film polyéthylène par exemple) et l'on recouvre le chargement. Sous l'action de la chaleur cette housse va se rétracter et maintenir le lot palettisé.

Pour chauffer la housse, il existe de petits pistolets légers, robustes et faciles d'emploi qui fonctionnent au gaz propane (il existe des pistolets électriques à résistance chauffante dans le cas où l'emploi de flamme est interdit). Cette opération de housage peut être effectuée par un seul opérateur qui commence par le bas de la palette et procède ensuite par de larges balayages réguliers.

Enfin il existe également un petit matériel à main qui permet de dérouler tout autour du lot palettisé une bande de plastique fin dont l'élasticité permet un maintien du lot sans nécessiter une rétraction par chauffage.

5.4. Stockage en magasins souples

[5.4.1. Description](#)

[5.4.2. Intérêt d'un tel stockage](#)

Le «silo souple» s'est particulièrement développé lors de la sécheresse dans les pays du Sahel, car c'est un moyen rapide de protéger les stocks; ces silos ont donc surtout été utilisés pour les stockages d'urgence.

5.4.1. Description

Les premiers silos souples ont été réalisés en butyl qui ne résistait pas aux rayons U.V., durcissait et se fendillait. Les matériaux actuels: combinaisons BUTYL/EPDM (silos CHERWELL) ou PCV type «Trévira» (silos RIEDEL) résistent mieux au rayonnement solaire et aux intempéries.

Les silos, de forme circulaire, se composent de deux parties:

- une partie inférieure cylindrique qui est constituée d'un grillage galvanisé, soudé, de 2,50 m de hauteur, doublé par un film plastique de forte épaisseur (ex: Butyl 12/10 mm - 2 plis) qui épouse les parois et le fond du silo. La base du silo doit reposer de préférence sur une plate-forme bétonnée. Cependant un terrain ferme et plan peut convenir s'il est sans aspérités et bien drainé. On peut par exemple recouvrir le sol d'une couche de sable de 5 cm traitée contre les termites (Dieldrine);**
- une partie supérieure constituée d'une seconde bâche de forme conique qui après remplissage du silo vient recouvrir les sacs.**

Cette bâche de couverture doit, à la mise en place, déborder d'au moins 50 cm sur la base cylindrique.

Les deux biches sont roulées ensemble et maintenues en place par des cordes fixées sur le grillage de la partie inférieure assurant ainsi une fermeture hermétique.

Pour éviter des battements au vent de la bâche supérieure, on maintient cette dernière par un réseau de cordes.

Les sacs sont chargés par une ouverture de 0,80 x 0,80 m ménagée dans le grillage qui, lorsque la partie inférieure est remplie, est fermée par une porte métallique boulonnée.

Une virole de tôle ondulée de 1 m de hauteur environ est placée autour du silo à 50 cm du grillage pour en assurer la protection contre les rongeurs.

Les capacités de tels silos varient généralement de 250 t à 1000 t, les silos de 500 t sont souvent utilisés.

[Table des matières](#) - [◀ Précédente](#) - [Suivante ▶](#)