

---

[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](#)

---

## 5.4.2. Intérêt d'un tel stockage

### a) *Avantages*

- Ces silos peuvent être montés très facilement et très rapidement en 1 jour par une équipe de 10 personnes.
- Ils sont peu coûteux à l'achat. Cependant une comparaison sur 20 ans ou 30 ans avec les magasins classiques montre qu'ils sont plus coûteux que ces derniers en amortissement, du fait de la nécessité de les remplacer tous les 5 ans environ.
- Ils permettent une bonne conservation pendant de longues périodes du grain placé ainsi en conditions hermétiques, à condition toutefois que le grain stocké soit très sec (céréales à 11 % - 12 %). Sinon, ils sont au contraire le siège de nombreux accidents de conservation.

- Ils constituent une enceinte étanche qui permet de traiter les produits par fumigation en début de stockage. Cette herméticité assure d'autre part une bonne protection contre les réinfestations d'insectes.

### b) *Inconvénients*

- Nécessité d'un personnel entraîné au mode de gerbage en cercle et en cône.
- Opérations de chargement et de déchargement difficiles.
- Faible résistance mécanique du matériau qui oblige à réduire le plus possible les opérations de chargement-déchargement.

En conclusion, on ne peut envisager l'utilisation éventuelle de silos souples que pour un stockage à long terme (la constitution de stocks de sécurité par exemple) du fait des difficultés de manutention et de la fragilité des matériaux constitutifs du silo, ou pour des interventions d'urgence du fait de la rapidité de montage des silos.

## **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](#)**

### **5.5.1. Préparation des magasins**

Avant toute action de stockage, il est nécessaire de s'assurer du bon état général des locaux de stockage.

Il est indispensable de nettoyer les locaux et les alentours des magasins et si nécessaire de réparer ou boucher toutes les fissures des murs et du sol.

On effectue également un traitement insecticide des locaux.

On doit vérifier l'état des différents matériels de réception, contrôle et manutention, nettoyage, etc. et, si nécessaire, les réparer ou les remplacer.

Enfin on doit prévoir les approvisionnements en produits divers (insecticides, carburants, huiles...).

### **5.5.2. Mise en place des stocks**

Avant la mise en tas on doit effectuer les différentes opérations d'inspection à la réception du produit et des sacs.

Suivant les résultats de ces inspections, on doit alors intervenir pour obtenir un produit apte au stockage.

Différentes actions pourront être nécessaires:

- séchage,
- traitement,
- reconditionnement en sacs neufs, etc.

L'empilement doit se faire en tenant compte de la nature du produit (on fait différents tas pour différents produits) et en aménageant entre les piles des espaces qui permettent la manutention, facilitent les inspections et le nettoyage en cours de stockage.

La taille des bâches de fumigation dont on dispose intervient également pour définir la taille des lots.

On doit enfin isoler le lot du sol en empilant les sacs sur palettes lorsque des remontées d'humidité sont à craindre.

### **5.5.3. Au cours du stockage**

On doit régulièrement (au moins une fois par semaine) inspecter l'état des stocks et nettoyer le magasin. Lorsque l'on reçoit un nouvel arrivage de produit, on doit correctement l'inspecter pour ne pas risquer d'introduire un lot infesté dans un magasin bien tenu.

Il ne faut pas non plus que du grain nouvellement livré soit entassé sur un vieux stock, car en cas de mouvement de stock on doit chercher à sortir les stocks les plus vieux. Il est nécessaire, dans la mesure du possible, d'observer la règle classique du «premier entré, premier sorti».

Toutes les entrées et sorties de grains doivent être consignées sur un cahier pour permettre d'effectuer un bilan matière. Chaque produit fait l'objet d'une fiche de stock.

Enfin, toute entrée et sortie doivent être assujetties à l'émission de «bons» (d'entrée ou sortie) qui permettront au magasinier, responsable du stock, de tenir régulièrement à jour ses fiches de stock et de connaître les fournisseurs et les acheteurs.

Nous n'avons fait ici qu'un rappel rapide de différents éléments de tenue des stocks. Il est évident que tout magasinier doit être correctement formé à la gestion des stocks. Des manuels de gestion sont généralement élaborés par les directions des différents organismes stockeurs.

## 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

Dans de nombreux pays en développement, l'utilisation du froid pour la conservation des denrées alimentaires est récente.

Les domaines classiques d'utilisation du froid sont:

- produits animaux : viandes, poissons, lait et produits laitiers, œufs...
- produits végétaux : fruits et légumes frais.

**Dans les zones où les irrégularités du climat peuvent compromettre la production agricole, le froid est de plus en plus utilisé pour constituer des stocks de réserve de semences (céréales, tubercules...).**

## **5.6.1. Utilisation du froid**

### **a) Niveau de froid**

**On distingue:**

- la réfrigération qui consiste à abaisser la température du produit sans atteindre la température voisine de 0° C à laquelle l'eau contenue dans le produit se congèle,

- la congélation qui transforme en glace l'eau contenue dans les produits. La congélation rapide permet la formation brutale de cristaux nombreux et petits répartis uniformément dans le produit et ainsi ne détruit pas les tissus. Les températures à mettre en œuvre sont basses (- 30° C à - 40° C).

**Remarque:** La surgélation est la congélation rapide qui permet d'amener les produits (conditionnés «prêts à l'emploi») à une température voisine de - 20° C (ex.: poissons surgelés avec une température de - 18° C «à coeur»).

### **b) Rappel de l'action du froid**

**Au-dessous de 15° C, les phénomènes vitaux ralentissent. Il y a diminution de l'activité**

**diastatique, ralentissement de l'activité respiratoire (produits végétaux). Le froid permet donc de conserver les réserves contenues dans le produits (ex.: céréales).**

**Le froid permet donc d'augmenter le temps de stockage.**

**Le froid détruit les animaux déprédateurs et ralentit le développement des micro-organismes. Il est à noter que contrairement à la chaleur, le froid ne détruit pas les micro-organismes qui peuvent alors proliférer dès que les conditions redeviennent normales.**

### **Exemples:**

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| Conservation des semences | : 5° à 10° C                   |
| des oignons               | : 0° C, 65 % à 70 % H. R.      |
| des pommes de terre       | : 2° à 7° C, 85 % à 90 % H. R. |

### **5.6.2. Production du froid**

**Produire du froid consiste en fait à ôter de la chaleur au milieu que l'on cherche à refroidir. L'unité utilisée est la frigorie qui équivaut à l'absorption d'une kilocalorie ou millithermie.**

### **a) Méthode de production de froid**

**Du fait de sa simplicité, une méthode discontinue telle que la fusion de la glace est couramment utilisée, à petite échelle, pour la conservation et au cours de la commercialisation des denrées périssables.**

**Cependant la plupart des techniques de production du froid utilisent le principe de la vaporisation d'un liquide appelé «frigorigène».**

### **b) Machines de production du froid**

**Les machines généralement employées utilisent le principe de la vaporisation d'un frigorigène dans un circuit fermé. Une installation frigorifique peut être schématisée de la façon suivante:**

#### **[Fig. 113: Schéma d'un système production de froid en circuit fermé.](#)**

**Le frigorigène se vaporise au niveau de l'évaporateur E1. Cette vaporisation consommant de la chaleur, c'est donc à ce niveau qu'il y a production de froid. Les vapeurs sont soutirées de l'évaporateur au moyen d'une «machine» M qui les envoie ensuite, en pression, au niveau d'un autre échangeur E2 où elles vont se condenser. C'est à ce niveau que la chaleur emmagasinée est rejetée à l'extérieur du système. L'échangeur E2**

**est appelé condenseur. Le frigorigène, alors liquéfié, retourne à l'évaporateur après avoir traversé un détendeur qui régularise le débit.**

**L'énergie nécessaire au fonctionnement du système est fournie au niveau de la machine M.**

**On distingue différents types de machines:**

- **les machines à compression,**
- **les machines à absorption,**
- **les machines à éjection (rares).**

**- *Les machines à compression***

**Ce sont les machines les plus répandues. L'énergie est fournie au système par compression mécanique. Les compresseurs les plus utilisés sont les compresseurs volumétriques à pistons. Cependant en régions chaudes l'échauffement du frigorigène (notamment de l'ammoniac) est tel qu'il est nécessaire de prévoir un refroidissement conséquent des compresseurs (refroidissement à l'eau par exemple) ou de limiter les vitesses de rotations des groupes.**

**Il existe également des compresseurs volumétriques à palettes ou à vis, et enfin des**

**compresseurs centrifuges (turbocompresseurs) qui permettent des débits importants de fluide frigorigène mais qui ne sont pas utilisés pour les magasins réfrigérés.**

**[Fig. 114: Machine frigorifique à compression.](#)**

## **Frigorigènes**

**Les fluides frigorigènes généralement utilisés sont l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) ou des dérivés halogénés d'hydrocarbures: fréon 12 et fréon 22, appelés couramment R 12, R 22 (R 502 et R 13). Leur choix s'effectue en fonction de nombreux critères**

- critères thermodynamiques,**
- critères de sécurité (toxicité - action sur les denrées - inflammabilité),**
- critères physico-chimiques (action sur métaux, plastiques, huiles de graissage...),**
- critères économiques (prix - disponibilité).**

**Notons que le moins cher est l'ammoniac et que R 12, R 22 et ammoniac sont souvent disponibles au niveau des grandes villes; le R 12 est souvent utilisé au niveau des installations de petites et moyennes puissances.**

***- Les machines à absorption***

**Dans ce cas l'énergie est fournie au système sous forme calorifique et le frigorigène qui évolue dans le circuit est un mélange fluide frigorigène et solvant.**

**Dans un absorbeur, une solution pauvre en fluide frigorigène et refroidie s'enrichit en absorbant les vapeurs sortant de l'évaporateur.**

**Dans un bouilleur, la solution riche obtenue précédemment est réchauffée (c'est à ce niveau que l'on fournit de l'énergie au système) ce qui permet un dégazage. Les vapeurs obtenues vont aller se liquéfier au niveau du condenseur et suivre le cycle normal déjà vu.**

**[Fig. 115: Schéma d'une machine frigorifique à absorption.](#)**

**Couple frigorigène-absorbant (solvant).**

**Essentiellement ammoniac-eau (solvant) pour les basses températures, et eau (frigorigène)-solution bromure de lithium pour les installations à froid positif.**

**Les machines à absorption sont plus complexes (régulation) que les machines à compression. Elles sont également plus coûteuses et plus exigeantes en énergie (souvent 4 à 6 fois plus).**

**Cependant, généralement utilisées pour les petites puissances, ces machines nécessitent essentiellement l'apport d'énergie calorifique. Cela peut être intéressant en régions chaudes où l'on peut envisager d'utiliser l'énergie solaire comme source de chaleur. Il faut cependant rappeler que la source chaude doit permettre d'atteindre des températures élevées (plus de 100° C); ceci nécessitera d'autre part des systèmes d'évacuation thermique puissants.**

**Nous ne développerons pas les différents types d'évaporateurs et condenseurs à air ou à eau. Le lecteur peut se reporter à l'ouvrage «Les Techniques du froid dans les pays chauds en développement» (I.T.F. -Paris),**

### ***c) Distribution du froid***

**Les installations à refroidissement indirect où le froid est produit en dehors des enceintes à refroidir ne sont généralement pas retenues dans les pays en développement. On préfère les installations à refroidissement direct où le froid est produit au niveau d'un évaporateur placé dans l'enceinte à refroidir (voir schémas précédents).**

### **5.6.3. Enceintes de conservation du froid**

#### ***a) Conception des entrepôts frigorifiques***

## **- *Implantation***

**Comme pour les magasins classiques de stockage, on doit tenir compte des différents critères:**

- **desserte par les voies de communication,**
- **nature du sol (portant, non inondable...),**
- **alimentation en eau et électricité,**
- **proximité des zones de production ou d'expédition,**
- **etc.**

## **- *Conception***

**Aujourd'hui les entrepôts frigorifiques sont construits à un seul niveau ce qui permet de simplifier les manutentions, d'alléger les charpentes et les fondations, ou d'augmenter les dimensions horizontales des bâtiments et généralement de diminuer le coût des constructions. La recherche d'une forme cubique (rapport surface/volume faible) n'est plus un facteur prédominant.**

## **- *Orienté***

**On conçoit aisément que l'on doive chercher à éviter l'échauffement des bâtiments:**

- **en évitant une insolation directe: par une bonne orientation (est-ouest), et des auvents suffisants,**
- **en appliquant un revêtement (peinture) de couleur blanche.**

### **- Sol**

**Il peut être constitué: d'une dalle de béton armé reposant sur un sol en place ou rapporté (pierres) compacté.**

**Cette dalle reçoit l'isolation qui est recouverte d'une dalle de roulement non glissante.**

**On considère des charges au sol de l'ordre de 5 000 à 7 500 kg/m<sup>2</sup>.**

**Enfin pour les chambres à température négative (congélation), il est essentiel d'éviter une congélation de l'eau contenue dans le sol naturel au contact direct des chambres froides. On peut, par exemple, prévoir une construction surélevée ménageant un vide sanitaire.**

### **- Ossature**

**Elle peut être réalisée en béton armé ou en éléments métalliques. Les charpentes métalliques permettent des portées importantes. L'ossature peut être intérieure ou**

**extérieure au bâtiment. (Fig. 116).**

**- *Isolation***

**La construction a pour rôle essentiel de conserver le froid produit par la machine frigorifique. Il faut donc qu'elle soit correctement isolée pour éviter les pertes de frigories (ou l'entrée de calories).**

**• Construction classique**

**Une isolation traditionnelle est généralement constituée de la façon suivante:**

- bardage externe en tôle d'aluminium, d'acier, d'amianteciment,**
- un écran antivapeur qui empêche l'entrée d'humidité externe émulsions de bitume (2-3 kg/m<sup>2</sup>) ou feuilles pare-vapeur (polyéthylène, feutres bitumineux...),**
- isolant constitué généralement de deux couches croisées. L'isolation doit être continue pour éviter les ponts thermiques,**
- le revêtement interne, qui protège l'isolant.**

## **Fig. 116: Construction à isolation intégrée et charpente extérieure.**

**Les calculs d'épaisseur d'isolant sont le fait de spécialistes, on recommande de limiter le flux de chaleur pénétrant par les parois à 10 kcal/h/m<sup>2</sup> pour les magasins réfrigérés (6 à 7 kcal/h/m<sup>2</sup> dans l'avenir?).**

- **Les isolants**

**Il existe de nombreux isolants qui diffèrent par leurs caractéristiques physiques (masse volumique, conductivité thermique, dilatation, résistance à la compression, etc.):**

- \* **le liège expansé est souvent utilisé pour l'isolation des sols grâce à sa bonne résistance à la compression (4 à 7 kg/cm<sup>2</sup>),**
- \* **les produits d'origine synthétique: polystyrène expansé ou**
- \* **extrudé, mousse de polyuréthane, chlorure de polyvinyle...**

**On utilise également la laine de verre.**

**Les coefficients de conductivité thermique de ces matériaux sont de l'ordre de 0,020 à 0,045 kcal/h/m<sup>2</sup> x °C.**

**Fig. 117: Coupe entrepôt frigorifique en cellules métalliques étanches. (Doc. ISOMÉTAL-BOUTARD.)**

**Remarques: Les cellules étanches métalliques (Fig. 117).**

**Une société spécialisée dans la construction de cellules métalliques étanches propose une technique intéressante de construction d'entrepôts frigorifiques de grandes dimensions. Les éléments préfabriqués métalliques sont assemblés par soudure et constituent des enceintes étanches. Les parois sont isolées intérieurement par deux couches de laine de verre recouverte d'un bardage intérieur en acier galvanisé ou en aluminium.**

- **Les panneaux «sandwich»**

**Une technique qui s'est récemment développée et qui aujourd'hui est largement employée, consiste à utiliser des panneaux «sandwich» autoportants.**

**Ces panneaux sont fabriqués en usine et constituent des éléments de paroi complète. Leurs dimensions variées et leurs systèmes de liaisons rapides permettent de nombreuses combinaisons d'assemblages et un montage rapide.**

**Les panneaux de sol (différents des parois et plafonds) ont une surface non glissante et**

**présentent une bonne résistance à la compression (1 à 2 t/m<sup>2</sup>). Ils sont largement utilisés pour la construction des chambres froides.**

**[Fig. 118: Chambre froide en panneaux «sandwich». \(Doc. DAGARD.\)](#)**

#### **5.6.4. Niveau de puissance installée nécessaire**

**La puissance calorifique est déterminée à partir d'un bilan où des facteurs tels que le climat, la nature du produit, la nature de l'enceinte, interviennent.**

**Le bilan comporte un passif qui correspond aux besoins en froid évalués le plus souvent sur une journée**

- refroidissement des produits,**
- chaleur dégagée par les denrées,**
- déperditions par les parois,**
- équivalent thermique des pompes et ventilateurs,**
- pertes diverses (ouvertures des portes, rayonnement convection des appareils, etc.),**

**et un actif qui correspond à la puissance frigorifique multipliée par le nombre d'heures de fonctionnement (entre 14 et 20 h).**

**La conservation des produits végétaux (par exemple semences de céréales, d'arachides.... fruits et légumes...) s'effectue à des températures positives, donc d'une part, les bâtiments seront d'un investissement moins élevé:**

- pas de risque de congélation du sol donc pas de nécessité de vide sanitaire ou de réchauffage du sol,
- isolation moins importante (le flux de chaleur est directement proportionnel à la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur),

**et d'autre part, les puissances à mettre en œuvre sont moins importantes que pour des installations de congélation ou de réfrigération de produits animaux (viandes, poissons...).**

**En réfrigération de viande, le produit est abaissé de 38° C à 5-6° C en 24 h; les puissances installées sont de 80 à 100 fg/h/m<sup>3</sup> de chambre. En tunede réfrigération, c'est en 10 h que le produit est abaissé de 38° C à 5-6° C, les puissances installées sont alors de 100 à 150 fg/h/m<sup>3</sup> avec un débit d'air de 150 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> tandis qu'en tunnel de congélation (produit à -35° C en 24 h) la puissance installée est de 450 fg/h/m<sup>3</sup> (débit d'air 450 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>).**

**Pour la conservation des végétaux en magasins réfrigérés nous sommes loin de ces fortes**

**valeurs. Les puissances installées ne sont que d'environ 20 à 30 fg/h/m<sup>3</sup>.**

**Un exemple (d'après la revue Oléagineux - IRHO - Mars 1978):**

**- Les magasins réfrigérés pour la conservation de semences d'arachides au Sénégal.**

**Le Service semencier dispose à Louga de magasins réfrigérés constitués d'une chambre de 200 t (602 m<sup>3</sup>) pour une réserve de sécurité stockée d'environ 20 mois, à température  $\theta$  : 0° à 2° C, H. R.: 60-70 % et d'une chambre de 500 t (1 468 m<sup>3</sup>) pour un stockage plus court de 7 à 8 mois (récolte - semis) à température  $\theta$  de 4° C-6° C et H. R.: 60-70 %.**

**L'isolation est assurée par des parois en béton Vermex et deux couches de 5 cm de polyuréthane.**

**[Fig. 119: Plan de l'unité de stockage.](#)**

**La puissance horaire des installations est:**

- pour la petite chambre (602 m<sup>3</sup>) de: 14 946 frigories, elle est assurée par deux groupes de 9 900 fg/h entraînés chacun par un moteur électrique de 6 ch.;**
- pour la grande chambre (1 468 m<sup>3</sup>) de: 31468 frigories, assurée par deux**

**groupes de 18 000 fg/h entraînés chacun par un moteur électrique de 12 ch.**

**L'installation est équipée d'appareils de contrôle: thermosonde, thermostat, hygostat, thermohygromètre, et d'un groupe électrogène de secours de 75 kVA.**

**Pour les 11 premiers mois de fonctionnement la consommation d'énergie pour l'ensemble des deux chambres a été d'environ 360 kWh/j.**

---

[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 VI - Stockage en vrac

[6.1. Différents types de cellules](#)

[6.2. Ventilation](#)

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

#### **6.4. Sécurité dans les silos**

#### **6.5. Autres techniques de conservation - le stockage hermétique**

**Le stockage en vrac est encore peu répandu dans les pays en développement alors qu'il est généralisé dans les pays développés. Chacune des techniques présente des avantages et des inconvénients qu'il convient d'apprécier en fonction du contexte particulier à chaque installation.**

**L'emploi des sacs est très répandu en raison de la parcellisation de la production, de l'absence de moyens de transport spécialisés, de la possibilité de disposer d'une main-d'œuvre abondante pour les manutentions, et enfin de la distribution en sacs aux consommateurs. Cet état de fait n'est pas immuable et présente des inconvénients dont il faut tenir compte avant d'arrêter des choix techniques qui engagent le développement à long terme.**

**- L'évolution des pays en développement semble aller vers une urbanisation croissante donc vers la création de pôles de consommation avec développement probable de la transformation industrielle des denrées (minoteries, rizeries, semouleries, etc.). Les coûts de sacherie et de main-d'œuvre vont croissant dans une telle hypothèse.**

**- Le contrôle de la qualité des produits ensachés est difficile alors qu'il est aisé en vrac. Dans certains pays des taux moyens d'impuretés de 10 % ont été mesurés dans les stocks livrés à l'office de commercialisation. Une telle situation a plusieurs conséquences:**

- **En l'absence de standards de qualité les producteurs peu scrupuleux sont favorisés.**
- **Les industries de transformation préfèrent importer des céréales propres et homogènes plutôt que d'utiliser les céréales locales.**
- **Sans prime à la qualité, aucun projet d'amélioration des techniques de stockage n'est économiquement justifiable.**
- **L'incidence des impuretés sur la conservation est faible en zone sèche mais peut être importante en zone humide en raison de l'hygroscopicité des particules fines plus élevée que celle des grains entiers.**

**- Les modes de production évoluent. Dans les zones les plus productrices en particulier, la mécanisation se développe car elle permet un accroissement des rendements et des surfaces cultivées. Les opérations de récolte, très exigeantes**

**en main-d'œuvre sont un des premiers éléments de la mécanisation. La moins bonne qualité du travail des machines et l'augmentation des tonnages obligent à prévoir des matériels de nettoyage et de séchage ainsi que des centres intermédiaires de stockage à partir desquels une manutention en vrac est envisageable,**

**- Enfin de nombreux pays doivent encore faire appel à l'importation pour satisfaire leurs besoins. Les installations portuaires de déchargement en vrac se développent et à partir d'elles, l'acheminement vers l'intérieur peut être réalisé rapidement en vrac ce qui évite l'engorgement des zones portuaires.**

**En résumé le choix entre vrac et sac doit être fait avec une vision dynamique du développement et en prenant en compte, pour chaque installation, l'ensemble du contexte local car, comme on l'a observé dans les pays développés, le passage du sac au vrac est une mutation progressive, aucune solution globale n'étant applicable à chaque cas particulier.**

## **6.1. Différents types de cellules**

### **[6.1.1. Cellules de petites capacités](#)**

### **[6.1.2. Silos de grandes capacités](#)**

### **6.1.1. Cellules de petites capacités**

**Outre les cellules décrites au chapitre IV, d'autres types peuvent être employés:**

**- *Les cellules grillagées***

**Ce sont des constructions très légères, composées d'une armature en treillis métallique, doublée intérieurement par une toile métallique fine ou par une toile plastique. Les cellules courantes mesurent de 2,5 à 4 m de diamètre et 3 à 6 m de hauteur.**

**Elles ont pour avantages un investissement faible et une grande souplesse d'utilisation, car, facilement démontables, elles peuvent être transportées près des lieux de collecte pendant la période de récolte et être remisées sous un volume réduit lorsqu'elles sont inutilisées.**

**Les armatures peuvent être réalisées à partir de fournitures standard de treillis métalliques (treillis soudé à maille carrée de 10 cm, fil de 4 mm de diamètre, protégé par un enduit antirouille). La hauteur de la cellule correspond à la largeur du rouleau de treillis (généralement 3 in). La couture peut se faire de diverses façons, soit en doublant le treillis sur 3 ou 4 mailles et en ligaturant chaque maille double avec du fil de fer, soit**

**en doublant sur une maille et en pinçant les deux extrémités entre 2 fers plats boulonnés ensemble tous les 20 cm, soit en solidarissant les deux extrémités avec un fer spiralé dont le pas est égal à la maille du grillage.**

**La toile métallique, utilisable pour doubler le treillis, doit avoir une maille d'environ 3 mm pour stocker des céréales. La toile est fixée à l'armature par des ligatures en fil de fer.**

**Lorsqu'on veut doubler le treillis par un film plastique, il faut araser et ébarber toutes les pointes du haut de la cage. Pour éviter que le film ne se déchire, il est conseillé de recouvrir le bord supérieur avec un jonc en caoutchouc. Le film est maintenu en position par simple débordement de 20 à 30 cm à l'extérieur et collage au ruban adhésif.**

**En général, on évite de réaliser l'étanchéité totale du bas de la cellule avec le plastique, car, sous le poids du grain, des déchirures risquent de survenir. Il est préférable de doubler sur 50 cm le bas de la cellule avec de la toile métallique et de laisser libre le bas du film plastique.**

**[Fig. 120: Cellule grillagée. \(Doc. CEMAGREF.\)](#)**

**Il est possible de monter une trappe latérale de visite et de vidanger par vis oblique. Il est important de vidanger par le centre les cellules non ancrées sur le sol pour éviter tout**

## **risque de basculement ou de déformation.**

### **- Les cellules en éléments démontables**

**Il existe toute une gamme de cellules de petite capacité, souvent appelée «Série fermière», qui sont constituées d'éléments préfabriqués en contreplaqué, en bois, en amiante-ciment, en tôles (ondulées ou planes). La caractéristique commune à toutes ces cellules est de pouvoir être montées par l'utilisateur lui-même par simple boulonnage, ou par emboîtement.**

### **[Fig. 121: Cellules simples en panneaux de fibres de bois \(Isorel\) assemblés par boulonnage et cerclage de renforcement.](#)**

**Ces cellules dépassent rarement 4 m de hauteur et doivent être montées sous abri sur un soubassement en béton.**

**Actuellement, les cellules en tôle ondulée sont très couramment utilisées. Compte tenu de l'effort de frottement du grain, il est nécessaire de renforcer la paroi par des armatures verticales pour éviter qu'elle ne se plie «en accordéon».**

### **[Fig. 122: Cellule classique en tôles ondulées boulonnées.](#)**

**Certains constructeurs proposent des cellules métalliques rectangulaires en tôle plane. Ces cellules ont l'avantage de mieux occuper la surface sous abri que les cellules rondes, mais l'inconvénient d'être plus coûteuses.**

**Il existe également des cellules métalliques polygonales à montage par simple emboîtement sans boulonnage.**

**Le bois est également utilisable pour réaliser des cellules de petite ou moyenne capacité. Ces cellules à fond plat sont généralement de forme carrée. Il en existe différents types: cellules à madriers, lames de parquets, panneaux de bois composés, etc.**

**[Fig. 123: Ex: Cellules du type «lames de parquet».](#)**

**Pour la construction il est impératif que le bois soit parfaitement sec. Enfin, on pourra augmenter la résistance des parois en les reliant par des tirants ou fers ronds.**

**Ce type de cellules est cependant difficile à entretenir car les déprédateurs (insectes) peuvent trouver refuge entre les différentes jointures où il sera difficile de les atteindre.**

**Contre ce risque les petites cellules en parpaings recouverts d'un enduit de ciment sont préférables (Fig. 124).**

**Ces petites cellules en parpaings pourront être retenues pour la construction de silo-magasins villageois dans lesquels il est possible par exemple de prévoir plusieurs cellules de tailles variables, 3 à 10 m<sup>3</sup>, avec des hauteurs de 1,50 à 2 m ou plus. Des chaînages en béton armé permettent de consolider la structure.**

Ces cellules pourront être placées sous hangar ou recouvertes d'un toit chacune.

**[Fig. 124: Schéma d'une cellule en parpaings.](#)**

---

**[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](#)**

---

### **6.1.2. Silos de grandes capacités**

**Les plus petits silos dits «de grande capacité» permettent de stocker de l'ordre de 500 t en cellules de 100 t unitaires. Pour les plus grands, il existe aujourd'hui, notamment aux**

**U.S.A., des silos géants tels ceux d'Hutchinson (Kansas) de 490 000 t ou d'Enid (Oklahoma) de 850 000 t.**

### ***6.1.2.1. Silos verticaux***

**Nous distinguons:**

- les silos métalliques légers,**
- les silos hermétiques,**
- les silos en béton armé.**

**Les différents types de construction se rencontrent en zone tropicale; le choix n'est pas purement technique mais toujours le meilleur compromis technico-économique. Jusqu'à présent, la plupart des silos de grande capacité en Afrique ont été construits dans les ports pour stocker des denrées importées à rotation rapide (2 à 3 mois de stockage) ce qui limite fortement les risques en cours de conservation.**

#### **a) SILOS MÉTALLIQUES LÉGERS**

**Les silos métalliques légers sont composés de cellules métalliques en tôles d'acier galvanisé ou d'aluminium planes ou ondulées, boulonnées ou serties, fixées sur un socle en béton étanchéifié (plan ou conique selon le mode de vidange choisi).**

## **Ce type de silo présente les avantages suivants:**

- **montage souvent facile et rapide,**
- **construction légère: le poids de métal rapporté à la tonne logée est de l'ordre de 12 kg, ce qui permet d'implanter un silo sur des sols de mauvaise portance.**

**Les types de construction les plus courants sont**

### ***- Cellules en tôles ondulées boulonnées***

**Ces cellules, bien connues, sont réalisées en tôles d'acier galvanisé (la charge en zinc varie selon les constructeurs: 380 à 450 g/m<sup>2</sup>). Ces tôles cintrées sont boulonnées entre elles et sur les montants verticaux répartis tous les mètres environ. La qualité de la galvanisation à chaud permet d'assurer une grande longévité (non-écaillage garanti pendant 10 ans). Certains constructeurs proposent des variantes avec la face extérieure prélaquée.**

**L'épaisseur des tôles varie de 75/100 à 300/100 selon la charge supportée par la tôle. Les ondulations classiques mesurent 76 x 18 mm. Des ondes plus plates (104 x 12 chez PRIVÉ, 101,6 x 11,1 chez BUTLER) permettent des économies de matériau et facilitent l'écoulement des produits.**

**Les renforts sont réalisés en tôle pliée ou emboutie de 1 à 4 mm d'épaisseur. Emboutis, ils comportent des bossages qui épousent l'ondulation des tôles pour améliorer la liaison tôle-renfort. Ils sont généralement placés à l'extérieur chez les constructeurs européens. Des fabricants américains les placent à l'intérieur. Ils doivent alors être carénés pour éviter les retenues de grain qui sont autant de foyers possibles d'infestation. Parfois les renforts extérieurs facilitent la mise en place éventuelle d'une isolation thermique (double paroi) ou d'une surface de captage des rayons solaires (cellule solaire sècheuse).**

**La liaison entre les tôles est assurée par des boulons à haute résistance (80 kg/mm<sup>2</sup>), galvanisés ou cadmiés, montés avec rondelle d'étanchéité (néoprène) et coupelle métallique sur les 2 faces. L'étanchéité entre les tôles est assurée par la mise en place d'un joint pendant le montage (néoprène, bitume...). Les cellules sont couvertes par un toit autoportant, en acier galvanisé.**

**Elles peuvent recevoir les équipements suivants:**

- **aérateur central de toiture;**
- **passerelle de 1,25 m de largeur pouvant supporter de 240 à 400 daN/m linéaire. (Ces passerelles ne doivent en aucun cas être bardées);**

- **fond perforé pour la ventilation (posé sur parpaings de 20 x 20 x 40 cm). Les équipements pour des débits de renouvellement de  $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  de grains sont classiques;**
- **renforts spéciaux pour l'accrochage de sondes thermométriques (3 sondes verticales avec point de mesure tous les 3 mètres):**
- **systèmes de reprise par vis centrale enterrée (ou placée sous le faux fond) alimentée par gravité puis par vis balayeuse (diamètres inférieurs à 7 m) ou par vis de reprise intégrale au-delà (8 m à 15 m - débit 40 t/heure).**

**[Fig. 125: Schéma du système de reprise intégrale.](#)**

**Dimensions des cellules:**

**Les diamètres des cellules s'échelonnent entre 2 m et 22 m alors que les hauteurs atteignent une vingtaine de mètres.**

**Le montage des cellules s'effectue à l'aide d'un mât central qui soulève le toit puis les viroles à mesure de leur assemblage; 95 % du travail de montage peut ainsi s'effectuer au sol.**

**- Les cellules Lipp**

**Ces cellules font appel à un procédé ingénieux de profilage et de sertissage de la tôle sous forme d'une agrafe double. Les deux opérations sont réalisées sur le site même d'édification des cellules, ce qui permet de n'approvisionner que les bobines de métal (bobines de 2,5 t pour 320 m de tôle de 2 mm ou 160 m de tôle de 4 mm). Au cours du sertissage, la largeur utile de la tôle est réduite de 495 à 360 mm.**

**La vitesse théorique de défilement de la tôle est de 5 mètres par minute. En pratique, compte tenu des temps morts nécessaires pour araser à l'horizontale la première et la dernière virole, pour abouter les bobines de tôle (soudure ou boulonnage), et pour poser les accessoires, il faut prévoir le triple du temps théorique (environ 5 jours pour dresser un silo de 15 m de diamètre et 15 m de hauteur).**

**Le métal employé est la tôle galvanisée qui peut recevoir au besoin des traitements spéciaux pour produits corrosifs ou acides (aluminage, plastification, résines époxy, etc.). Ce procédé permet de réaliser des cellules cylindriques de 5 à 20 m de diamètre et jusqu'à 20 m de hauteur. Le montage n'exige pas d'échafaudage si le toit est mis en place au sol dès la première virole. En pratique, il faut prévoir un camion semi-remorque de 20 t de charge utile équipé d'un bras de levage de 20 t de capacité, pour le transport et la mise en place de la profiteuse et de la sertisseuse.**

**[Fig. 127: Schéma du sertissage par agrafe double.](#)**

***- Cellules type Maryson***

**Ce sont des silos constitués de panneaux de 1 m x 1 m en tôle plane, emboutis en usine. La tôle d'une épaisseur de 15/10 à 25/10 est galvanisée. Les panneaux sont assemblés par boulonnage extérieur (montage en quinconce) et peuvent être garnis de joints étanches.**

**Les cellules qui, par cette technique, présentent des parois intérieures parfaitement lisses, ont des diamètres de 4 à 15 ln et des hauteurs qui peuvent atteindre 20 m.**

**[Fig. 130: Schéma d'un silo type Maryson.](#)**

**LA CONDENSATION DANS LES SILOS MÉTALLIQUES**

**Les silos métalliques légers, plus rapides à construire que les silos classiques en béton armé, auraient la faveur des organismes stockeurs si la crainte du risque de condensations était levée.**

**Ces condensations sont liées aux variations de température lorsque la température extérieure est élevée, la chaleur se transmet à travers la paroi de la cellule à la couche de**

**graines sous-jacente. La température étant plus élevée, l'humidité relative de l'air interstitiel est plus faible et provoque une migration de la vapeur d'eau de l'intérieur vers la périphérie. Lorsque la température extérieure baisse rapidement (écart diurne important), le refroidissement de l'air interstitiel provoque une augmentation de son humidité relative. Il peut alors se produire une condensation, réhumidification des grains, et création d'une zone favorable à la reprise d'activité des grains et des microorganismes, qui se traduit par la détérioration du produit et sa prise en masse («croûtage» sur les parois). Quantitativement cette altération n'intéresse qu'un très faible pourcentage du grain stocké dans la cellule mais elle a plusieurs inconvénients:**

- **nettoyage des parois dans des conditions difficiles d'accessibilité et de température,**
- **risque de corrosion accélérée des tôles,**
- **détérioration qualitative du produit. Le risque de développement de mycotoxines (telle l'aflatoxine) ne doit pas être négligé (même si elles ne sont pas encore prises en compte dans les standards commerciaux), car ces composés sont dangereux pour la santé des consommateurs.**

**Ce phénomène est particulièrement sensible avec les cellules métalliques dont les parois sont peu épaisses et bonnes conductrices de la chaleur. Il faut cependant noter que dans bien des cas, d'autres causes que les condensations peuvent être responsables du**

**«croûtage»:**

- **produit stocké à une humidité trop élevée (cas fréquent dans les petits centres ne possédant pas d'humidimètres),**
- **joints déficients entre les tôles ou au raccordement du toit, laissant s'infiltrer l'eau de pluie,**
- **condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air au-dessus du grain. Il est courant d'observer, surtout pendant les saisons humides, des condensations nocturnes de l'air humide dans les cuves: par exemple il est recommandé de faire le plein de fuel des réservoirs des engins le soir pour éviter l'apparition d'eau dans les circuits d'alimentation en carburant. Il en est de même pour les cellules à grain. Pour éviter le ruissellement sur le grain, il faut étudier des formes de toiture permettant le ruissellement à l'extérieur de la cellule et au besoin prévoir une ventilation des hauts de cellule.**

**Sur ce sujet, le CEEMAT - en collaboration avec la CFDT et l'INRA -a initié un programme d'essais dont les objectifs sont de préciser la dynamique du phénomène et de rechercher les humidités maximum à recommander selon les produits et les zones climatiques sans devoir recourir à l'isolation thermique (coûteuse) ou à la ventilation forcée (source et coût de l'énergie). Le faible impact commercial en Afrique freine le financement de ces**

**études de base. En Asie du Sud-Est l'aide australienne poursuit un programme analogue.**

## **b) SILOS MÉTALLIQUES POLYGONAUX**

**Ces silos sont réalisés à partir d'éléments préfabriqués, soudés ou boulonnés. Chaque élément est constitué d'une tôle d'acier pliée dans le sens horizontal de 2 à 3 mm d'épaisseur, rigidifiée par des flasques latéraux. Les panneaux ont des dimensions variables, la largeur pouvant varier de 2 à 4 m, et la hauteur pouvant atteindre 10 m.**

**Lors du montage, les flasques sont soudés (soudure en montant) avec ceux des panneaux voisins et constituent des poteaux creux qui peuvent être remplis de béton et forment la carcasse verticale des cellules.**

**[Fig. 131: Élément de cellule en tôle pliée renforcée.](#)**

**L'avantage des cellules polygonales est d'utiliser au mieux les parois et de créer entre les cellules principales des petites cellules intercalaires très intéressantes pour stocker des petits lots, lots spéciaux, lots à ensacher, etc.**

**[Fig. 132: Exemple montrant l'économie réalisée avec des cellules octogonales \(d'après REIMBERT\).](#)**

**Le métal employé est un acier au carbone protégé par des revêtements antirouille et de peinture aluminisée. Il est également possible d'utiliser des aciers spéciaux «autopatinables», lesquels, à l'instar de l'aluminium, forment en se corrodant une couche d'oxyde très compacte, qui empêche une progression de l'oxydation en profondeur. Ces aciers aux caractéristiques mécaniques supérieures aux aciers ordinaires ont en outre une très bonne soudabilité.**

**Cette technique de construction de silos en cellules métalliques soudées est très intéressante car elle permet de disposer de structures étanches nécessaires pour les installations de stockage sous gaz inerte (exemple: silos étanches du programme de Silos Polyvalents de Côte d'Ivoire qui représente environ 100 000 t de stockage réparties en silos de 5 000 t et 10 000 t).**

**La construction de tels silos est cependant plus complexe que celle des silos métalliques légers car elle nécessite des moyens de montage plus conséquents et surtout un personnel qualifié pour la réalisation des joints par soudure. La durée d'amortissement appliquée est également plus longue.**

### **c) SILOS EN BÉTON ARMÉ**

**Le béton armé présente des caractéristiques très intéressantes pour la construction d'installations de stockage:**

- **c'est un matériau durable n'exigeant ni revêtement ni entretien, donc pouvant être amorti sur une longue période, Il est particulièrement intéressant pour les silos portuaires où l'atmosphère marine est corrosive;**
- **c'est un matériau qui permet des constructions de grande hauteur.**

**Si avec les cellules métalliques les hauteurs sont couramment limitées à une vingtaine de mètres, on pourra en béton armé atteindre 40 m -50 m pour des cellules de 6 à 10 m de diamètre. Ce développement en hauteur permet de réduire la surface au sol, ce qui est très intéressant notamment en zone portuaire où l'on cherche à rentabiliser au maximum l'emprise des bâtiments;**

- **c'est un matériau local, car la plupart des pays ont maintenant leur cimenterie. Le facteur déterminant reste le prix du ciment qui varie énormément d'un pays à l'autre;**
- **c'est enfin un matériau assurant une assez bonne isolation thermique du produit malgré les faibles épaisseurs mises en œuvre (épaisseur des parois des cellules de 15 à 20 cm).**

**Le béton présente toutefois quelques inconvénients:**

- **il est poreux et permet donc des échanges gazeux avec l'extérieur, ce qui posera des problèmes pour le traitement des stocks par fumigation et ce qui rend son emploi difficile pour la construction de silos hermétiques à moins que l'intérieur des cellules ne reçoive un revêtement spécial d'étanchéification;**
- **il est lourd. Le poids du matériau rapporté à la tonne logée serait de 200 kg/t pour des cellules verticales en béton armé alors qu'il n'est que de 12 kg/t pour les cellules en tôles ondulées et de 25 kg/t pour des cellules en acier autopatinable. Il ne pourra donc être mis en œuvre que sur des sols ayant une bonne résistance à la pression. Sur des sols peu portants il exigera des fondations importantes (battage de pieux...) qui peuvent fortement grever le coût de la construction.**
- **enfin il doit être mis en œuvre par des personnes qualifiées et des entreprises parfaitement équipées.**

## **TECHNIQUE DE CONSTRUCTION**

**Pour les silos verticaux en béton armé, la technique de construction, aujourd'hui largement utilisée, est celle du coffrage glissant.**

**Le coffrage, constitué de deux cylindres concentriques, est levé en continu par des vérins**

**prenant appui sur des barres d'acier noyées dans le béton. La vitesse d'avancement est d'environ 20 cm/h.**

**Le coulage doit être continu et le béton de qualité homogène. Cette technique nécessitant un matériel important ne peut être mise en œuvre que par des entreprises très spécialisées.**

**Les problèmes qui ont pu apparaître au niveau de ces silos en béton armé ont souvent été dus à un mauvais enrobage des fers ou également à des fissures ou microfissures au niveau des barres de levage du coffrage glissant (où l'épaisseur de béton est plus faible). Ces fissures peuvent permettre des rentrées d'eau et être à l'origine de collages de produits sur les parois.**

**[Fig. 134: Schéma de la paroi d'une cellule en béton armé.](#)**

#### **d) EFFORTS SUR LES PAROIS DANS LES SILOS VERTICAUX**

**Il peut arriver que l'on observe sur les silos métalliques des déformations de parois. Ces déformations pouvant aller dans certains cas jusqu'à la rupture des cellules (cellule de béton armé éventrée par exemple). Tous ces accidents sont dus aux surpressions qui apparaissent dans la masse de grains au moment de la vidange.**

## **- *Pression des grains au repos***

**Contrairement aux liquides exerçant sur les parois des pressions hydrostatiques horizontales, la matière pulvérulente, et notamment les grains, exerce une poussée oblique par rapport à la paroi du fait des frottements de la matière sur celle-ci. Cette pression peut être décomposée en une pression normale (ou «poussée latérale»), et une pression tangentielle ou pression verticale.**

### **Figure**

**Ces pressions verticale et horizontale sont liées aux paramètres suivants:**

- **poids spécifique de la matière,**
- **frottement (des grains entre eux et sur la paroi),**
- **hauteur de la masse de grains,**
- **dimensions de la cellule (diamètre pour cellule circulaire).**

**Les frottements ont une telle importance que les pressions tendent vers une limite à mesure que la profondeur augmente. La courbe de poussée n'est plus une droite mais une parabole. Il en est de même pour la courbe des pressions verticales.**

### **Fig. 136: Représentation schématique de la poussée sur les parois.**

**- Vidange**

**Ne considérer pour le calcul des cellules que les pressions engendrées par du grain au repos risque de conduire à de sérieux déboires. En effet la vidange des cellules par une ouverture même très faible de la trappe de vidange provoque la mise en mouvement de l'ensemble de la masse et rompt l'équilibre de celle-ci. Cet écoulement de masse engendre des surpressions importantes, notamment entre la moitié et le tiers inférieur de la cellule.**

**Fig. 137: Vidange de produits granuleux.**

- **Une vidange et un remplissage simultanés accentuent encore cette déformation de la courbe des pressions. C'est donc en fonction du maximum de ces courbes, que les structures devront être calculées.**
- **Une technique permet d'éviter la mise en mouvement de la masse entière de la cellule à l'origine de ces surpressions. Elle consiste à placer au-dessus de l'orifice de vidange un tube vertical percé de nombreux orifices. La vidange du grain s'effectue alors par couches successives, la masse de produit reste immobile et seule la couche supérieure glisse dans le tube de vidange (procédé du tube antidynamique Reimbert).**

**Dans le cas d'une cellule à vidange latérale, les poussées sont dissymétriques et les pressions sont importantes sur le côté opposé à la vidange ce qui tend à ovaliser les cellules cylindriques. Pour annuler les effets néfastes de la dissymétrie, il sera parfois possible de placer dans la cellule un tube de centrage qui ramène la cellule à une vidange de type axial, cellule qui pourra également être équipée d'un tube antidynamique.**

**Un important programme d'essais est en cours en France pour quantifier avec précision ces phénomènes selon le type de cellule.**

**[Fig. 138: Tube antidynamique Reimbert.](#)**

**[Fig. 139: Vidange excentrée.](#)**

### ***6.1.2.2. Silos horizontaux***

**Les silos horizontaux sont constitués par des grandes cellules ou cases de faible hauteur par rapport aux autres dimensions, par exemple: hauteur: 6 m - largeur: 7 à 10 m - longueur: 13 à 15 m. Le fond de ces cases est généralement plat.**

**[Fig. 140: Schéma d'un silo métallique à fond plat.](#)**

**Ces cases peuvent être construites en métal avec des panneaux de tôle pliée tels que nous les avons vus pour les silos verticaux, mais également en béton.**

### ***Béton armé traditionnel***

**Pour les cases de hauteur relativement faible, le coffrage ne pose pas de problèmes particuliers. Aujourd'hui certaines entreprises sont capables de mettre en œuvre des coffrages de plusieurs mètres de hauteur et de grande largeur permettant l'édification rapide de grandes surfaces de parois.**

### ***Béton armé préfabriqué***

**Des cornières à deux branches sont préfabriquées au sol puis assemblées pour former les parois des silos. Ces cornières sont reliées par des poteaux en béton armé. Les cellules ont un aspect qui rappelle les cellules en tôle pliée.**

**D'autres méthodes consisteront à assembler des éléments préfabriqués en béton armé en forme de cornières (verticales) ou de demidouve.**

**Ces éléments d'une longueur correspondant à la hauteur de la cellule sont préfabriqués au sol puis assemblés verticalement. Cette technique nécessite également des moyens de levage importants pour dresser les éléments préfabriqués.**

**Nous n'aborderons pas le calcul des parois des cellules des silos horizontaux, nous pouvons simplement rappeler qu'elles peuvent être calculées comme des murs de soutènement.**

## **VIDANGE DES CELLULES**

**Pour les cellules à fond plat il faudra prévoir un couloir central ou latéral enterré, équipé d'un transporteur horizontal (transporteur à chaîne ou à bande). Le grain pourra s'écouler naturellement par gravité par ces trémies, mais il restera toujours un cône ou talus résiduel.**

**L'élimination de ce cône pourra se faire par un transporteur appelé transracleur qui permet la reprise intégrale. Ce transracleur peut également être utilisé au remplissage pour égaliser le niveau du tas (Fig. 141).**

**L'évacuation de ce cône peut cependant également être réalisée manuellement (petites cellules) ou à l'aide de petits engins: petites chargeuses compactes ou petits boteurs (grandes cellules).**

**La vidange des cellules à fond plat peut également être pneumatique par un système de suceuses (mais exigeant en énergie) ou par un système spécial de ventilation (système LORIN). L'air refoulé dans les gaines est orienté vers les trémies et entraîne le produit**

**vers ces orifices de vidange (Fig. 142).**

**Enfin les installations de stockage en sacs sont parfois utilisées pour du stockage vrac. Lorsque les parois sont trop faibles (ce qui est souvent le cas) pour supporter la pression latérale du produit, il faut prévoir des cloisons faites d'un mur de sacs ou de madriers de bois. Cependant la manutention restera difficile et les traitements insecticides délicats. L'emploi des magasins de sacs pour le stockage en vrac n'est qu'un pis-aller, à moins que le passage du sac au vrac ait été pris en compte lors de leur conception.**

**[Fig. 141: Vidange d'une cellule à fond plat par un transracleur. \(D'après REIMBERT.\)](#)**

**[Fig. 142: Vidange par ventilation. \(Doc. LORIN.\)](#)**

**Remarque: vidange des produits pulvérulents (farine par exemple).**

**Les produits pulvérulents peuvent poser des problèmes de vidange beaucoup plus complexes que les produits granuleux (grains).**

**L'écoulement du produit peut être modifié ou arrêté en raison de phénomènes de:**

- *voûtage* : le produit appuie sur les parois du silo, une voûte se crée qui stoppe l'écoulement;

- *cheminée* : écoulement du produit uniquement au centre de la cellule; le produit bloqué dans les angles et contre les parois pourra également poser des problèmes d'éboulements brusques avec risque de rupture des structures;
- *fusage* : l'écoulement du produit n'est plus maîtrisé, il «inonde» le circuit aval (généralement avec des produits légers);
- *prises en masse*
- *ségrégation* entre des particules fines au centre et des particules plus grosses qui se retrouvent sur les bords;
- *etc.*

**Pour favoriser l'écoulement, il faut que la pente des parties coniques des silos soit plus importante que pour les grains.**

**On peut retenir les valeurs suivantes:**

| Produit  | Remarque   | Angle du talus d'éboulement | Pentes pour écoulement (fond conique par ex.) |
|--|--|-----------------------------|---|
| - grains, granulés, sel, sucre cristallisé, boulettes de | généralement peu de problèmes de vidange dans des conditions | inférieur à 35°             | 45° à 60°                                     |

|  |  |                                |                         |
|--|--|--------------------------------|-------------------------|
| polyéthylène   | normales d'humidité et de température                                    |                                |                         |
| - farine, amidon, sucre, semoule   | produit à faible granulométrie 50 $\mu$ à 150 $\mu$ écoulement paresseux | $35^\circ < \alpha < 50^\circ$ | supérieure à $60^\circ$ |
| - produits adhésifs, pigments  | granulométrie inférieure à 50 $\mu$ risque de formation de cheminée      | variable                       | supérieure à $70^\circ$ |
| - produits fluides<br>chaux - ciment, sucre<br>glace, scorie<br>potassique |  |                                |                         |

**Enfin, les produits les plus difficiles sont les produits fibreux ou en flocons de faible densité qui ont tendance à s'enchevêtrer (copeaux de bois, fibre d'amiante...) et qui ne tolèrent pas le moindre angle.**

**Pour l'extraction des produits difficiles, il existe de nombreux procédés. Nous rappellerons simplement que l'on distingue:**

**\* les extracteurs pneumatiques:**

- coussins gonflables,
- canon à air comprimé,
- fluidisation locale du produit.

**\* les extracteurs mécaniques:**

• différents extracteurs à vis:

- vis multiples,
- vis à mouvement planétaire avec moteur central (exemple: vis à pas variable PARCEY),

- extracteurs à bandes, à chaînes... extraction par couches épaisses (20 cm) à vitesse lente 15 cm/mn.

**\* extracteurs vibrants:**

- mise en vibration des parois du silo mais risque d'altération des structures;
- trémies placées sous fond conique mises en vibration;
- fond vibrant: fond conique, indépendant de la cellule, mis en vibration.

---

[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](#)

---

## 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](#)

### **6.2.1. Principe - différents types**

**Nous connaissons l'importance du facteur température dans les processus de dégradation des denrées stockées. Pour chaque produit, des courbes peuvent être établies en laboratoire qui donnent le délai maximum de conservation en fonction de l'humidité des grains et de leur température.**

**Dans l'exemple donné ci-dessous - Fig. 143 - des céréales à 18,5 % d'humidité peuvent être conservées 100 jours si elles sont à 5° C. Ces mêmes céréales à 25° C ne peuvent être conservées que 5 jours.**

**Pour agir sur le facteur température nous pourrons utiliser la ventilation dont les objectifs sont:**

- prioritairement refroidir le grain,**
- éviter l'échauffement des grains en évacuant au fur et à mesure la chaleur dégagée par leur métabolisme,**
- maintenir le grain humide sans altération avant son séchage; cette ventilation peut permettre une légère dessiccation.**

**Enfin nous pouvons rappeler l'utilisation de la ventilation dans la technique dite de refroidissement lent différé.**

**[Fig. 143: Durée de stockage des céréales. \(D'après Agena, Bewer et Kosmina.\)](#)**

**La ventilation consiste à faire traverser le produit par de l'air ayant certaines caractéristiques de température et d'humidité. Ceci est rendu possible parce qu'une masse de grains est un matériau poreux dans lequel jusqu'à 40 % du volume peut être occupé par des «vides» entre les grains.**

**L'air est forcé dans le grain au moyen d'un ventilateur et de gaines de répartition. Le choix du ventilateur est fonction du débit d'air souhaité et des pertes de charges dans le circuit.**

#### ***6.2.1.1. Ventilation de refroidissement***

**Développée dans les zones où les conditions atmosphériques sont favorables à l'utilisation directe de l'air ambiant.**

**Actuellement, la mécanisation poussée de la récolte des céréales dans certains pays provoque un apport massif de produit humide dans les centres de stockage.**

**L'équipement de séchage ne pouvant traiter immédiatement toute la collecte, il est fait**

**appel au refroidissement pour stabiliser momentanément des denrées humides éminemment périssables (un maïs à 27 % d'humidité ne se conserve que 5 jours à 20° C).**

## ÉQUILIBRE ENTRE L'AIR ET LE GRAIN

**L'air froid envoyé dans la masse à refroidir va se mettre en équilibre avec le grain.**

Soit du grain dont les caractéristiques sont:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{température } \theta_g \\ \text{humidité } H_g \end{array} \right.$

et de l'air à  $\left\{ \begin{array}{l} \theta_a \\ H_a \end{array} \right.$

**L'humidité relative de l'air va se mettre en équilibre avec l'humidité du grain (courbe d'équilibre air-grain), ce qui se traduit par:**

- un refroidissement supplémentaire de l'air si son humidité relative est inférieure à l'humidité d'équilibre (léger effet de séchage du grain);

**[Fig. 144: Courbe d'équilibre AIR-MAÏS - \(CEMAGREF\).](#)**

**- un réchauffement de l'air si son humidité relative est supérieure à l'humidité d'équilibre (léger effet de réhumidification du grain).**

**Prenons un exemple:**

**Soit du maïs à 20 % d'humidité et à 25° C refroidi avec de l'air à 14° C et 50 % d'humidité relative.**

**D'après les indications de la courbe air-maïs-grain (Fig. 144), l'humidité relative d'équilibre de l'air est de 90 %.**

**Sur le diagramme de l'air humide, repérons le point figuratif de l'air (14° C, 50 %). L'humidification de l'air est une transformation isenthalpique, le point figuratif se déplace donc sur l'isenthalpe jusqu'à l'intersection avec la courbe 90 %. L'isotherme passant par ce nouveau point figuratif indique la température de l'air: 10° C.**

**Lorsque le refroidissement sera achevé, la température du grain sera donc de 10° C (et non pas de 14° C).**

**Selon que l'humidité relative de l'air sera inférieure ou supérieure à l'humidité d'équilibre avec le grain, la température de refroidissement sera inférieure ou supérieure à la température de l'air à l'entrée.**

**Dans une cellule en cours de refroidissement, on peut distinguer schématiquement trois zones (Fig. 145).**

**Dans la zone I, l'air entrant dans le grain se met en équilibre d'humidité avec le grain refroidi à la température isenthalpique  $\theta_e$  (10° C dans l'exemple précédent).**

**Dans la zone II, dite «zone d'échange» ou «échangeur», l'air refroidit le grain en passant de la température  $\theta_e$  à la température du grain  $\theta_g$ . Son humidité relative reste constante (en équilibre avec l'humidité du grain); c'est dire qu'en valeur réelle, l'air se charge en eau et provoque un léger séchage du grain.**

**Dans la zone III, l'air va traverser le grain sans provoquer de transformation, car air et grain sont en état d'équilibre. En fait, dans cette zone, le grain non refroidi et humide commence à se dégrader, ce qui se traduit par une élévation de la température. Pour empêcher cette dégradation qui va provoquer une perte de matière sèche, le développement des moisissures, des prises en masse, voire même la germination du grain, il est important que cette dernière zone soit refroidie dans un délai court. C'est ce délai qui, dans le calcul, déterminera le choix du débit d'air.**

**Remarque importante**

**Lorsque l'ambiance à la sortie de l'air est à une température plus basse que la température du grain (ce qui est le cas général lorsque l'air de refroidissement est de l'air ambiant), des condensations risquent de se produire. Au contact de l'air ambiant frais et des superstructures, l'air de sortie, chaud et humide, se refroidit, la vapeur qu'il contient se condense, provoquant des ruissellements sur le toit ou sur les parois. La condensation peut d'ailleurs se produire dans la couche supérieure du grain, plus fraîche que le reste de la masse. L'augmentation d'humidité de cette couche peut accélérer sa dégradation et provoquer sa prise en masse. Ce « bouchon » empêche le passage de l'air et compromet toute l'opération en cours. Il convient donc de prévoir un renouvellement d'air au-dessus des cellules pour évacuer l'air de ventilation.**

**[Fig. 145: Refroidissement d'un lot de grains.](#)**

**CALCUL DE LA QUANTITÉ D'AIR NÉCESSAIRE AU REFROIDISSEMENT**

**L'évolution de la température du grain peut être représentée par une courbe de la forme de celle indiquée à la figure 146.**

**De A à B, la couche supérieure du grain n'est pas atteinte par la zone d'échange et s'échauffe par dégradation de  $\theta_g$  à  $\theta_m$ . Au bout du temps  $T_1$ , l'échangeur atteint la couche supérieure du grain et le refroidissement commence, pour s'achever en D.**

**Fig. 146: Évolution de la température dans un lot de grains en cours de refroidissement.**

Le calcul de la quantité totale d'air nécessaire au refroidissement est complexe et l'on se limite en fait le plus souvent au calcul du temps nécessaire à l'échangeur pour atteindre la couche supérieure du grain. Dans ce cas, en effet, les données sont simples:

- la masse  $M_g$  du grain passe de la température  $\theta_g$  à la température  $\theta_e$ . Elle cède donc à l'air une quantité de chaleur.

$$Q_g = M_g C_g (\theta_g - \theta_e)$$

$C_g$  (chaleur spécifique du grain) varie selon l'humidité du grain et peut être calculée pour chaque variété de grain, Ainsi pour du maïs

$$C_g = 0,350 + 0,0085 \times H \% \text{ kcal/}^\circ\text{C/kg}$$

- la masse  $M_a$  d'air qui traverse le grain passe de la température  $\theta_e$  à la température  $\theta_g$ . Elle absorbe une quantité de chaleur:

$$Q_a = M_a C_a (\theta_g - \theta_e)$$

$C_a$  est l'enthalpie par degré de l'air  $\left( \frac{\Delta\theta}{\Delta_1} \right)$  analogue à une chaleur spécifique.

L'enthalpie de l'air est donnée sur le diagramme de l'air humide.

En première approximation, nous pouvons écrire:

$$Q_g = Q_a (\rho) M_g C_g (\theta_g - \theta_e) = M_a C_a (\theta_g - \theta_e)$$

d'où l'on déduit  $M_a = M_g \cdot \frac{C_g}{C_a}$

Il est important de remarquer que les termes  $(\theta_g - \theta_e)$  s'éliminent dans la relation ci-dessus, ce qui signifie que la quantité d'air nécessaire pour refroidir une masse de grains est indépendante de la température. Par contre la valeur du refroidissement reste liée à la température de l'air insufflé.

Connaissant la masse d'air nécessaire pour que le front de refroidissement atteigne la couche supérieure du grain, il est aisé d'en déduire le débit-masse d'air nécessaire, en tenant compte du délai maximum admissible avant que les dégradations n'apparaissent.

**Exemple numérique:**

Reprenons notre exemple de refroidissement de maïs  $\left\{ \begin{array}{l} H_g 20\% \\ \theta_g 25^\circ \text{C} \end{array} \right.$

par de l'air  $\left\{ \begin{array}{l} H_a 50\% \\ \theta_a 14^\circ \text{C} \end{array} \right.$

L'équilibre se situera à : maïs  $\left\{ \begin{array}{l} H_g 20\% \\ \theta_e 10^\circ \text{C} \end{array} \right.$  air  $\left\{ \begin{array}{l} H_a 90\% \\ \theta_e 10^\circ \text{C} \end{array} \right.$

Soit 3 000 kg de maïs à refroidir; quel est le débit d'air nécessaire?

$$M_a = M_g \cdot \frac{C_g}{C_a}$$

$C_g$  (chaleur spécifique du maïs):

$$0,350 + 0,0085 \times 20 = 0,520 \text{ kcal}/^\circ\text{C}/\text{kg grain}$$

**$C_a$  (enthalpie de l'air par °C).**

- enthalpie de l'air à l'entrée

$$14^\circ \text{ C} - 50 \% \text{ (ou } 10^\circ \text{ C} - 90 \%) = 6,38 \text{ kcal/kg d'air}$$

- enthalpie de l'air à la sortie:

$$25^\circ \text{ C} - 90 \% = 16,95 \text{ kcal/kg d'air}$$

$$C_a = \frac{\Delta i}{\Delta \theta} = \frac{16,95 - 6,38}{25 - 10} = 0,705 \text{ kcal/}^\circ\text{C/kg d'air}$$

**d'où:**

$$M_a = 3000 \times \frac{0,520}{0,705} = 2213 \text{ kg d'air}$$

**Dans la pratique courante, les débits d'air sont exprimés en mètres cubes et les quantités de produit en mètres cubes également. La conversion des masses en volumes est immédiate lorsque les poids volumiques sont connus.**

**En général, on retiendra pour l'air: 1,2 kg/m<sup>3</sup>.**

**(Pour le produit, se référer aux fiches en annexe 1).**

**Dans le cas présent, le poids spécifique du maïs sous faible épaisseur est de 750 kg/m<sup>3</sup>.**

Volume de produit :  $3000/750 = 4 \text{ m}^3$

Volume d'air :  $2213/1,2 = 1844$   
 $\text{m}^3$

**Dose à appliquer pour refroidir 1 m<sup>3</sup> de grain:**

$$1844/4 = 461 \text{ m}^3 \text{ d'air.}$$

**Si le délai maximum admissible pour atteindre la couche supérieure est de 20 heures (temps T<sub>1</sub> sur le graphique), le débit spécifique d'air à fournir sera de  $461/20 = 23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  de grain, soit un débit global de  $92 \text{ m}^3/\text{h}$  pour  $4 \text{ m}^3$ .**

**Comme le lecteur l'aura constaté, ce calcul ne permet pas de déterminer la quantité totale d'air nécessaire pour que tout le grain soit refroidi, mais seulement le débit d'air minimum pour que l'opération s'effectue sans risques.**

**Dans la pratique on constate qu'il faut une quantité d'air deux à trois fois supérieure à celle qui vient d'être calculée pour amener toute la masse à la température d'équilibre, soit de:**

**800 à 1 500 m<sup>3</sup> d'air par mètre cube de grain**

**Il conviendra donc en respectant le débit calculé de ventiler pendant une durée au moins égale à deux fois le délai maximum admissible.**

**Dans la pratique les débits spécifiques pourront être donnés par:**

$$n = \frac{1200 \text{ à } 1800}{T \text{ heures}}$$

**T étant le temps de refroidissement en heures.**

**Par exemple pour des maïs, ces débits pourront varier de 10 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> à 30 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> pour des maïs ayant respectivement une humidité de 15 % et 20 %.**

**Dans le cas de refroidissement lent différé ou dryération, ces débits seront de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup> à 60 m<sup>3</sup>/h/m<sup>3</sup>.**

**Remarque importante:**

**Nous avons parlé de l'effet de séchage provoqué par le refroidissement. Il convient d'apprécier à sa juste valeur l'importance de ce séchage.**

**Reprenons l'exemple précédent: pour refroidir les 3 000 kg de maïs, nous avons calculé qu'il fallait 2 213 kg d'air. Quelle est la capacité d'évaporation de ces 2 213 kg d'air? Le diagramme de l'air humide nous l'indique:**

**Teneur en eau de 1 kg d'air à 14° C - 50 %: 5 g/kg.**

**Teneur en eau de 1 kg d'air à 25° C - 90 %: 18 g/kg.**

**Capacité d'évaporation:**

**$18 - 5 = 13 \text{ g/kg} = 0,013 \text{ kg/kg}$ ;  $0,013 \times 2\,213 \text{ kg} = 28,8 \text{ kg d'eau}$ .**

**Le maïs à 20 % d'humidité contient 200 kg d'eau par tonne, soit 600 kg d'eau pour 3 tonnes.**

**L'effet de séchage sera donc très faible et sans importance réelle dans le cas du refroidissement. Nous avons vu toutefois que cet effet de séchage était utilisé dans le cas de ventilation de grain chaud sortant du séchoir (cf. 3.3.3.).**

### **6.2.1.2. Ventilation de maintien**

**Alors que la ventilation de refroidissement a pour but de réduire l'activité biologique du produit stocké en abaissant sa température, la ventilation de maintien a le but moins ambitieux d'évacuer au fur et à mesure la quantité de chaleur produite par l'activité du grain, de façon à éviter que sa température ne s'élève et que la dégradation ne s'autoaccélère.**

#### **Production de chaleur d'une masse de grains**

**Nous avons vu au chapitre I que le dégagement de chaleur d'une masse de grains pouvait être calculé par la relation:**

$$q = k e^{a\theta}$$

**q** : quantité de chaleur produite par tonne de matière sèche et par heure;

**k** : constante liée à l'humidité du produit;

**a** : constante liée à la nature du produit;

**$\theta$**  : température (en °C).

**Exemple: Coefficient k applicable pour le calcul du dégagement de chaleur d'une masse de maïs selon son humidité (données CNEEMA).**

|            |       |       |       |       |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Humidité % | 16    | 17    | 18    | 19    | 21    | 23    | 25    |
| k .....    | 0,625 | 0,918 | 1,361 | 2,745 | 5,770 | 9,690 | 21,00 |
| Humidité % |       | 27    | 29    | 31    | 33    | 35    | 37    |
| k.....     |       | 27,70 | 34,60 | 42,20 | 51,40 | 62,30 | 77,20 |

### Application

**Calcul du dégagement de chaleur d'une masse de maïs stockée à 23 % d'humidité et 20° C.**

$$q = k e^{a\theta} = 9,69 \times e^{0,1385 \times 20} = 155 \text{ kcal/heure/tonne MS.}$$

**La masse d'air Q nécessaire par heure pour évacuer en continu la chaleur produite par une masse de grains M est donnée par la relation:**

$$Q = \frac{M \times q}{C_a \times \Delta\theta} \left\{ \begin{array}{l} C_z: \text{chaleur spécifique que de l'air;} \\ \Delta\theta: \text{différence de température entre l'air et le grain.} \end{array} \right.$$

**Remarque**

**De la relation  $q = k e^{a\theta}$ , on déduit (par intégration de l'équation différentielle en fonction du temps) la température  $\theta$  au temps T.**

$$\theta = \frac{1}{a} \times 2,303 \log \left[ -\frac{kaT}{Cs} + e^{-a\theta_i} \right]$$

**Cs** : chaleur spécifique du grain,

**$\theta_i$**  : température initiale du grain.

**L'humidité du grain est une donnée; sa température initiale est connue, donc son dégagement de chaleur est calculable. La quantité d'air à envoyer est fonction de l'accroissement de température que subira l'air dans le grain. L'écart de température devra être faible (de l'ordre de quelques degrés), car un écart de température trop important entre le bas et le haut de la masse se traduirait par des vitesses de dégradation différentes (rappelons qu'en moyenne la dégradation des céréales double tous les 5° C). En pratique, l'écart sera de 2 à 3° C. Le tableau ci-après indique les débits spécifiques de ventilation de maintien conseillés par le CNEEMA pour du maïs stocké à 20° C.**

**VENTILATION DE MAINTIEN DE MAÏS à 20° C**

|   |      |     |     |     |    |    |     |
|---|------|-----|-----|-----|----|----|-----|
| Humidité %  | 35   | 31  | 29  | 27  |    |    |     |
| $\Delta \theta$                                   | 3° C |     |     |     |    |    |     |
| Débit spécifique m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup> | 313  | 212 | 174 | 139 |    |    |     |
| Humidité %  | 25   | 23  | 21  | 19  | 18 | 17 | 16  |
| $\Delta \theta$                                   | 2° C |     |     |     |    |    |     |
| Débit spécifique m <sup>3</sup> /h/m <sup>3</sup> | 148  | 69  | 43  | 30  | 16 | 10 | 7,5 |

**La lecture de ce tableau démontre à quel point il est intéressant d'avoir des produits secs, car les forts débits spécifiques nécessaires pour conserver des produits humides obligent à prévoir des installations de ventilation de très grande puissance, donc onéreuses.**

**La ventilation de maintien peut être appliquée en continu, ou par intermittence. Dans ce dernier cas, une simple règle de trois permet de déterminer le débit à appliquer.**

$$\begin{aligned} \text{Débit en ventilation intermittente} &= \\ &= \text{Débit en ventilation continue} \times \\ &\times \frac{\text{Durée de ventilation} + \text{Temps repos}}{\text{Durée de ventilation}} \end{aligned}$$

### ***6.2.1.3. Ventilation séchante***

La ventilation séchante est un procédé de séchage lent des grains qui est très largement vulgarisé aux U.S.A. au niveau des exploitations agricoles. Il permet de sécher lentement des grains dans la cellule de stockage elle-même. L'avantage financier est évident, car il n'est pas nécessaire d'investir dans un séchoir, mais le procédé n'est utilisable que dans des conditions précises d'humidité du produit et de caractéristiques de l'air.

#### ***Principe***

Le principe est identique à celui du refroidissement, à savoir que dans la masse ventilée va se former un front de séchage se déplaçant dans le sens du flux d'air,

L'équilibre qui se crée tout d'abord est un équilibre d'humidité; l'air se charge en vapeur d'eau jusqu'à atteindre l'humidité relative d'équilibre avec l'humidité du grain. En séchage artificiel rapide, la température de l'air à l'entrée est très élevée et son

**enrichissement en vapeur d'eau - qui est partiel, car l'opération est trop rapide pour que l'équilibre air-grain ait le temps de s'établir - provoque néanmoins une nette baisse de sa température (plusieurs dizaines de degrés Celsius). En ventilation séchante, la température de l'air est faible et l'établissement de l'équilibre d'humidité ne se traduit que par une baisse de quelques degrés Celsius de la température de l'air. C'est à cette nouvelle température que toute la masse de grains se met en équilibre avant d'être traversée par la zone de séchage où s'établira l'équilibre d'humidité du grain avec l'humidité relative de l'air insufflé.**

**Pour que la ventilation provoque un effet de séchage, il faut donc que l'humidité relative de l'air soit inférieure à l'humidité d'équilibre du grain.**

**Soit par exemple du riz à 18 %. Il est en équilibre avec de l'air à 92 % HR à 25° C (Fig. 5). De l'air à 25° C et à une humidité inférieure séchera le produit, mais de l'air à 96 % d'humidité le réhumidifiera. Ce risque doit être toujours gardé en mémoire lorsque l'on pratique la ventilation séchante et ceci particulièrement en zone tropicale humide, où les effets d'un surcroît d'humidité et d'une température élevée se conjuguent pour provoquer une détérioration très rapide du produit. Pour éviter ce risque, il est indispensable de suivre les indications d'un hygromètre et souvent de réchauffer légèrement l'air pour abaisser son humidité relative (quelques degrés) avec un générateur d'air chaud. On pourra à cet effet utiliser un capteur solaire conjugué à une**

## **récupération de la chaleur diffusée par le moteur du ventilateur.**

### ***Conduite de la ventilation séchante***

**Pour bien mener une ventilation séchante, il faut connaître l'humidité du produit stocké et sa température (qui sera à peu près celle de l'air de ventilation, à moins que ce dernier ne soit très sec).**

**Ces deux données permettent de savoir pendant combien de temps le produit pourra être conservé avant traitement. Ce délai fixe la durée maximum de l'opération pour que le front de séchage atteigne la couche de grain la plus éloignée de l'arrivée d'air.**

**Il est fréquent que ce système conduise à de cuisants échecs par manque de connaissance des utilisateurs. Les échecs ont deux causes principales:**

- le produit à sécher est dans des conditions de température et d'humidité telles qu'il se dégrade avant d'être atteint par le front de séchage. La couche supérieure, traversée par de l'air humide, se trouve dans des conditions idéales pour germer et pour moisir;**
- le produit à sécher est entassé sur une trop grande épaisseur. Les pertes de charge subies par l'air pour traverser le grain sont trop importantes, ce qui se traduit par une baisse de débit du ventilateur, donc par un ralentissement de la vitesse de séchage. Il y a**

**cumul de deux causes: couche trop épaisse, donc temps de séchage trop long, et abaissement de la vitesse de séchage.**

**Le résultat est identique: la couche supérieure germe et moisit.**

### ***Détermination de la vitesse de déplacement du front de séchage***

**Le calcul de la masse d'air (ou dose) nécessaire pour sécher le produit est très simple si l'on considère que l'air sortant du grain est en équilibre avec celui-ci. Ceci n'est vrai que lorsque le front de séchage est dans le grain. Lorsqu'il en sort, l'air n'est plus saturé et il en faut une plus grande quantité pour extraire une même quantité d'eau.**

**La dose d'air nécessaire se calcule en faisant l'égalité entre la quantité d'eau emportée par l'air et la quantité d'eau à extraire du grain.**

**$M_{\text{air}} \times X \text{ kg d'eau/kg d'air} = E \text{ kg d'eau à évaporer};$**

**E est connu lorsque l'on connaît l'humidité initiale du grain et l'humidité à laquelle on veut le sécher;**

**X quantité d'eau emportée par kg d'air, est déterminée par la courbe d'équilibre air-produit, qui donne l'humidité relative de l'air en équilibre avec le grain humide et par le**

## **diagramme de l'air humide.**

**La température de l'air (qui évapore de l'eau) va diminuer; son point figuratif suivra l'isenthalpe passant par le point figuratif de l'air à l'entrée jusqu'à son intersection avec la courbe de l'humidité relative d'équilibre. Ces deux points étant repérés, il suffit de faire la différence de leurs coordonnées sur l'échelle des teneurs en eau pour connaître X.**

**La dose d'air étant calculée, il est prudent de majorer le résultat de 20 % pour tenir compte du fait que l'équilibre air-produit n'est jamais parfaitement réalisé.**

**La dose donne la masse globale d'air à faire passer dans le produit. Pour connaître le débit à appliquer, il suffira de diviser par le délai maximum admissible exprimé en heures.**

**Pour appliquer la ventilation séchante en permanence, il est indispensable que l'humidité relative de l'air soit connue et faible. Cette humidité relative, variant en particulier en fonction des variations de la température, il sera souvent nécessaire de réchauffer l'air de quelques degrés pendant les heures les plus fraîches, à l'aide d'un petit générateur d'air chaud.**

**En pratique, le débit spécifique minimal sera de  $200 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$  pour les céréales.**

**Ce débit important provoque de fortes pertes de charge; pour ne pas mettre en œuvre des puissances très importantes, il convient de ne sécher que de faibles épaisseurs (de l'ordre de 1,5 m).**

**Si l'on utilise la cellule de stockage pour pratiquer la ventilation séchante, la hauteur sera souvent supérieure à 1,5 m; on aura alors intérêt à travailler «par tranches» successives, car bien que les pertes de charge augmentent au fur et à mesure que la hauteur s'élève, le débit restera fixe et ne conduira pas à un équipement trop puissant.**

**Exemple:**

**Quel sera le débit d'air à appliquer pour sécher en ventilation séchante une masse de 4 t de maïs de 18 à 14 %, sachant que l'air utilisé est à 30° C et 50 % d'humidité relative?**

**La courbe d'équilibre air-maïs-grain nous indique que l'humidité relative de l'air à la sortie sera d'environ 87 %.**

**Le point figuratif 30° C - 50 % sur le diagramme de l'air humide se déplace sur l'isenthalpe jusqu'à l'intersection avec la courbe d'humidité relative 87 %. Les caractéristiques de l'air à la sortie seront 23,5° C, 87 %.**

**Pouvoir séchant de l'air:**

- teneur en eau/kg à 30° C, 50 % : 13,2 g

- teneur en eau/kg à 23,5° C, 87 % : 16,0 g

Pouvoir séchant : 2,8 g d'eau/kg

**Masse d'eau à enlever par quintal de grain pour le sécher de 18 à 14 %:**

$$E = \frac{100 (H_i - H_f)}{100 - H_f} = \frac{100 (18 - 14)}{86} = \frac{400}{86} = 4,65 \text{ kg d'eau}$$

**Pour 4 t de maïs: 4,65 x 40 = 186 kg d'eau.**

$$\begin{aligned} \text{Dose d'air } \frac{186 \times 10^3}{2,8} &= 66500 \text{ kg d'air} \\ &= \frac{66500}{1,2} = 55500 \text{ m}^3 \text{ d'air} \end{aligned}$$

**Le délai maximum à respecter avant que le maïs à 18 % et 23° C se dégrade est d'environ 5 jours.**

**Considérons que l'opération se déroulera en 3 jours, 24 h sur 24 h.**

$$\text{Débit d'air: } \frac{55500 \text{ m}^3}{3 \times 24} = 770 \text{ m}^3 \text{ d'air}$$

**Coefficient de sécurité 1,2 ( $\rho$ ) Débit 770 x 1,2 = 925 m<sup>3</sup>/h.**

**Débit spécifique:**

$$\frac{925}{0,750} = 173 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{m}^3 \text{ grain.}$$

---

[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](#)

---

## 6.2.2. Installations de ventilation

## **Une installation de ventilation se décompose en deux parties**

- le ventilateur,**
- le dispositif de répartition de l'air dans le grain.**

### ***6.2.2.1. Ventilateurs***

**Les ventilateurs vont créer un courant d'air continu par action aérodynamique en transformant l'énergie mécanique qu'ils reçoivent en énergie cinétique. Ils vont fournir un certain débit d'air sous une certaine pression. Pour une vitesse de rotation donnée ils seront caractérisés par une courbe débit-pression appelée «courbe caractéristique du ventilateur».**

#### **a) COURBES CARACTÉRISTIQUES**

**Cette courbe indique la pression obtenue en millimètres de colonne d'eau (mm CE) en fonction du débit fourni (en m<sup>3</sup>/s ou m<sup>3</sup>/h).**

**La pression totale PT est la somme de deux pressions partielles**

- la pression dynamique,**
- la pression statique (ou pression effective)**

$$P_T = P_d + P_s$$

- **La pression dynamique** exprime la force vive de l'air, elle est proportionnelle au carré de la vitesse de l'air et s'exprime par la formule simplifiée

$$P_d = \frac{V^2}{16}$$

V en m/s

$P_d$  en  $\text{kg/m}^2 = \text{mm CE}$

- **La pression statique**

C'est la pression qui s'exerce sur les parois des conduites et qui permet de vaincre tous les obstacles au déplacement de l'air (pertes de charges singulières). Un divergent placé à la sortie du ventilateur permettra de transformer une partie de la pression dynamique en pression statique qui est la seule utile pour ventiler des grains en masse.

En pratique, pour le choix des ventilateurs il ne sera tenu compte que de la pression statique qu'il fournit.

[Fig. 147: Courbes caractéristiques d'un ventilateur centrifuge. \(D'après CEMAGREF.\)](#)

**Sur le diagramme précédent, outre le rendement, est également indiquée la puissance absorbée,**

**La relation entre puissance absorbée, rendement, débit et pression s'exprime sous la forme:**

$$P = \frac{Q \times P_t}{370\,000 \times \eta_t}$$

**avec**

**P** : Puissance absorbée en kW

**P<sub>t</sub>** : Pression totale en mm CE

**Q** : débit d'air en m<sup>3</sup>/h

**η<sub>t</sub>** : rendement total du ventilateur

**Ex:**

**Q** = 5,500 m<sup>3</sup>/h

$P = 1650 \text{ Pa}$  soit environ  $168 \text{ mm}$

CE

$\eta_t = 65 \%$

**La puissance absorbée sera de 3,84 kW.**

**[Fig. 148: Exemple: Courbes caractéristiques débit-pression de différents ventilateurs de même puissance.](#)**

- ***Choix d'un ventilateur***

C'est en fonction des courbes débit-pression que l'on choisira un ventilateur en veillant à ce que son point de fonctionnement soit aussi proche que possible d'un rendement maximum. La puissance ne pourra en aucun cas être un élément suffisant d'appréciation. Un ventilateur fournissant un faible débit sous une forte pression pourra en effet être de même puissance qu'un ventilateur fournissant un fort débit sous faible pression. Ces ventilateurs, bien que consommant la même puissance, seront totalement différents.

- ***Lois de similitude***

Au cours de l'utilisation d'une installation, le débit et la pression nécessaires sont susceptibles de varier en fonction des besoins. Aussi on peut noter que, en faisant varier

### **la vitesse de rotation du ventilateur:**

- les débits varient dans le rapport des vitesses,
- les pressions varient dans le rapport du carré des vitesses,
- les puissances absorbées varient dans le rapport du cube des vitesses.

**En fait pour doubler le débit d'un ventilateur, il est plus économique de lui adjoindre un ventilateur identique en parallèle plutôt que de doubler sa vitesse de rotation. En effet, dans cette dernière hypothèse, le débit est bien doublé mais la pression sera quadruplée et la puissance absorbée sera multipliée par 8.**

### **b) DIFFÉRENTS TYPES DE VENTILATEURS**

**Nous pouvons distinguer en agriculture deux grands types de ventilateurs: les ventilateurs hélicoïdes et axiaux, et les ventilateurs centrifuges.**

**Pour les premiers le flux d'air est parallèle à l'axe de rotation de la roue alors que pour les ventilateurs centrifuges, le flux d'air aspiré au centre de la roue arrive parallèlement à l'axe de rotation mais ressort du ventilateur perpendiculairement à cet axe.**

***Les ventilateurs hélicoïdes* sont très largement utilisés dans les cas où l'on cherche à déplacer de grandes masses d'air (fort débit) sous une faible pression (10 à 15 mm CE). Ils**

**n'ont enfin que de faibles rendements.**

**Ils se composent d'une roue à aubes, ou hélice, tournant dans un carter cylindrique. L'air aspiré est projeté dans l'axe de l'hélice.**

**Des accessoires sont souvent ajoutés pour améliorer le fonctionnement du ventilateur:**

- un pavillon d'aspiration qui régularise l'alimentation en air de l'hélice;
- un redresseur dont les aubes fixes canalisent en filets parallèles l'air tourbillonnant derrière l'hélice. Le redresseur améliore le rendement du ventilateur, permet d'obtenir des pressions plus élevées et un fonctionnement moins bruyant;
- un diffuseur qui, pour une pression totale donnée, permet d'obtenir un meilleur rapport: 
$$\frac{\text{Pression statique}}{\text{Pression dynamique}}$$
- pour protéger l'appareil et le personnel, il est recommandé de monter un grillage de protection sur le pavillon d'aspiration.

**Les ventilateurs hélicoïdes seront utilisés pour l'aération forcée de magasins, mais ne**

**pourront pas être employés pour ventiler des grains en grande épaisseur, car les résistances à vaincre dépassent très rapidement les possibilités de ce type d'appareil.**

**[Fig. 149: Ventilateur hélicoïde.](#)**

**Les ventilateurs axiaux sont constitués d'une ou plusieurs hélices et ont des rendements qui peuvent atteindre 65 à 85 %. Ils sont à utiliser pour de forts débits d'air sous de faibles pressions (certains peuvent cependant aller jusqu'à 150 mm CE).**

**Ils ont l'avantage d'être d'un encombrement réduit et de montage facile, mais ils sont relativement bruyants.**

**[Fig. 150: Ventilateur axial.](#)**

**Les ventilateurs centrifuges permettent d'obtenir de fortes pressions; c'est pourquoi leur emploi est généralisé pour la ventilation de grains en masse. Ils se composent d'une roue à aubes tournant dans un carter en forme de spirale. L'air aspiré dans l'axe de la roue est rejeté à la périphérie par centrifugation et expulsé par un orifice périphérique tangentiel.**

**On distingue les ventilateurs à:**

- \* aubes courbées vers l'arrière:**

- profil «ailes d'avion» utilisés pour la ventilation des cellules. Ces ventilateurs permettent d'atteindre des pressions importantes (au-delà de 600 mm CE) avec d'importants rendements (80 %). Ils nécessitent un air propre;

- profil plat: moins performants que les précédents, mais acceptent des airs légèrement poussiéreux;

Comme les précédents ils ont une courbe caractéristique très plongeante c'est-à-dire qu'une forte variation de pression n'entraîne qu'une faible variation de débit;

\* aubes droites (ou palettes). Ces ventilateurs de construction simple sont encombrants pour ne donner que de faibles débits et de mauvais rendements, cependant ils peuvent être utilisés dans un air très poussiéreux.

### [Fig. 151: Ventilateur centrifuge.](#)

Enfin il existe des ventilateurs à aubes tournées vers l'avant (aubes très nombreuses) qui donnent de faibles variations de pression avec de fortes variations de débits. Ils sont cependant peu utilisés en agriculture.

### [Fig. 151 bis: Différents types de ventilateurs centrifuges. \(Doc. SOLYVENT-VENTEC.\)](#)

**Pour les faibles puissances, les ventilateurs sont généralement entraînés directement par moteur électrique ou également par moteur thermique. Pour les plus fortes puissances, on prévoit un entraînement indirect par courroies et poulies, ce qui permet d'ajuster les plages de fonctionnement en jouant sur les vitesses de rotation.**

#### ***6.2.2.2. Types de répartition d'air***

**L'air sortant du ventilateur est transporté jusqu'au produit et réparti dans sa masse. Le système de répartition doit permettre une distribution uniforme de l'air sans augmenter considérablement les pertes de charge. On distingue deux modes de répartition: les faux fonds perforés et les gaines.**

##### **a) FAUX FONDS PERFORÉS**

**Ils sont constitués de plaques métalliques perforées qui délimitent avec le fond de la cellule une chambre de mise en charge, dans laquelle arrive l'air envoyé par le ventilateur.**

**Le taux de perforation des plaques est généralement de 30 %**

$$\left( \frac{\text{Surface des perforations}}{\text{Surface totale}} = 0,30 \right)$$

**La hauteur de la chambre de mise en charge est un compromis entre la bonne répartition de l'air et le moindre encombrement du faux fond. La hauteur retenue est généralement de 40 cm (longueur standard des parpaings fréquemment utilisés verticalement pour soutenir les faux fonds).**

**C'est la méthode qui permet la meilleure répartition de l'air tout en créant le moins de perte de charge (1 à 2 mm CE seulement).**

**[Fig. 152: Faux fond perforé de cellule métallique. \(Doc. privé.\)](#)**

## **b) GAINES**

On distingue: - les gaines posées sur le sol,  
- les gaines enterrées.

**- *Gaines posées sur le sol***

**• Gaines semi-circulaires**

**Ce sont les plus couramment employées. Elles sont en tôle ondulée pleine ou perforée et reposent sur des bastaings à 5 cm du sol.**

**La vitesse de l'air doit être d'environ 4 m/s. Lorsque la vitesse est trop faible, le grain s'infiltré sous la gaine et l'obstrue progressivement.**

**La surface des perforations doit être telle que la vitesse de passage gaine-grain, soit de 0,25 m/s; au-delà, les pertes en charge sont trop importantes.**

- **Gaines à section carrée ou rectangulaire**

**Ces gaines sont soit en bois, soit en métal, et reposent sur des bastaings, ou sont garnies à leur partie inférieure d'un grillage type «garde-manger».**

- **Gaines triangulaires**

**Elles sont en métal ou en bois et reposent sur des bastaings.**

**Fig. 153: Différents types de gaines.**

**[Gaines semi-circulaires](#)**

[Gaines rectangulaires](#)

[Gaines triangulaires](#)

- **Autres types**

On trouve sur le marché des gaines de formes différentes de celles énumérées ci-dessus. La section varie du trapèze au carré et les perforations sont de formes diverses. Toutes peuvent être utilisées dans la mesure où les vitesses de circulation d'air sont respectées. Il y a lieu de se montrer prudent avant de préconiser l'utilisation de gaines à grande vitesse d'air car elles augmentent souvent les pertes de charge et partant, la puissance nécessaire au ventilateur.

- *Gaines enterrées*

Ces gaines carrées ou rectangulaires doivent être prévues dès le projet car elles sont noyées dans la dalle de béton et recouvertes de tôle perforée. Les normes de vitesse d'air sont identiques aux précédentes.

- *Disposition des gaines*

- **Cellules rectangulaires**

**La disposition la plus courante est celle de la figure 154.**

**La gaine d'amenée est parallèle au plus grand côté de la cellule et les gaines de répartition lui sont perpendiculaires.**

**Les vitesses d'air maxima à respecter sont les suivantes:**

- gaine principale : 8 m/s
- gaine de répartition : 4 m/s
- passage gaine-grain : 0,25 m/s

**[Fig. 154: Disposition classique des gaines de ventilation.](#)**

**Dans le cas où les débits spécifiques à fournir sont élevés, la surface des gaines à prévoir devient prohibitive et l'on choisira une ventilation par faux fond (Fig. 155). (Vitesse à l'entrée du faux fond = 6 m/s.)**

**[Fig. 155: Disposition classique d'un faux fond.](#)**

**Pour obtenir une bonne répartition de l'air dans la masse de produit, la distance entre les gaines doit être comprise entre 1/3 et 1/2 de la hauteur maximum de produit dans la cellule,**

**donc  $H/3 < d < H/2$ .**

**La distance gaine-paroi:  $d/2$  et extrémité gaine-paroi:  $d/4$ .**

**Dans le cas de grandes cellules, et plus particulièrement dans le cas des magasins avec stockage en tas suivant l'angle de talus naturel du produit, l'épaisseur de produit n'étant pas uniforme, il est difficile d'obtenir une répartition d'air homogène et le calcul de telles installations doit être confié à un bureau d'études.**

- **Cellules cylindriques**

\* ***Gaines horizontales***

**Les gaines seront placées en hexagone sur le fond de la cellule (Fig. 156); les dimensions de l'hexagone sont calculées de façon que sa surface soit égale à la surface comprise entre l'hexagone et la paroi.**

**[Fig. 156: Ventilation de cellule cylindrique à fond plat.](#)**

**Lorsque le diamètre de la cellule atteint 10 m, il faut prévoir un double hexagone (Fig. 156), en respectant toujours la même règle  $S = S_1 = S_2$ .**

**Pour éviter que des passages d'air préférentiels ne se créent le long des parois, la distance minimale de la gaine à la paroi (A) sera de 40 cm.**

**Pour mémoire: surface d'un hexagone de côté «A»:**

$$S = 2,598 A^2$$

**\* *Gaines verticales***

**La ventilation par cheminée centrale ou ventilation radiale est peu employée, car l'air sortant de la gaine atteint difficilement la périphérie, ce qui oblige à accroître les durées de fonctionnement pour assurer la ventilation de la zone périphérique.**

**Le diamètre de la gaine ( $D_2$ ) doit être au moins égal à 1/5 du diamètre de la cellule  $D_1$ :**

$$D_2 > \frac{D_1}{5}$$

**[Fig. 157: Gaines verticales.](#)**

**Dans sa partie supérieure, la gaine doit être fermée par un bouchon placé à une distance**

**de la surface du produit:  $D \geq \frac{D_1 - D_2}{2}$  pour éviter une fuite de l'air par le haut de la gaine.**

**Les gaines verticales sont parfois placées le long de la paroi des cellules, l'air entrant par l'une et ressortant par l'autre (Fig. 157).**

- **Cellules à fond conique**

**Des dispositions variées sont proposées pour la ventilation des cellules à fond conique (ou pyramidal) (Fig. 158).**

**La pression du grain sur les parois du cône est très élevée, lors de la vidange de la cellule en particulier; aussi faut-il prévoir des gaines particulièrement résistantes.**

**La solution «b» limite ce risque, mais ne permet pas de ventiler le grain contenu dans la trémie. On y remédie en remplaçant la vanne de fermeture par une plaque grillagée reliée aux conduites de ventilation.**

**Dans tous les cas, les solutions avec gaine posée sur la trémie sont à exclure, car le risque est grand qu'elles soient entraînées lors de la vidange et viennent obstruer l'orifice de vidange.**

## [Fig. 158: Ventilation de trémie conique.](#)

---

[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](#)

---

### 6.2.3. Bases de calcul des installations

Pour calculer une installation de ventilation, il faut connaître:

- le type de cellule à ventiler pour choisir la disposition des gaines,
- la nature et l'humidité du produit stocké, donc le débit spécifique à lui appliquer en ventilation continue,
- la quantité maximum de produit stocké et la périodicité des ventilations, si les conditions climatiques ne permettent pas une ventilation permanente.

## **a) CALCUL DU DÉBIT TOTAL**

**Le débit total est le produit du débit spécifique par le volume à ventiler.**

**Si la ventilation est périodique, le débit spécifique doit être multiplié par le rapport entre la durée de la période et la durée de ventilation. Ainsi, si l'on ventile 12 h sur 24, le débit spécifique doit être doublé.**

**Si la cellule n'est que partiellement remplie, il convient toutefois de se baser sur sa capacité maximum pour calculer le débit total.**

## **b) CALCUL DES CONDUITES DE VENTILATION**

**Connaissant le débit, les sections des conduites sont calculées en respectant les normes suivantes de vitesse de l'air:**

- gaine principale : 8 m/s
- gaines secondaires : 4 m/s
  
- passage gaine-grain : 0,25 à 0,50  
m/s

**Les sections minimales des gaines seront calculées par la formule:**

$$S_{\text{cm}^2} = \frac{Q \text{ (m}^3 \text{ / h)}}{0,36 \times V \text{ (m / s)}}$$

**S** : section de passage en cm<sup>2</sup>

**Q** : débit en m<sup>3</sup>/h

**V** : vitesse de l'air admissible en  
m/s.

**Ces normes conduisent souvent à des dimensions de gaines qui semblent très importantes. Il sera parfois nécessaire de les réduire en adoptant des normes de vitesse supérieures, Il est toutefois déconseillé d'accroître les vitesses indiquées de plus de 30 %, car les pertes de charge dans les conduites deviennent alors très élevées et conduisent à prévoir des ventilateurs plus puissants, donc plus chers à l'achat comme au fonctionnement.**

**Au raccordement du ventilateur et de la gaine principale, il faut prévoir un divergent pour diminuer la vitesse d'air à la sortie du ventilateur et améliorer le rapport**

$\frac{\text{Pression statique}}{\text{Pression dynamique}}$ , car seule la pression statique du ventilateur est intéressante.

L'angle du divergent devra être compris entre 7 et 15° et sa longueur devra être au moins égale à 1,5 fois le diamètre de sortie du ventilateur (Fig. 159).

Le débit étant connu, les conduites étant choisies en longueurs et en sections, reste à connaître les résistances ou pertes de charge que l'air devra vaincre pour:

- circuler dans les conduites,
- passer des gaines dans le grain,
- traverser le grain.

La somme de ces trois résistances nous donnera la pression que le ventilateur doit communiquer à l'air de ventilation.

### c) PERTES DE CHARGE DANS LES CONDUITES

Cette résistance est provoquée par le frottement de l'air sur les parois des conduites et par les accidents sur les conduites (coudes, étranglements, etc.).

[Fig. 159: Raccordement ventilateur-gaine.](#)

- **Angle paroi-axe du ventilateur: 7 à 15°.**
- **Longueur C  $\geq$  1,5 D.**

**(Doc. CEMAGREF.)**

**Le réseau de gaines est composé d'un plus ou moins grand nombre de tronçons, mais le calcul des pertes de charge est simple en appliquant la règle suivante: «La perte de charge totale est la somme des pertes de charge partielles dans chacun des tronçons successifs».**

**Le réseau est donc divisé en tronçons; chaque tronçon correspond à une section de gaine et à un débit d'air et, partant du ventilateur, on calculera la perte de charge partielle dans chaque tronçon.**

**Pour assurer un débit égal dans deux ou plusieurs conduites en parallèle, il faut que les pertes de charge qu'elles entraînent soient égales. Les tronçons n'étant pas successifs, mais parallèles, la perte de charge totale n'est pas la somme des pertes de charge partielles, mais est égale à l'une d'entre elles.**

**- *Pertes de charge par frottement***

**Pour le calcul, la perte de charge par mètre linéaire de conduite est donnée par:**

$$P = \frac{P_d}{50 d_e}$$

**avec**

**P** = perte de charge par mètre (en mm de CE),

**P<sub>d</sub>** = pression dynamique de l'air (en mm CE),

**d<sub>e</sub>** = diamètre équivalent d'une conduite de section quelconque qui a les mêmes caractéristiques qu'une conduite circulaire de diamètre

$$d_e = \frac{4A}{M},$$

**A** surface de la section en m<sup>2</sup>,

**M** périmètre de la section en m.

**Cependant, pour éviter les calculs, il existe des abaques (Fig. 160) qui donnent la perte de charge par mètre linéaire de conduite en fonction du diamètre équivalent de la conduite et du débit.**

***- Pertes de charge par accidents***

**Les accidents sont les coudes, les changements de section, inévitables dans tout réseau**

**de gaines et qui gênent le passage de l'air. La perte de charge provoquée par chaque accident est donnée par la relation:**

$$P = K\omega \frac{V^2}{2g}$$

P : perte de charge (en mm CE)

K : le coefficient de résistance de l'accident.

V : vitesse de l'air (en m/s);

$\omega$  : (densité de l'air 1,2 kg/m<sup>3</sup>);

g : 9,81 m/s<sup>2</sup>.

**Nous reproduisons en Annexe III les principales valeurs de K pour les accidents les plus fréquents.**

***- Pertes de charge au passage gaine-grain***

**Lorsque la ventilation se fait par faux fond perforé, la perte de charge est calculée par la relation:**

$$P = K\omega \frac{V^2}{2g}$$

(voir en annexe III les valeurs de K).

Lorsque la ventilation se fait par cheminée centrale, la perte de charge totale au passage gaine-grain et dans le grain est donnée par la relation:

$$P = \frac{K_1 Q}{2\pi} \times 2,303 \log_{10} \frac{r_1}{r_2} + \frac{K_2 Q^2}{4\pi^2} \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}$$

- $r_1$  et  $r_2$  sont les rayons de la cheminée et de la cellule,
- $Q$  est le débit d'air (en  $m^3/s$ ) par mètre de cheminée, multiplié par 100,
- $P$  est exprimé (en mm CE) par mètre de cheminée,
- $K_1$  et  $K_2$  sont des coefficients (voir pertes de charge dans le grain).

### Fig. 160: PERTES DE CHARGE PAR FROTTEMENT

Dans des conduites circulaires en tôle pour différentes vitesses de l'air (débits) et pour différents diamètres de conduites.

**Ce diagramme est établi pour de l'air à un degré hygrométrique moyen, à la température de + 20° C et à la pression barométrique de 760 m/m Hg ou pour tout autre gaz d'un poids spécifique égal (1,2 kg/m<sup>3</sup>).**

**(Origine: C.N.E.E.M.A.)**

**Lorsque la ventilation se fait par gaines, on assimile les gaines à des cheminées et on fait le calcul précédent avec**

- $r_1$ , rayon de la gaine,
- $r_2$ , demi-distance entre les gaines.

**- *Pertes de charge dans le grain***

**La perte de charge provoquée par la traversée du grain pour un écoulement unidimensionnel est donnée par la formule de KOZENY-CARMAN ET ERGUN-MEYER.**

$$\Delta P = K_1 U_0 + K_2 U_0^2 \left\{ \begin{array}{l} \Delta P \text{ perte de charge par m d'épaisseur de produit traversé (en mm CE);} \\ U_0 \text{ vitesse de l'air (en cm / s).} \end{array} \right.$$

**Les coefficients  $K_1$  et  $K_2$  sont liés à la nature du produit, à son tassement et à son**

**humidité.****VALEURS DE  $K_1$  ET  $K_2$  POUR DIFFÉRENTS PRODUITS (données fournies par le C.N.E.E.M.A.).**

| Produit                           | Humidité | Poids spécifique      | Formule              |                 |         |
|-----------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|-----------------|---------|
|                                   |          |                       | $\Delta P$           | $U_0 +$         | $U_0^2$ |
| Maïs                              | 23 %     | 800 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 1,037$   | $U_0 + 0,0738$  | $U_0^2$ |
|                                   | 19 %     | 800 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 0,9530$  | $U_0 + 0,07768$ | $U_0^2$ |
| Mil                               | 21,5 %   | 750 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 3,52$    | $U_0 + 0,1243$  | $U_0^2$ |
| Sorgho                            | 12 %     | 750 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 2,52$    | $U_0 + 0,1261$  | $U_0^2$ |
| Cacao frais (fèves avec mucilage) | 53 %     | 550 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 0,1770$  | $U_0 + 0,03214$ | $U_0^2$ |
|                                   |          | 600 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 0,25980$ | $U_0 + 0,0351$  | $U_0^2$ |
|                                   |          | 700 kg/m <sup>3</sup> |                      |                 |         |

|               |       | 700 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P =$<br>0,78824 | $U_0 +$<br>0,09060 | $U_0^2$ |
|---------------|-------|-----------------------|-------------------------|--------------------|---------|
| Cacao sec     | 6,5 % | 500 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 0,1537$     | $U_0 +$<br>0,02171 | $U_0^2$ |
| Café marchand | 12 %  | 400 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 0,1084$     | $U_0 + 0,0225$     | $U_0^2$ |
|               |       | 500 kg/m <sup>3</sup> | $\Delta P = 0,4488$     | $U_0 + 0,0745$     | $U_0^2$ |

#### d) CHOIX DU VENTILATEUR (méthode pratique)

Comme nous l'avons vu précédemment, chaque ventilateur est caractérisé par sa courbe débit-pression.

Le débit est connu et la perte de charge totale est la somme des 3 pertes de charges partielles:

- perte de charge dans les conduites,  $P_c$ ,
- perte de charge au passage gaine-grain,  $P_g$ ,
- perte de charge dans la traversée du produit,  $P_p$ .

Sur un papier logarithmique transparent (avec en abscisses les débits et en ordonnées la

**perte de charge), on reporte à la verticale du débit calculé (Fig. 161):**

- le point d'ordonnée  $P_c$ . La perte de charge dans les conduites varie comme le carré de la vitesse, ce qui, sur un papier logarithmique, est représenté par une droite de pente 2. On trace cette droite passant par A;
- le point B d'ordonnée  $P_g + P_p$ , somme des pertes de charge dans le produit et au passage de la gaine. Ces deux pertes de charge varient selon une relation de la forme

$$P = K_1 U_0 + K_2 U_0^2$$

**En première approximation, cette relation est représentée par une droite dont la pente varie selon les produits**

maïs : 1,52

fourrage : 1,70

**[Fig. 161: Choix du ventilateur.](#)**

**On trace cette droite passant par B.**

**Ces droites étant tracées, faire la somme des pertes de charge ordonnée de A + ordonnée B =  $P_c + (P_g + P_p)$ . C'est le point représentatif de la perte de charge totale.**

**De part et d'autre du débit fixé, on choisira un nouveau débit, et, pour chacun d'eux, on calculera de la même façon la perte de pression totale.**

**Les 3 points obtenus (C, C' et C'' sur la fig. 161) seront reliés par une courbe très plane, qui représente la courbe générale d'équilibre débit-pression de l'installation.**

**On superpose cette courbe aux courbes caractéristiques des catalogues de ventilateurs et l'on retient le ventilateur qui coupe la courbe de l'installation dans la zone pratique d'utilisation du ventilateur, le point C étant au-dessous ou à l'intersection de la courbe du ventilateur.**

**Le ventilateur étant choisi, quel sera le débit réel de ventilation? (Fig. 162).**

**Le débit réel sera l'abscisse  $Q_1$  du point I, intersection des deux courbes, et la perte de charge totale l'ordonnée  $P_1$  du même point. Le débit sera donc supérieur ou au moins égal (si C est à l'intersection des deux courbes) au débit choisi.**

**[Fig. 162: Débit réel de ventilation.](#)**

## **Quel sera le débit si la cellule n'est remplie que partiellement ?**

**Lorsque la cellule n'est que partiellement remplie, l'épaisseur de grain à traverser est plus faible, donc les pertes de charge  $P_p$  sont inférieures. Il est aisé de calculer  $P_p$  connaissant la perte de charge par mètre d'épaisseur et d'en déduire l'ordonnée du point  $C_1$  figuratif de l'installation (Ordonnée de  $C_1 = P_c + P_g + P_p$ ).**

**Reprenons la figure précédente.**

**Par ce point  $C_1$ , on mène une parallèle à la courbe d'équilibre. Cette parallèle coupe la courbe caractéristique du ventilateur au point D. L'abscisse de D donne le débit réel de ventilation, d'où on pourra déduire le débit spécifique par mètre cube de produit. Il est intéressant de connaître le débit spécifique pour différentes hauteurs de produit, car, connaissant les débits spécifiques nécessaires suivant l'humidité du produit, le chef de silo peut répartir judicieusement les apports en fonction de leur risque de dégradation plus ou moins rapide.**

**La ventilation étant étudiée pour un produit, quel sera son débit si l'installation est utilisée au stockage d'un autre produit?**

**[Fig. 163: Ventilation d'un autre produit.](#)**

**Pour le débit donné  $Q$ , les pertes de charge dans les conduites seront identiques; les pertes de charge au passage gaine-produit et dans le produit devront être recalculées. Soit  $E$  le point figuratif de la perte de charge totale pour le débit  $Q$ . Par  $E$  on trace la courbe de fonctionnement de l'installation  $EE'E''$  homologue de la courbe  $CC'C''$  pour le produit initial. L'intersection de la courbe  $EE'E''$  avec la courbe caractéristique du ventilateur définit le nouveau point de fonctionnement, d'où l'on déduit le débit de ventilation  $Q_f$  et le débit spécifique obtenu (Fig. 163).**

**En comparant aux normes de ventilation nécessaire pour ce nouveau produit, on en déduit l'aptitude de l'installation à le ventiler correctement.**

**Si le débit spécifique obtenu est inférieur à la norme, il faudra réduire la hauteur du produit jusqu'à ce que la norme soit satisfaite.**

**Remarque: Si la courbe  $EE'E''$  ne coupe pas la courbe caractéristique du ventilateur dans sa zone normale d'utilisation, il sera impossible de stocker ce produit sans risque.**

**Lorsque, dès le projet, l'installation est prévue pour être polyvalente, il convient de tracer les courbes caractéristiques pour chaque produit avant de choisir le ventilateur.**

**Choix du ventilateur dans une installation prévue pour ventiler à volonté chaque cellule séparément ou 2 ou 3 cellules simultanément.**

**On tracera les courbes de fonctionnement dans chaque cas et l'on choisira le ventilateur dont la courbe englobe tous les points débitpression déterminés.**

#### **6.2.4. Conduite de la ventilation**

**L'objectif essentiel de la ventilation est d'abaisser ou de maintenir la température du grain. Son utilisation doit être raisonnée en fonction des températures et des hygrométries de l'air et du grain. Lorsque l'humidité relative de l'air est faible, la ventilation entraîne un léger séchage et un refroidissement complémentaire. Avec de l'air humide la ventilation est délicate mais possible lorsque la température du grain est supérieure de 4 à 5° C à celle de l'air. En entrant dans le grain il se réchauffe légèrement et son humidité relative diminue, limitant ainsi les risques de réhumidification du grain. Un programme d'études et d'essais devrait être conduit pour aboutir à des recommandations pratiques aisément vulgarisables en zone tropicale.**

#### **6.2.5. La ventilation réfrigérée**

**Lorsque les conditions climatiques ne permettent pas de disposer de températures basses (5° C à 10° C) il est toujours possible, comme le montre le schéma ci-dessous, de créer un froid artificiel à l'aide de machines frigorifiques. Le coût de ces installations est souvent le facteur limitant leur emploi.**

[Fig. 164: Représentation schématique de la réfrigération des grains dans le silo. \(Doc. Escher Wyss.\)](#)

## 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](#)

### SCHÉMA GÉNÉRAL D'UN CENTRE DE STOCKAGE

Extérieurement un centre de stockage apparaît comme un ensemble de cellules auquel est accolée une tour de travail (manutention, pesée, nettoyage, désinsectisation, etc.) selon le schéma ci-dessous:

[Fig. 165: Schéma d'une unité de stockage en vrac.](#)

#### 1. Fosse ou trémie de réception des grains.

2. **Système d'élévateurs amenant le grain en haut de la tour de manutention ce qui permet de le travailler par gravité.**
  3. **Système de nettoyage.**
  4. **Système de pesage.**
  5. **Transporteurs horizontaux pour chargement et vidange des cellules.**
  6. **Désinsectisation des grains.**
  7. **Contrôle du produit à l'entrée (échantillon) et en cours de stockage (silo thermométrie).**
- 

[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](#)

---

## 6.3.1. Matériel de réception - nettoyage

### 6.3.1.1. Pesée

**A l'affivée au centre de stockage il est nécessaire de procéder à un contrôle de poids du produit livré.**

**- Pont-bascule**

**C'est le système le plus rationnel mais le plus coûteux. Il est nécessaire de choisir son implantation avec soin pour faciliter le circuit des véhicules (pesée de 50 à 60 t) et surveiller les entrées et sorties. Il doit être correctement entretenu et l'on doit vérifier que des éléments étrangers (cailloux...) ne bloquent pas le plateau et ne viennent pas fausser les mesures.**

**[Fig. 166: Pont-bascule à leviers réducteur. \(Doc. TESTUT AQUITAS.\)](#)**

**La «Portée effective» annoncée par les fournisseurs est la valeur maximum de la charge - uniformément répartie - que peut supporter le pont. Elle est très largement supérieure au poids des véhicules pesés. La précision du pont-bascule est de 1/1000. La fosse contenant les mécanismes mesure 1,60 m de profondeur, ce qui peut poser des problèmes dans les zones inondables ou rocheuses. Pour ces cas, il existe des ponts spéciaux de 0,90 m seulement. Pour éviter la détérioration du pont par les véhicules y arrivant trop rapidement, la mise en place d'un dos-d'âne avant le pont est une dissuasion efficace.**

**- *Bascule de circuit***

**C'est un matériel souvent utilisé car il est meilleur marché que le précédent. La bascule de circuit se place après les élévateurs d'entrée et avant le nettoyeur. Elle est composée d'un bâti en acier supportant un fléau avec d'un côté des poids et de l'autre la trémie peseuse. Un jeu de leviers assure l'ouverture et la fermeture des trappes d'alimentation et d'évacuation sans apport d'énergie extérieure.**

**C'est un matériel précis (précision 0,5/1 000) mais qui doit être réglé à chaque changement de produit.**

**Il est recommandé de la nettoyer au moins une fois par semaine et d'effectuer à cette occasion des pesées de contrôle pour un réglage éventuel. A cet effet, on pourra utiliser un by-pass qui dérive la jetée vers un ensacheur.**

**La régularité d'alimentation de la bascule de circuit est primordiale pour avoir une bonne précision des pesées, aussi est-il nécessaire de prévoir à l'amont de la bascule une trémie de 2 fois au moins sa capacité unitaire, et à l'aval, une trémie de 1,5 fois la jetée.**

**La bascule de circuit oblige à vider la trémie de réception après chaque livraison pour connaître le poids livré. En pratique la capacité de la bascule est choisie comme suit:**

**DÉBIT MOYEN DES BASCULES DE CIRCUIT SELON LEUR CAPACITÉ**

| <b>Capacité en kg</b> | <b>Débit moyen en t/h</b> |
|-----------------------|---------------------------|
| 100                   | 25- 30                    |
| 200                   | 40- 50                    |
| 500                   | 90-100                    |
| 1000                  | 135-160                   |

**- Pesée sur bande en continu**

**Dispositif qui peut être employé dans les organismes stockeurs importants. Il se compose d'une trémie reliée à une bande transporteuse à grand débit (100 à 200 t/h). Les rouleaux de la bande sont reliés à des capteurs électroniques qui permettent de connaître le poids réceptionné en intégrant la charge de la bande et sa vitesse d'avancement.**

**Enfin nous pouvons signaler un matériel dont nous avons parlé en évoquant l'équipement des magasins sacs... il s'agit du peseur-ensacheur qui au niveau d'un stockage en vrac peut être très utile pour expédier les produits en sacs. De nombreux**

**modèles sont mobiles pour pouvoir être déplacés en différents postes d'ensachage. Pour les zones tropicales humides il est recommandé de demander une exécution spéciale en acier inoxydable (supplément de 20 % environ). La plage de fonctionnement des peseurs-ensacheurs est comprise entre 1/10 et 1 fois le débit nominal (un peseur de 100 kg peut être utilisé pour des pesées de 10 à 100 kg).**

### ***6.3.1.2. Trémie de réception***

**La trémie de réception est un élément très important du centre de stockage; sa capacité, sa forme, sa disposition, conditionnent en grande partie la bonne marche du centre pendant la période d'approvisionnement, qui est toujours une période d'activité fébrile.**

#### **a) CAPACITÉ DE LA TRÉMIE**

**Il est logique que la capacité de la trémie soit proportionnelle à celle de l'installation de stockage, mais de toute façon il ne faut pas descendre au-dessous de 8 m<sup>3</sup> (60 q, c'est-à-dire la livraison minimum).**

**Les capacités suivantes peuvent être retenues:**

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| <i>Capacité-Installation</i> | <i>Volume<br/>trémie</i> |
|------------------------------|--------------------------|

|         |                           |
|---------|---------------------------|
| 1000 q  | 8 m <sup>3</sup> = 60 q   |
| 1500 q  | 10 m <sup>3</sup> = 75 q  |
| 2 000 q | 13 m <sup>3</sup> = 100 q |
| 3 000 q | 16 m <sup>3</sup> = 120 q |

**Pour les centres plus importants, la trémie doit permettre de réceptionner les plus lourds véhicules (minimum 20 m<sup>3</sup>) et la manutention doit avoir un débit suffisant pour la vider en 10 à 15 minutes.**

## **b) RÉALISATION DE LA TRÉMIE**

### **- Généralités**

**La trémie doit être facile d'accès, donc au ras du sol, et sur un circuit simple des véhicules. Elle doit être hors d'eau, quelle que soit la saison: un vaste auvent l'abritera des pluies.**

### **- Forme**

**Selon le mode de reprise, la trémie sera:**

**\* en forme de pyramide régulière renversée si la reprise est faite par vis,**

**\* en forme de pyramide irrégulière si la reprise est faite par élévateurs à godets. Le côté près de l'élévateur sera vertical pour permettre la vidange complète dans le pied d'élévateur.**

- **Reprise par vis**

La trémie a la forme d'une pyramide régulière à base carrée ou d'un cône. La profondeur doit être au moins égale à la moitié du côté de la base, l'optimum étant 0,7 fois la dimension du côté pour obtenir un bon écoulement du grain.

Si la base ne peut être que rectangulaire, la profondeur sera de 0,7 fois la longueur du rectangle et la largeur doit être au moins égale à 0,7 fois la longueur.

**Exemples:**

| <b>TRÉMIE CARRÉE</b>        |                            |             |                   |
|-----------------------------|----------------------------|-------------|-------------------|
| <b>Capacité de stockage</b> | <b>Volume de la trémie</b> | <b>Base</b> | <b>Profondeur</b> |
| <b>(q)</b>                  | <b>(m<sup>3</sup>)</b>     | <b>(m)</b>  | <b>(m)</b>        |

| 1 000                       | 8                          | 3,30 x 3,30    | 2,25            |                   |
|-----------------------------|----------------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 3 000                       | 16                         | 4,00 x 4,00    | 3,00            |                   |
| <b>TRÉMIE RECTANGULAIRE</b> |                            |                |                 |                   |
| <b>Capacité de stockage</b> | <b>Volume de la trémie</b> | <b>Largeur</b> | <b>Longueur</b> | <b>Profondeur</b> |
| <b>(q)</b>                  | <b>(m<sup>3</sup>)</b>     | <b>(m)</b>     | <b>(m)</b>      | <b>(m)</b>        |
| 1 000                       | 8                          | 2,60           | 3,60            | 2,50              |
| 3 000                       | 16                         | 3:30           | 4,60            | 3,20              |

**La petite trémie à reprise par vis est intéressante dans les installations où les cellules sont disposées sur un arc de cercle ayant la trémie pour centre.**

- **Reprise par élévateur à godets**

**Contrairement au cas de reprise par vis, il semble que la meilleure forme ne soit pas le carré, mais un rectangle de largeur moitié de la longueur, la profondeur étant égale à 0,7 fois la longueur.**

**Si toutefois la base est carrée, la hauteur sera de 1,10 fois le côté.**

**L'élévateur est logé dans un puits accolé à l'un des côtés de la trémie et extérieur à celui-ci. Ce puits doit être assez vaste pour permettre tous les contrôles et réparations. On retiendra 1,5 m x 2 m comme dimensions de fosse pour un élévateur et 3 x 3 m s'il y en a plusieurs. Si le puits d'élévateur est à un angle de la pyramide, il faut prévoir une trémie à base carrée.**

**Exemple (avec élévateur au centre d'un côté)**

| Capacité de stockage | Volume de la trémie | Longueur | Largeur | Profondeur |
|----------------------|---------------------|----------|---------|------------|
| (q)                  | (m <sup>3</sup> )   | (m)      | (m)     | (m)        |
| 1000                 | 8                   | 4,00     | 2       | 3,00       |
| 1500                 | 10                  | 4,50     | 2,25    | 3,15       |
| 2000                 | 13                  | 4,80     | 2,40    | 3,40       |
| 3000                 | 16                  | 5,20     | 2,60    | 3,60       |

**Si les véhicules circulent sur la trémie, les dimensions minima seront:**

longueur : 6,00 m

largeur : 3,00 m

**La fosse d'élévateur devra alors descendre à 6 m au moins. Cette profondeur importante risque de provoquer des infiltrations d'eau dans certains sols; on pourra alors surélever légèrement la trémie.**

- **Reprise par transporteur horizontal à chaîne ou à bande**

**La trémie est alors en forme de «V» et le transporteur, placé sous l'arête inférieure, est alimenté par des trappes placées sur toute la longueur de l'arête.**

**Ce type de trémie permet des capacités importantes sans devoir creuser très profondément (terrains humides ou rocheux). En contrepartie, le coût des appareils de manutention est plus élevé.**

### ***- Réalisation***

**Pour les trémies classiques, les parois doivent être construites en béton de 12 à 15 cm d'épaisseur, avec enduit de 1 à 1,5 cm et couche d'étanchéité en sol humide. Lorsque la reprise est faite par élévateur à godets, il faut prévoir un puits, accolé au côté vertical de la trémie, suffisamment vaste et doté d'une échelle de visite.**

**Dans tous les cas, la trémie doit être recouverte d'un tablier à claire-voie pour éviter les**

**accidents. Ce tablier doit supporter le poids des véhicules, permettre l'écoulement des grains, mais comporter des barreaux suffisamment serrés pour ne pas laisser le passage à un pied (prévoir 3 à 4 cm entre ces barreaux ou poutrelles). Pour les trémies à déversement latéral, il faut prévoir une forte cornière servant de butée lors de la marche arrière des véhicules.**

### ***6.3.1.3. Matériel de nettoyage***

**Dans une masse de grains, les fines ou farines, les débris végétaux, les grains cassés, etc. sont les éléments les plus vulnérables face aux attaques de moisissures ou d'insectes et constituent des foyers d'infestation potentielle. On cherchera donc dans tous les cas à les éviter. D'autre part une recherche de la qualité (produit homogène) doit conduire à éliminer tout ce qui n'est pas du grain sain (grains avariés, autres graines...).**

**Le NETTOYAGE des grains est donc INDISPENSABLE si l'on veut parvenir à un stockage correct et à des habitudes commerciales loyales. Il existe trois catégories d'appareils de nettoyage**

#### **a) LE TARARE**

**Les grains passent devant un courant d'air produit par un ventilateur soufflant. Un jeu de tamis métalliques sépare les grosses impuretés et les particules fines et lourdes des bons**

**grains. Cet appareil est généralement d'assez faible débit et présente souvent l'inconvénient de n'être pas prévu pour récupérer les impuretés qui s'échappent avec le courant d'air (Fig. 168).**

**Fig. 168: Tarare. Trieur. (Doc. DARRAGON.)**

- (1) Impuretés légères emportées dans le courant d'air.**
- (2) Grosses impuretés.**
- (3) Particules fines - Petites graines.**
- (4) Bonnes graines.**

**De nombreux modèles sont fabriqués. Leur défaut fréquent est un manque de robustesse car les matériels légers doivent être souvent déplacés d'un point d'achat, ou d'une aire de battage à d'autres.**

**Entraînés manuellement ou avec un moteur, ils permettent des débits dépassant 1 t/h pour certains.**

**La diffusion de matériels de ce type, robustes et à entraînement manuel, dans les zones de production, est une condition indispensable à l'amélioration de la commercialisation des céréales.**

## **b) LES PRÉNETTOYEURS**

### **- Le prénettoyeur circulaire (Fig. 169)**

**Le grain est amené dans un entonnoir d'alimentation placé à l'intérieur d'une boîte centreuse et tombe sur un cône de répartition réglable qui le distribue de façon uniforme sur le pourtour de l'appareil. Une double aspiration enlève les déchets légers et certains grains cassés. La puissance nécessaire est faible: 1 ch pour 130 à 200 q/h environ.**

### **- Le prénettoyeur à tambour (Fig. 170)**

**Le grain s'écoulant de la trémie par un volet réglable traverse les mailles d'un tambour qui retient et élimine les gros déchets (rafles, spathes, etc.). Les grains sortant du tambour sont soumis à une aspiration qui permet une seconde sélection éliminant les éléments fins et légers, ceux-ci sont récupérés dans une chambre de détente et évacués par une vis.**

**[Fig. 169: Prénettoyeurs circulaires.](#)**

**[Fig. 170: Prénettoyeur à tambour. \(Doc. CESBRON.\)](#)**

**Une brosse rotative permet le dégommage du cylindre. Certains de ces appareils peuvent atteindre des débits de 100 tonnes/heure avec une puissance installée de 6 ch (Fig. 170). Ils sont utilisés pour le prénettoyage avant séchage artificiel de grains humides récoltés mécaniquement.**

**- L'émotteur (Fig. 171)**

**C'est un prénettoyeur à tamis plan à grosses perforations qui laisse passer le bon grain et retient les plus grosses impuretés. Il s'emploie également principalement sur grain humide.**

**[Fig. 171: «Émotteur». \(Doc. DENIS.\)](#)**

**c) LE NETTOYEUR-SÉPARATEUR (Fig. 172)**

**C'est l'appareil classique de nettoyage à grand débit. Les grains sont introduits dans une trémie d'alimentation et distribués en nappe régulière sur toute la largeur de l'appareil par une vanne réglable à contrepoids ou un rouleau distributeur cannelé.**

**A la sortie de la trémie d'alimentation, une première aspiration entraîne les impuretés légères dans une chambre de détente où elles vont se déposer et être évacuées par une vis ou une goulotte.**

**Les grains tombent sur un premier tamis. dit «Émotteur» qui retient et élimine par vibration les grosses impuretés (épis, pierres, rafles, etc.). Après cet émottage, les grains tombent sur un second tamis dit «Cribleur» qui ne laisse passer que les fines impuretés (petites graines, grains cassés, sable...).**

**A la sortie du tamis cribleur les grains subissent une seconde aspiration qui récupère les dernières impuretés légères.**

**Le choix des perforations de tamis est fonction du type de graines à nettoyer. Avec des graines rondes on conseille un tamis émotteur à trous ronds et un tamis criblant à trous longs. Avec des graines allongées les deux tamis sont à trous longs. Il ne s'agit que d'orientations générales et un nettoyeur-séparateur ne vaut que par l'importance du jeu de tamis dont disposent les opérateurs pour s'adapter aux dimensions des graines qu'ils reçoivent. Différents dispositifs (brosses, marteaux, boules) sont prévus pour débarrasser les grilles de grains obstruant les perforations. Les brosses sont peu efficaces pour faire ressortir les grains allongés pris dans la grille, des marteaux ou des boules sont préférables.**

**Différents réglages coexistent sur les nettoyeurs-séparateurs:**

- Réglage du débit de grain. A titre indicatif le débit adopté pour le nettoyage fin en station de semences est le dixième du débit annoncé en grain de**

**consommation.**

- Réglage des aspirations à l'entrée et à la sortie. Un «bon» réglage doit provoquer l'envolée de «quelques» bons grains.
- Réglage de l'amplitude et de la fréquence des oscillations des tamis (sur certains modèles).
- Pour certains produits, telle l'arachide en coques, une toile peut être placée sur le tamis émotteur de façon à peser sur les graines et les obliger à traverser le tamis tout en empêchant les grosses impuretés de rebondir et de traverser en se présentant verticalement.

Le mouvement de sassage très rapide des porte-grille est commandé par des bielles, les porte-grille sont en mouvements opposés pour équilibrer l'ensemble et éviter les vibrations de l'appareil.

**[Fig. 172: Nettoyeur-séparateur \(à un seul porte-grille\). \(Doc. DUPUIS.\)](#)**

Pour les appareils à débit important (200 q/h) le nettoyeur comporte deux ensembles porte-grille. Le grain sortant de la trémie d'alimentation tombe sur une série de chicanes qui partagent le flot en deux parties égales. Une partie s'écoule sur le porte-grille

**supérieur et l'autre sur le porte-grille inférieur. Après nettoyage, les deux flots de grains se réunissent dans la trémie bon grain.**

**[Fig. 173: Nettoyeur-séparateur débit 5 t/h. \(Doc. DENIS.\)](#)**

**[Fig. 174: Nettoyeur-séparateur débit 20 t/h. \(Doc. DENIS.\)](#)**

**Le nettoyeur-séparateur est l'appareil de base pour le nettoyage dans une chaîne de stockage.**

**Il peut être monté sur un bâti surélevé pour permettre l'ensachage des graines et des déchets du nettoyage.**

**Il peut rendre de grands services pour le reconditionnement des produits souvent pratiqué dans les unités de stockage en sacs.**

---

**[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](#)

---

## 6.3.2. Manutention des grains

### 6.3.2.1. *Vis d'Archimède*

Les vis sont des matériels très courants pour la manutention des grains. Elles se composent d'une spirale (filet hélicoïdal) entraînée en rotation dans un carter ouvert (vis en auge) ou fermé (vis sous tube).

#### VIS EN AUGES

##### a) DESCRIPTION GÉNÉRALE

La vis est constituée à partir d'un axe sur lequel est soudée la spire mise en forme à partir d'une tôle plane continue avec une machine-outil spécifique.

L'écrouissage du métal lors de son passage dans la machine améliore la résistance mécanique de l'acier, sa tenue à l'abrasion et réduit son coefficient de frottement, donc la puissance nécessaire.

L'axe doit être soigneusement choisi par le fabricant pour transmettre sans torsion

**l'effort nécessaire au transport du produit et rester rectiligne. La longueur unitaire des axes est de 3 à 4 m en général.**

**La vis est placée dans une auge en tôle épaisse en forme de U et recouverte par une tôle mince pour éviter l'émission de poussières. Le niveau du produit ne doit pas dépasser l'axe de la vis (45 % de la section d'auge). Avec les produits difficiles, on travaille sur 1/3, voire 1/4 seulement de la section. En général, les vis en auge sont surtout employées pour des manutentions horizontales; toutefois elles peuvent travailler jusqu'à des inclinaisons de 25-30°, voire 45°, mais alors au détriment du débit (diminution de 1/3 environ) et en l'équipant avec des filets spéciaux (filet court).**

**La vitesse de rotation recommandée est très variable selon le produit transporté. Aux États-Unis, sur les grains, les vitesses de rotation sont comprises entre 165 tr/mn pour les vis de 15 cm de diamètre, et 120 tr/mn pour celles de 40 cm de diamètre. Pour les farines, la vitesse ne dépasse pas 120 tr/mn pour 15 cm de diamètre, et 80 tr/mn pour 40 cm. Enfin pour les produits abrasifs, la vitesse est réduite à 60 tr/mn ( $\emptyset$  15 cm) et 45 tr/mn ( $\emptyset$  40 cm).**

**En France, où le diamètre des vis excède rarement 30 cm, les vitesses de rotation sont de l'ordre de 100-130 tr/mn au-delà de 12 cm de diamètre et 170 tr/mn en deçà.**

**Il est toujours possible d'augmenter la vitesse de rotation d'une vis pour en accroître le**

**débit, mais au détriment de la longévité. Pour limiter les brisures, il est conseillé de ne pas dépasser certaines limites selon le produit. Ainsi, pour le maïs, la formule empirique:  $N = 125 - 12 D$  (N en Tr/mn et D en dm) indique la vitesse maximum en fonction du diamètre.**

**Exemple:**

**Vis de 25 cm de diamètre;**

**$N = 125 - 12 \times 2,5 = 95$  tr/mn.**

**- «Pas» des vis**

**Le «pas» d'une vis est la distance entre deux filets consécutifs.**

- **les filets classiques ont un pas égal à leur diamètre;**
- **les filets longs ont un pas égal à 1,5 fois le diamètre; on les utilise pour les produits coulant facilement, lorsque l'on recherche un transport rapide et un bon brassage du produit;**
- **les filets courts ont un pas égal aux 2/3 de leur diamètre. Leur débit est plus faible que celui des filets normaux. Ils sont utilisés pour les produits trop fluides et sur les vis**

## élevatrices.

### - *Différentes formes de filets*

- le filet classique est un ruban de tôle plein et soudé en continu sur l'axe;
- le filet creux ou filet ruban est employé avec les produits fragiles ou usant (paddy), ou coulant mal (visqueux). Il évite l'accumulation de produit à la liaison filet-tube central. En outre, il opère un bon brassage en cours de transport (vis mélangeuse);

### [Fig. 175: Schéma de différents filets de vis.](#)

- les filets dentelés ou avec pales intermédiaires favorisent l'agitation et le mélange du produit;
- les filets à double spire sont formés de 2 filets décalés de la moitié de la longueur du «pas». Ce type de vis permet d'obtenir un écoulement très régulier, sans heurts pour le produit;
- les filets discontinus sont constitués de palettes, ailettes, etc. disposées en spirale sur l'axe. Ils permettent de mélanger et de décolmater des produits difficiles à transporter;

- **les filets coniques permettent de régulariser le débit d'une vis alimentée de façon irrégulière. On les emploie comme vis d'extraction sous les cellules.**

### **- *Paliers***

**Ils doivent être bien alignés et rapprochés tous les 3 à 4 m, pour éviter les flexions. Le ferodo de gaïac ou le cuir vert sont recommandés pour réaliser les paliers lisses intermédiaires. Les paliers à roulements à aiguilles sont excellents mais coûteux et risquent de se colmater à la longue. Sur les petites vis, le palier est à plateau en fonte avec bague d'usure, ou à roulement à billes. Il est fixé dans la tôle épaisse d'extrémité de la vis (about). Sur les plus grosses vis, le palier est sorti de l'auge et fixé sur un étrier plus rigide. Une bague d'étanchéité est alors placée au passage de l'axe dans l'about.**

### **- *Vannes de sortie***

**Ces vannes sont généralement planes et actionnées soit par une crémaillère manuelle, soit par vérin pneumatique commandé à distance. Pour obtenir une vidange plus complète, il est possible de prévoir des vannes cylindriques qui épousent la forme de l'auge.**

### **- *Couvercle***

**Soit plat (avec ou sans feutre d'étanchéité), soit bombé pour les vis exposées aux intempéries.**

***- Dépoussiérage***

**Pour éviter l'émission de poussières, les vis sont couvertes avec une tôle mince. Il est également possible de les relier à une aspiration d'air, laquelle doit être faite dans le sens d'avancement du produit. Une prise d'air doit être ménagée à l'alimentation de la vis pour éviter de la mettre en dépression.**

***- Écartement - Auge-Vis***

**Il est au minimum égal à 1,5 fois la dimension du grain transporté, de façon à limiter le taux de brisures, donc il sera choisi en fonction du produit transporté et pourra entraîner des brisures importantes ou des restes en auge avec d'autres produits.**

***- Entraînement***

**Selon leur taille, les vis en auge seront entraînées par motoréducteur accouplé directement à l'arbre ou relié par courroies ou par chaîne à rouleaux.**

**b) ÉLÉMENTS DE CALCUL DES VIS EN AUGES**

**- Capacité**

**La capacité d'une vis est fonction de son diamètre, de sa vitesse de rotation, mais ces dimensions sont limitées par la nature du produit à transporter (ses dimensions, sa fragilité, son abrasivité).**

**En pratique, le produit occupe au maximum 45 % de la section de la vis et en moyenne 30 %.**

**\* Débit volume à transporter/heure:**

$$V \text{ m}^3 = \frac{\text{Débit masse (tonnes / h)}}{\text{densité (t / m}^3\text{)}}$$

**\* Débit masse - avec un remplissage classique de 45 % de la section d'auge:**

$$Q = 0,02 D^3 N Ps$$

**avec**

**Q** t/h

**D** diamètre de la vis en dm

**N** vitesse de rotation de la vis en  
tr/mn

**Ps** densité du produit.

**Exemple: Débit d'une vis de 30 cm de diamètre tournant à 90 tr/mn avec du maïs à 0,75 de densité:**

$$Q = 0,02 \times 3^3 \times 90 \times 0,75 = 36,45 \text{ t/h}$$

**- Puissance absorbée**

**Formule pratique:**  $W = K \left( \frac{QL}{136} + \frac{QH}{367} \right)$

**avec**

**W** en kW

**Q** en t/h

**H** hauteur d'élévation pour une vis inclinée en m

**L** longueur de la vis en m

**K** coefficient à appliquer selon le produit

- grain sec et propre  $K = 0,5$
- grain «normal»  $K = 1,0$
- produit lourd abrasif coulant mal  $K = 1,5$

### Exemple:

**Vis précédente sur du grain sec et propre.**

**Longueur 15 m - Inclinaison 20° (élévation 5 m)**

$$W = 0,5 \left( \frac{36,45 \times 15}{136} + \frac{36,45 \times 5}{367} \right) = 0,5 (4,02 + 0,50)$$

$$W = 2,01 + 0,25 = 2,26 \text{ kW}$$

**On remarque que la puissance absorbée par l'élévation du grain est relativement faible comparée à celle nécessaire au transport horizontal. L'inclinaison des vis est possible sans baisse importante de débit jusqu'à 30°; à 45° la diminution de débit est de 1/3 environ.**

**Chez les fabricants, la puissance installée sur les vis rapportée à la tonne transportée et au mètre de longueur (horizontale) varie de 0,03 kW/t/m pour les plus courtes et les**

**faibles débits (10 t/h sur 4 m) à 0,005 pour les grosses vis (50 t/h sur 20 m et au-delà).**

### **c) AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES VIS EN AUGES**

#### **- *Avantages***

- à débit égal, la vis en auge absorbe 15 à 20 % de puissance en moins que la vis sous tube,
- moins coûteuse à l'achat que les transporteurs à bande ou à chaîne,
- convient bien aux débits inférieurs à 30 t/h et pour des longueurs jusqu'à 25 m. Aux USA, où l'objectif prioritaire est l'investissement minimum, les vis atteignent 50 cm de diamètre.

#### **- *Inconvénients***

- casse du grain,
- encombrement supérieur de 40 à 50 % à celui du transporteur à chaîne ou d'une vis sous tube, mais 2,5 fois plus faible que celui d'une bande,
- investissement supérieur de 20 à 25 % à celui d'une vis sous tube (40 % en extérieur),

- **difficile à nettoyer, donc inutilisable en station de semences,**
- **puissance requise 70 à 80 % plus élevée que celle d'un transporteur à chaîne, et 3 fois plus élevée que celle d'un transporteur à bande.**

## **VIS SOUS TUBE**

**La vis sous tube est l'outil classique de manutention à débit faible ou moyen. Elle est souvent mobile, soit par déplacement manuel; soit montée sur chariot.**

### **a) DESCRIPTION GÉNÉRALE**

**La vis tourne dans un tube en acier de 2,5 à 4 mm d'épaisseur. Les vis sous tube sont en général de petit diamètre (250 mm est un maximum) et travaillent en section pleine. Leur vitesse de rotation est souvent double de celle des vis en auge, et leur débit est sensiblement triple. Leur débit est diminué de 1/3 à 45° et de 2/3 à 90°. La puissance absorbée est comprise entre 0,010 et 0,020 kW/tonne/mètre selon le type de vis. Il faut noter que la puissance consommée est largement fonction des caractéristiques du grain; ainsi une vis de 15 cm de diamètre consomme 4 fois plus de puissance avec du maïs à 25 % d'humidité qu'avec du maïs à 14 %. Par ailleurs, on note une baisse de débit de 10 à 30 % lorsque l'alimentation de la vis est protégée par une elle.**

## **b) TECHNOLOGIE DE CONSTRUCTION**

### ***- Entraînement***

**Les vis travaillent toujours en traction. Le moteur est placé à l'opposé de l'arrivée du grain. L'axe est entraîné par un moteur électrique et un réducteur à poulies-courroies qui joue le rôle de sécurité en patinant si un bourrage se produit, et qui évite les à-coups au démarrage. La tension de la courroie est réglée en faisant pivoter le plateau support de moteur. Sur les vis de gros diamètre, l'entraînement poulie-courroie est souvent remplacé par un réducteur à arbre creux moins encombrant.**

**Sur les petites vis, l'entraînement (moteur-réducteur) représente 25 à 50 % du prix total du matériel, c'est pourquoi certains constructeurs proposent des vis à tête motrice démontable qui peut être adaptée sur plusieurs vis.**

### ***- Paliers***

**Les vis de moins de 125 mm de diamètre sont montées sans palier intermédiaire, ce qui limite leur longueur à 8-10 m.**

**Les tourillons, en acier, sont montés sur paliers à billes,**

**- Poids des vis sous tube**

Elles sont en général légères, ce qui rend leur déplacement aisé.

**Exemples:**

| Ø (mm) | L (m) | P<br>(kg) |
|--------|-------|-----------|
| Ø 160  | 10    | 200       |
| Ø 240  | 10    | 400       |
| Ø 300  | 10    | 600       |

**- Entretien**

Peu important; le réducteur doit être vidangé au moins une fois par an, et la tension des courroies vérifiée chaque semaine. Les principales difficultés proviennent de matières étrangères qui se bloquent entre la vis et l'auge (ou le tube).

**c) AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS**

**- *Avantages***

- robuste,
- manutention sous tous les angles,
- encombrement faible,
- légère - démontable,
- bon marché (au-dessous de 30 t/h et 30 m de longueur).

**- *Inconvénients***

- puissance consommée élevée,
- plus encombrante qu'un transporteur à chaîne,
- casse du grain importante,
- usure rapide,
- vidange incomplète,
- matériel dangereux, nombreux accidents.

**VIS SPÉCIALES**

**- *Vis balayeuse***

**Ce type de matériel est utilisé pour la vidange des cônes résiduels des cellules rondes à**

**fond plat. La vis, égale au rayon de la cellule, est fixée sans gaine sur un axe situé au centre du silo. A sa mise en route, elle s'enfonce dans le grain et le ramène au centre de la cellule. Lorsqu'elle arrive au fond, ses filets portent sur le sol et la forcent à tourner horizontalement autour de l'axe de rotation. Elle reste ainsi en contact avec le grain jusqu'à la vidange complète de la cellule. Le grain est évacué vers l'extérieur par une vis sous tube.**

**Les débits atteignent 20 t/h. La vis n'ayant pas de gaine, elle ne casse pas le grain.**

**- *Vis de reprise intégrale* (cf. Fig. 125)**

**Pour la vidange de cellules de 8 à 15 m de diamètre.**

**Débit jusqu'à 50 t/h.**

**Une vis conique à pas progressif actionnée par un moteur électrique pivote autour de l'axe de la cellule en amenant le grain du cône résiduel à l'auget central.**

**L'avancement de la vis, très lent et régulier, est assuré par une roue pneumatique supportée par un bras articulé qui exerce une pression constante sur le fond de la cellule.**

**Cette roue est débrayable et permet de déplacer l'ensemble lorsque la cellule est vide. Son entraînement est fait à partir du mouvement de la vis.**

**Une tôle rigide placée derrière celle-ci supporte le ou les paliers intermédiaires et permet une vidange complète en un seul passage.**

**La reprise dans l'auget central est assurée par une vis de reprise sous tube qui, passant sous la cellule, déverse le produit à l'extérieur.**

**Cette vis qui transmet le mouvement à l'ensemble (avec 2 renvois d'angle), peut être remplacée par un transporteur à chaîne ou un appareil similaire. Dans ce cas, la commande moteur est placée sous la cellule (entre le plancher et l'appareil de reprise) ou directement dans le grain.**

**Remarque: Afin de pouvoir libérer la vis conique au départ des opérations de vidange du cône résiduel, il est impératif que la cellule comporte une ou plusieurs sorties intermédiaires suivant un rayon. L'ensemble vis-raclette sera placé au-dessus de ces sorties lors du remplissage de la cellule.**

**- *Vis Taupin***

**Tube plastique ou tuyau métallique souple de 70 à 80 mm de diamètre et 10 m de**

**longueur contenant 2 ressorts concentriques tournant en sens inverse et à des vitesses différentes. Le mouvement est fourni par 2 moteurs électriques placés dans le prolongement l'un de l'autre. L'un des moteurs a un arbre creux laissant passer l'arbre de l'autre. L'effet de cisaillement entre les ressorts propulse le produit dans l'axe du tube sans l'entraîner en rotation.**

- Débit : 10 à 20 m<sup>3</sup>/h
- Puissance : 1 à 4 ch
- Longueur : 6 à 12 m.

**Acceptant un rayon de courbure maximum de 1,5 m (prévoir une partie rectiligne de 2 m avant le moteur), ce type de vis est utile pour évacuer du grain d'endroits d'accès difficile (fosses d'élévateurs, galeries...).**

### **6.3.2.2. Élévateur à godets**

#### **a) PRINCIPE**

**L'élévateur à godets se compose d'une sangle formant courroie tendue verticalement entre une poulie de tête-motrice et une poulie de pied dont l'axe est déplaçable en hauteur pour permettre le réglage de la tension. Des godets sont fixés sur la sangle et**

**l'ensemble est enfermé dans un bâti en bois ou en tôle, équipé d'une goulotte d'alimentation dans le pied de l'élévateur où les godets se remplissent par pelletage et d'une tête de forme appropriée pour évacuer le grain par projection centrifuge.**

**Les hauteurs d'élévation peuvent dépasser 70 m.**

### ***Vitesse***

**La vitesse de la sangle dans les élévateurs classiques est de 2,5-3 m/s, donc relativement lente et adaptée à un travail continu. Pour les élévateurs moins utilisés, il est possible d'employer des vitesses supérieures - 5-6 m/s -avec des gabarits de matériel plus faibles, ce qui permet une économie d'investissement mais des coûts de fonctionnement plus élevés (énergie cinétique transmise au produit plus importante).**

**Pour les farines et les pulvérulents de poids spécifique faible (0,2 t/m<sup>3</sup>), on utilise également des élévateurs à grande vitesse, car la masse est faible et le produit ne craint pas les brisures.**

**Pour les produits fragiles, la vitesse est limitée (1 m/s pour les semences, 1,20 m/s pour les fèves de cacao, etc.). Par contre, pour éviter le collage des grains de maïs très humides (30-40 %), la vitesse ne doit pas être inférieure à 3 m/s.**

## **b) DESCRIPTION**

### **- *Bâti***

**Autrefois en bois, difficile à nettoyer et à désinsectiser, le bâti est maintenant très généralement en métal sous forme d'éléments en caisson de 2 à 3 m de longueur raccordés par brides boulonnées.**

**Les éléments doivent être montés selon une verticale rigoureuse sinon la sangle et les godets frottent et usent rapidement le bâti.**

- **Sur les petites installations, l'élévateur peut être placé au niveau de la dalle, voire surélevé, pour faciliter le nettoyage du pied (stations de semences).**
- **Des éléments ouvrants doivent être prévus sur les colonnes montantes et descendantes pour faciliter le démontage de la sangle, ou le remplacement des godets.**

**[Fig. 178: Élévateur à godets.](#)**

### **- *Tête d'élévateur***

**La tête a une forme étudiée pour permettre la projection centrifuge des grains. Elle est donc spécifique à une vitesse de sangle et un type de grain.**

**Intérieurement, elle peut être doublée par un revêtement d'usure aisément démontable (plaque en acier mangano-siliceux, fonte alliée ou caoutchouc).**

**Un dispositif antiretour est nécessaire surtout sur les élévateurs rapides ou de grande hauteur, afin d'éviter le retour en arrière de la sangle, en cas d'arrêt accidentel en charge. Pour limiter la casse du grain, une boîte de chute sera placée à 1 in environ après la jetée. A la tête des élévateurs, est souvent placée une tête de distribution à directions multiples.**

### ***- Pied d'élévateur***

**Le pied doit être doté d'une trappe de vidange facile d'accès pour permettre le débouillage. Dans les grandes installations, le pied de l'élévateur est dans une fosse qu'il faut prévoir suffisamment vaste pour que les ouvriers puissent y travailler et dotée d'une échelle d'accès (et d'un aspirateur de grain). Des plaques d'usure amovibles permettent une remise en état aisée,**

### ***- Poulies***

**Les poulies sont pleines ou ajourées. La poulie supérieure comporte des cannelures pour le passage des têtes de boulon des godets. En cas de surcharge, la sangle peut patiner sur la poulie supérieure. Ce patinage provoque son usure et peut à la limite causer un incendie. Pour cette raison, les poulies de tête ont un revêtement à fort coefficient de friction avec la sangle, En l'absence de patinage, la surcharge est transmise au moteur sur lequel est prévue une sécurité électrique qui l'arrête.**

**Pour les produits fragiles, on peut utiliser des poulies inférieures en cages d'écureuil et à joues ouvertes qui évitent l'écrasement des graines entre la poulie et la sangle.**

**L'axe de la poulie inférieure se déplace verticalement pour régler la tension de la sangle. Sur les petits élévateurs, le réglage se fait par vis; sur les gros, il peut être à contrepoids ou par tension hydraulique automatique. Le réglage de la tension modifie la position des godets par rapport au bâti dans le pied d'élévateur, ce qui peut perturber le chargement des godets et augmenter la casse. Des plaques incurvées sont parfois prévues pour régler l'écartement bâti-godet et, sur de grands élévateurs, c'est l'ensemble du pied qui se déplace et pas seulement la poulie.**

### **- Sangle**

**Les sangles modernes ont une armature interne en acier ou en fibres synthétiques (polyester), matériaux qui sont moins sensibles aux variations d'hygrométrie que les**

**armatures en coton employées autrefois. (La constitution et l'agrafage des sangles sont étudiés avec les bandes transporteuses.)**

**Remarque: Les sangles se stockent en roue verticale, pas à plat.**

**- *Godets***

**Il existe toute une gamme de godets en matériaux et de formes différentes, adaptés à chaque produit.**

- **Godets classiques en fer blanc ou en acier galvanisé.**
- **Godets plastique - relativement souples et blessant peu les produits.**
- **Godets inox (chers) (usages spéciaux)**
- **Godets caoutchouc (chers) (usages spéciaux).**

**Écartement entre les godets: fonction des dimensions.**

**[Fig. 179: Schéma de godets sans fond. \(Doc. AGRITEC.\)](#)**

**Godets «sans fond»: ces godets ne sont fermés que tous les 10 éléments environ. Très rapprochés, ils créent une colonne de produit continue, et permettent de gros débits. Ils sont surtout employés pour accroître la capacité d'élévateurs existants mais certaines**

**précautions doivent être prises:**

**1° S'assurer auprès du fabricant que le corps de l'élévateur ne se vrillera pas sous l'effet du surcroît de charge auquel il est soumis.**

**2° Monter un moteur plus puissant.**

**3° S'assurer de la résistance de la sangle (solicitation passant de 60 N/mm en godet classique à 200 N/mm).**

**Fixation: Les godets sont fixés sur la sangle par des boulons à tête plate (côté sangle). L'écrou est freiné par une rondelle de cuir ou de tôle. Le perçage des sangles doit être fait avec une tige en forme d'obus ou une tige chaude, mais jamais avec une perceuse, pour éviter de détériorer la trame. Lors d'un premier montage, le serrage des godets ne sera pas trop poussé et sera repris après 3 à 4 jours de fonctionnement.**

**Pour les produits fragiles, il faut placer des entretoises entre le godet et la sangle pour éviter le pincement des graines.**

**- Gousset d'alimentation**

**Le gousset est en général placé sur le brin descendant, le godet piochant dans le pied de**

**l'élévateur pour obtenir un remplissage maximum. Avec les produits de faible densité (farine), l'alimentation brin descendant est également recommandée.**

**Pour les produits fragiles, on alimentera de préférence sur le brin montant.**

### ***- Dépoussiérage***

**La position de la prise de dépoussiérage par aspiration est à définir dans chaque cas. Il est judicieux de la placer sur la boîte de jetée qui fait suite à la tête.**

## **c) ÉLÉMENTS DE CALCUL DES ÉLÉVATEURS**

### **Débit théorique**

**Le débit peut être calculé logiquement connaissant**

- le volume d'un godet = C en litres
- le nombre de godets/mètre de sangle = n
- le poids spécifique du produit = Ps
- la vitesse de la sangle = V en m/s

**par la relation:  $Q \text{ tonnes/heure} = 3,6 \times C \times n \times Ps \times V$**

**Exemple:**

**$C = 2$  litres**

**$n = 4$  godets/mètre**

**$V = 3$  m/s**

**$Ps = 0,75$  t/m<sup>3</sup>**

$$Q = 3,5 \times 2 \times 4 \times 0,75 \times 3 = 64,8 \text{ t/heure}$$

**En pratique, connaissant le rayon de la poulie de tête, la vitesse de la sangle, difficile à mesurer directement, peut être calculée à partir de la mesure de la vitesse de rotation de la poulie par la relation**

$$V = \frac{2\pi}{60} R N$$

**V en m/s**

**R rayon poulie m**

**N vitesse de rotation tr/mn**

**(formule approchée:  $V = 0,1 R N$ )**

### **Puissance à appliquer sur l'arbre de poulie de tête**

**Cette puissance est calculée en France à l'aide de la formule empirique suivante qui prend en compte les pertes par frottements de toutes sortes qui sont de l'ordre de 30 %**

$$W = \frac{5}{1360} Q \times h$$

avec

**W en kW**

**Q en t/h**

**h en m**

**La puissance RÉELLE du moteur à mettre en place est encore supérieure car elle doit tenir compte du rendement du moteur et du rendement du dispositif d'accouplement entre le moteur et l'arbre de la poulie (de l'ordre de 80 à 90 %).**

**En pratique, les puissances installées par les constructeurs sont comprises entre 0,01 ch/t/m pour les plus petits modèles (15 t/h) et 0,006 ch/t/m pour les plus gros (200 t/h).**

## **- Sécurité**

**Le principal élément à surveiller est la bonne tension de la sangle pour éviter le patinage générateur d'usure prématurée de la sangle, d'échauffements et d'incendies.**

**Un contrôleur de vitesse de rotation de la poulie de pied permet déclencher une alerte ou la coupure du moteur. «L'oreille» des responsables est aussi un important facteur de sécurité, car le bruit de l'élévateur renseigne souvent sur son fonctionnement.**

**Des regards transparents sur les brins montant et descendant permettent de contrôler le remplissage des godets et l'absence de grain au retour (défaut facile à déceler au bruit).**

**Les accidents surviennent parfois lors du débouillage. Avant toute intervention, il faut s'assurer que le dispositif de mise en marche est condamné, vérifier l'absence d'accumulation de gaz carbonique dans la fosse, et de façon générale ne jamais travailler seul.**

### **d) ÉLÉVATEURS PARTICULIERS**

**Ils sont assez nombreux. Deux types intéressent plus particulièrement les zones tropicales:**

- l'élévateur à balancelles, adapté à la manutention de graines très fragiles telles que l'arachide,
- l'élévateur à palettes pour l'élévation des petits débits avec un faible investissement.

### *- Élévateurs à balancelles*

Les godets ne sont pas fixés sur une sangle mais sur deux chaînes latérales par des axes pivotants. Ainsi le godet reste en permanence dans la même position. L'alimentation se fait par gravité dans une section horizontale et la vidange par basculement forcé des godets. Le transport est donc très doux et les débits faibles (5 à 20 m<sup>3</sup>/h selon les modèles), mais ce principe permet des transports tant horizontaux que verticaux sans rupture de charge. La puissance absorbée et l'usure sont faibles. Ils sont utilisés en particulier pour la manutention des arachides de bouche.

### [Fig. 180: Élévateur à balancelles \(Schéma de principe.\)](#)

### *- Élévateurs à palettes*

Matériel bon marché intéressant pour les débits de 20 à 50 t/h sur de faibles hauteurs (4 à 8 m). Il est constitué d'une chaîne sur laquelle sont fixées des palettes en caoutchouc armé et peut fonctionner incliné. Associé à une trémie à vis de reprise horizontale, il

**constitue un outil intéressant pour la reprise de livraisons en vrac au niveau du sol sans trémie enterrée, ni fosse d'élévateur, toujours coûteuses. Il s'agit toutefois d'un matériel léger adapté à un service discontinu.**

### ***6.3.2.3. Transporteurs à bande***

**Le produit à transporter, vrac ou charges unitaires, est déposé sur une bande qui circule sur un support à faible coefficient de frottement (rouleaux ou surface polie) et est entraînée par un tambour d'extrémité.**

**En manutention de grain, les bandes ont des longueurs en général comprises entre 30 et 150 m, une largeur de 50 cm à 1 m, et des débits de 50 à 500 tonnes/heure. Dans l'industrie, on utilise des bandes beaucoup plus grandes (13 km pour le transport du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie).**

#### **a) DESCRIPTION GÉNÉRALE (Fig. 181)**

**Les principaux éléments d'une bande transporteuse sont:**

- **la bande,**
- **le support: rouleaux ou surface polie,**
- **les tambours de traction, renvoi et tension.**

## **Fig. 181: Transporteur à bande. (Doc. DENIS).**

### **Bande**

**A elle seule, elle représente 50 % du prix du transporteur. Elle est composée d'une carcasse noyée dans un revêtement. La carcasse assure la résistance à la traction, la tenue latérale et la résistance aux chocs, tandis que le revêtement va assurer, à la partie supérieure, la résistance à l'abrasion par le produit transporté, et, à la partie inférieure, la bonne tenue sur le support.**

**Chaque bande est définie par sa tension de service laquelle est en général fixée au 1/10 de la résistance à la rupture.**

**Les valeurs classiques de tension de service sont de 50 à 63 N/mm de largeur de bande.**

**Selon la tension de service recherchée, la carcasse sera de constitution différente:**

**Autrefois, les carcasses étaient formées d'un empilement de plis en coton. Celui-ci a maintenant fait place aux fibres synthétiques dont les caractéristiques sont supérieures:**

- adhérence supérieure avec les revêtements caoutchouc,**
- bandes de plus faible épaisseur ayant une plus grande longévité car subissant**

## moins de contraintes au passage des tambours.

**La carcasse est un tissage de fils de chaîne et de fils de trame.**

**En général, les fils de chaîne sont en polyester et les fils de trame en polyamide qui résiste mieux que le polyester à la compression, ce qui permet de relever les côtés de la bande à 45°, donc de l'utiliser à son maximum de capacité, alors que les trames en coton ne permettent pas des angles supérieurs à 20°.**

**Exemples:**

| <b>Urgent de bande (cm)</b> | <b>Inclinaison des bords</b> | <b>Vitesse</b> | <b>Débit</b>          |
|-----------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|
| 100                         | 200                          | 1 m/s          | 325 m <sup>3</sup> /h |
| 100                         | 450                          | 1 m/s          | 418 m <sup>3</sup> /h |

**Les fibres synthétiques résistant mieux à la flexion que le coton, il est possible de prévoir des tambours d'extrémités de plus petit diamètre, donc moins coûteux.**

**L'allongement en service est peu différent entre fibres synthétiques et coton (1 à 1,5 % contre 2 %); par contre, l'allongement à la rupture est supérieur (15 % contre 7-8 %). L'avantage des fibres synthétiques sur le coton est la constance de leurs caractéristiques**

**quelles que soient les conditions d'humidité relative et de température.**

**- *Revêtement***

**En général, le revêtement est en caoutchouc (dont 40 % de caoutchouc naturel qui apporte une bonne résistance à l'abrasion et le reste en caoutchouc synthétique qui supprime pratiquement l'apparition des craquelures au cours du vieillissement).**

**Lorsqu'il est indispensable de ne retrouver aucune particule de bande dans le produit (bande alimentaire), le revêtement est en chlorure de polyvinyle (PVC).**

**Pour transporter des produits gras (tourteaux d'arachide), il est conseillé d'employer des bandes à revêtement plastique, les bandes en caoutchouc présentant rapidement un gonflement chimique de la partie supérieure.**

**Pour les bandes inclinées à plus de 25°, le revêtement comporte des tasseaux retenant le produit.**

**- *Jonction***

**Deux moyens sont utilisés: la vulcanisation et l'agrafage, le premier étant plutôt employé sur les grosses bandes, le deuxième sur les plus petites et sur les sangles d'élévateur.**

- **Vulcanisation à froid**

Elle n'exige pas de matériel spécial, mais sa réussite est délicate en fonction de l'humidité relative de l'air et de la présence d'impuretés. La polymérisation demande 24 heures. Elle peut convenir si les tambours d'extrémité sont de grand diamètre (type bande coton), mais il est difficile d'en garantir la fiabilité.

- **Vulcanisation à chaud**

Elle est réalisée à 140° C sous une pression de 8 kg/cm<sup>2</sup> obtenue avec une presse à «sacs d'eau», qui permet d'appliquer une pression très régulière, même sur les bandes les plus larges, La vulcanisation à chaud est efficace à 100 %, c'est-à-dire que la jonction ne constitue pas un point faible.

- **L'agrafage**

Il ne permet pas d'obtenir une résistance comparable, ce mode de jonction ne supportant que 60 à 70 % de la tension nominale de la bande ce qui en diminue les capacités.

Pour réaliser un agrafage correct, on prendra soin de choisir des agrafes d'épaisseur égale à celle de la bande et de biseauter les bords de la courroie afin d'éviter les risques

## **d'accrochage.**

**Sur les élévateurs, l'agrafage ne permet pas de dépasser une tension de service de 40 N/mm. Le raccordement peut être exécuté comme illustré ci-après.**

### **[Fig. 182: Différents modes d'agrafage.](#)**

#### **Support**

**On trouve deux types de bandes, celles en V et celles à plat. Les bandes à plat circulent sur une surface polie (acier, bois) ou sur des rouleaux très rapprochés; elles sont utilisées pour le transport de charges isolées (sacs, colis, etc.) et circulent à petite vitesse sur de faibles distances. On les rencontre rarement dans la manutention des grains en vrac (bandes d'alimentation, bandes peseuses en continu). Les bandes en V sont, elles, très largement utilisées.**

**Les rouleaux support sont sur le brin supérieur au nombre de deux pour les bandes étroites (< 50 cm) avec des bords relevés à 30-35°; de trois pour celles plus larges dont la section est alors trapézoïdale (angle 20 à 30°). Pour faciliter le guidage de la bande, les rouleaux ne sont pas alignés, mais légèrement pincés (1 à 2°) et sur les grosses bandes, de place en place, un train de rouleaux, placé dans une zone de moindre tension, est autocentreur par pivotement autour d'un axe vertical; de plus, les rouleaux de flanc ne**

**sont pas cylindriques, mais légèrement coniques avec un angle au sommet de 3°.**

**Sur le brin inférieur, les rouleaux sont, soit à plat, soit en V inversé, également pour faciliter le guidage.**

**L'espacement entre les trains de rouleaux varie, selon la charge, entre 0,50 m et 2 m.**

## **Tambours**

**La figure 183 présente les différents tambours sur une bande.**

### **[Fig. 183: Schéma bande transporteuse.](#)**

**Les tambours sont en général à axe tournant dans des paliers à roulement à billes. Leur diamètre doit être calculé de façon à éviter le patinage de la courroie et l'application de contraintes de flexion à la bande. Sur les petites bandes, pour éviter le colmatage, le tambour peut être en cage d'écureuil. Le tambour de renvoi est important pour le centrage de la bande. Il est soit bombé (fabrication coûteuse), soit constitué d'un cylindre central et de deux extrémités tronconiques.**

**Sur le brin de retour, 10 à 40 cm avant le tambour de renvoi, un rouleau de contrainte, réglable en position, permet le réglage du guidage. Sur les bandes longues (longueur >**

**largeur x 50) des rouleaux identiques sont placés tous les 3 à 5 trains de rouleaux.**

## **b) MONTAGE, RÉGLAGE, ENTRETIEN ET SÉCURITÉ DES TRANSPORTEURS à BANDE**

### ***- Mise en place du transporteur***

**Dans la mesure du possible et pour obtenir la garantie du constructeur, la bande est vulcanisée en usine. L'ordre de montage est le suivant:**

- **démontage du tambour moteur pour mise en place de la bande,**
- **montage des éléments intermédiaires,**
- **mise en place du tambour de renvoi,**
- **mise en place du chariot déverseur,**
- **mise en place de la trémie d'alimentation.**

**Il est important que l'alimentation de la bande soit parfaitement centrée. Les alimentations obliques ou les chutes verticales trop hautes sont à proscrire. Les dispositions correctes sont l'alimentation inclinée dans l'axe de la bande ou mieux, l'alimentation verticale avec boîte de chute à l'entrée de la trémie d'alimentation (cf. schéma).**

**[Fig. 184: Schéma du chariot d'alimentation.](#)**

### **- *Mise en marche***

**Après s'être assuré de l'alignement des tambours, la tension doit être vérifiée. La bande se déplace toujours vers le côté le moins tendu. La tension est appréciée par la flèche entre deux rouleaux de retour selon les spécifications du constructeur. Le réglage du guidage se fera par démarrages successifs et réglage du centrage sur les rouleaux de retour en remontant à partir du tambour moteur.**

### **[Fig. 185: Schémas d'alimentation.](#)**

### **- *Entretien***

**Le graissage des paliers des tambours et la lubrification des axes des galets du chariot verseur sont à faire toutes les 50 heures, sinon tous les mois.**

**En fin de campagne la bande doit être nettoyée et détendue.**

**En pratique dans les silos, et sauf accident, une bande dure de 10 à 20 ans.**

### **- *Sécurité***

- **Sécurité électrique**

Étant mauvaises conductrices, les bandes en caoutchouc ont tendance, par les frottements, à se charger en électricité statique avec les risques de création d'étincelles ou de «collage» électromagnétique des grains sur la bande. Les bandes polyester, bonnes conductrices de l'électricité statique, ne présentent pas ces risques.

- Sécurité mécanique

Bien que d'aspect inoffensif, le transporteur à bande peut être la cause de très graves accidents. Il faut donc prévoir un câble d'arrêt d'urgence tout le long du transporteur.

## [Continue](#)

---

[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](#)

---

### c) ÉLÉMENTS DE CHOIX DES TRANSPORTEURS À BANDE

**Le type de bande est défini en fonction de nombreux critères:**

- la longueur à parcourir,
- la dénivelée: pente maximum de 18-20° en montant et de 15° en descendant avec une bande lisse,
- la vitesse et la largeur de la courroie: la gamme des vitesses s'étend de 0,2 à 12 m/s; classiquement, les bandes circulent à 2-3 m/s, jusqu'à 4, voire 6 m/s pour les bandes très longues,
- la forme de l'auge,
- le produit à transporter:
  - nature,
  - densité apparente,
  - granulométrie - angle de talus naturel,
  - débit maximum,
  - agressivité, colmatage.

**Énergie à fournir:**

- 1° pour entraîner la bande à vide et le produit,**
- 2° pour élever le produit (bande inclinée),**
- 3° pour accélérer le produit de la vitesse 0 à celle de la bande.**

**Pour éclairer l'exposé, un exemple numérique sera traité à chaque paragraphe avec les hypothèses suivantes:**

- transport de grain                      PS = 750 kg/ml
- longueur                                : 80 m
- débit                                        : 100 t/h
- partie inclinée                        : longueur                                : 20 m
- pente                                        : 10°
- hauteur d'élévation                    : 3,50 m

### **VITESSE MAXIMUM DE BANDE ET INCLINAISON MAXIMUM SELON LES PRODUITS**

| Produit | d.<br>apparente | Vitesse<br>maxi | Angle maximum ° |                                   |                                | Chevron 25<br>mm |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------------|
|         |                 |                 | Bande<br>lisse  | Bande à<br>petit profil<br>ondulé | Chevron 13<br>mm ou V 18<br>mm |                  |
|         |                 |                 |                 |                                   |                                |                  |

|                   |         |     |    |    |    |    |
|-------------------|---------|-----|----|----|----|----|
| Avoine            | 0,55    | 4   | 10 | 12 | 20 | 25 |
| Bois (copeaux)    | 0,2-0,5 | 2   | 25 | -  | -  | -  |
| Cendre            | 0,8     | 2   | 25 | -  | -  | -  |
| Farine            | 0,7-0,9 | 1,5 | 20 | 22 | 30 | 35 |
| Engrais           | 0,9-1,2 | 4   | 25 | 25 | 40 | 35 |
| Farine de poisson | 0,6-0,7 | 4   | 20 | -  | -  | -  |
| Fruits            | 0,35    | 1   | 15 | -  | -  | -  |
| Grain             | 0,7-0,9 | 4   | 15 | 20 | 35 | 40 |
| Pomme de terre    | 0,75    | 1,2 | 15 | -  | 30 | 40 |
| Riz               | 0,8     | 4   | 8  | 10 | 20 | -  |
| Soja              | 0,8     | 2   | 15 | -  | 20 | -  |
| Sucre             | 0,9     | 4   | 18 | 20 | 25 | -  |

## 1° Dimension de la bande

**La largeur est à définir en fonction de la vitesse et de l'inclinaison maximum supportées**

**par le produit, puis en fonction de la capacité de la bande selon l'angle de relèvement des bords.**

**CAPACITÉ THÉORIQUE (m<sup>3</sup>/h) DES BANDES (transport horizontal) AVEC UN TALUS NATUREL DE 150 ET UNE VITESSE DE 1 M/S. (Débit proportionnel à la vitesse).**

| Largeur<br>(mm) | Bande<br>plane (m <sup>3</sup> /h) | Angle des auge m <sup>3</sup> /h |     |     |
|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|
|                 |                                    | 20°                              | 30° | 40° |
| 300             | 12                                 |                                  |     |     |
| 400             | 23                                 |                                  |     |     |
| 500             | 38                                 | 74                               | 87  | 95  |
| 650             | 69                                 | 133                              | 156 | 171 |
| 800             | 108                                | 208                              | 244 | 269 |
| 1000            | 173                                | 336                              | 394 | 434 |

**Facteur de correction K pour transport incliné.**

| Angle ° | 2 | 10 | 16 | 20 | 25 |
|---------|---|----|----|----|----|
|         |   |    |    |    |    |

|          |   |      |      |      |      |
|----------|---|------|------|------|------|
| <b>K</b> | 1 | 0,95 | 0,89 | 0,81 | 0,68 |
|----------|---|------|------|------|------|

**En pratique, avec le grain, les largeurs retenues sont les suivantes**

|                      |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>Débit en t/h</b>  | 30  | 50  | 100 | 200 |
| <b>Largeur en mm</b> | 300 | 350 | 450 | 600 |

**Exemple numérique**

- Débit volume  $Q_v = 100/0,75 = 133 \text{ m}^3/\text{h}$
- Correction pour transport incliné  $K = 0,95$

$$Q_v = 133/0,95 = 140 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Largeur de la bande à 2 m/s (vitesse maximum 4 m/s) et auge à 20°.

**Une bande de 500 mm qui débite 148 m<sup>3</sup>/h à 2 m/s peut convenir.**

**2° Puissance nécessaire du moteur**

**Puissance absorbée**

$$W_a = \underbrace{\frac{C \cdot f \cdot L}{367} (3,6 \text{ Gm} \cdot V + Qt)}_{\text{Transport horizontal}} + \underbrace{\frac{Qt \cdot H}{367}}_{\text{Transport incliné}}$$

avec

**W<sub>a</sub>** : puissance absorbée en W (1 kW = 1,36 ch)

**C** : facteur de frottement et de flexion à vaincre pour déplacer la bande. Ce coefficient a la valeur suivante selon la longueur de la bande.

| Longueur en mètres    | 5   | 10  | 20  | 40  | 50  | 80  | 100 | 200  | 500  |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Facteur de frottement | 6,6 | 4,5 | 3,2 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 1,47 | 1,20 |

**Ces valeurs illustrent la très grande importance relative des frottements sur les bandes courtes.**

**f** : résistance au roulement des rouleaux porteurs. Ce coefficient est généralement compris entre 0,015 et 0,030 selon le type de roulements. En pratique, pour tenir compte de l'encrassement, on retient la valeur la plus élevée 0,030.

**L** : longueur de la bande en mètres.

**Gm** : poids des éléments mobiles (brins supérieur et inférieur, rouleaux) rapporté au mètre de longueur de transporteur.

### Valeurs moyennes:

|               |     |     |     |      |
|---------------|-----|-----|-----|------|
| Largeur en mm | 500 | 600 | 800 | 1000 |
| Gm en kg/m    | 17  | 26  | 40  | 56   |

**V** : vitesse de la bande en  
m/s

**Qt** : débit en t/h

**H** : dénivelée en m.

### *Puissance du moteur à installer*

A partir de la puissance absorbée elle doit tenir compte du rendement de la transmission moteur-tambour:  $\rho$

$$W_m = W_a \times \frac{1}{\rho}$$

**Valeurs de  $\rho$** 

- moteur bloc : 0,85
- motoréducteur/pignon chaîne : 0,85
- motoréducteur/courroie trapézoïdale : 0,80
- tambour moteur : 0,95 (grosses bandes uniquement)

**Exemple numérique (suite)*****Puissance absorbée***

$$W_a = (1,8 \times 0,03 \times 100)/367 (3,6 \times 17 \times 2 + 100) + (100 \times 3,5)/367$$

$$W_a = 3,27 + 0,95$$

$$W_a = 4,22 \text{ kW}$$

***Puissance à installer***

$$W_m = 4,22 \times 1/0,8 = 5,28 \text{ kW}$$

**d) AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES BANDES TRANSPORTEUSES****- *Avantages***

- **Faible consommation d'énergie (0,0075 à 0,0026 kW/t/m).**
- **Débits élevés.**
- **Manutention douce, bien adaptée aux produits fragiles.**
- **Vidange totale (emploi généralisé en station de semences).**
- **Fonctionnement silencieux.**

### **- Inconvénients**

- **Très encombrantes, surtout avec le chariot verseur.**

### **COTES MINIMUMS D'ENCOMBREMENT D'UN CHARIOT VERSEUR**

| <b>Débit (t/h)</b> | <b>Largeur - cm</b> | <b>Hauteur - cm</b> |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| 30                 | 60                  | 50                  |
| 50                 | 70                  | 60                  |
| 80                 | 70                  | 75                  |

- **Capotage complémentaire à prévoir pour le travail à l'air libre (dans ce cas, l'emploi du chariot verseur est à étudier avec soin).**
- **Dégagement de poussière.**

- **Création d'électricité statique.**

## **e) BANDES TRANSPORTEUSES PARTICULIÈRES**

**Outre la bande classique, deux autres types de bandes peuvent être intéressantes pour la manutention des grains:**

**- *Bande «à bords»***

**Cette bande est constituée d'une sangle plane de base sur laquelle sont rapportés de chaque côté, par vulcanisation à froid, des bords verticaux et en travers, des tasseaux, des godets, des chevrons, etc.**

**Les bords, de 80 ou 125 mm de hauteur selon les modèles, ont une forme gaufrée qui leur permet de se développer au passage des tambours.**

**Avec des tasseaux, l'inclinaison des bandes peut atteindre 300, avec des godets elle peut être presque verticale (85°).**

**Ses applications sont très nombreuses. Entre autres, elles sont souvent choisies pour l'élévation de maïs en épis sur des hauteurs de quelques mètres.**

### **- *Bande sous tube***

Il s'agit d'un principe développé en Grande-Bretagne sous le nom de «Belt Veyor». Il consiste à faire circuler à grande vitesse (5 m/s) dans un tube une bande dont la largeur est supérieure au diamètre du tube ( $\emptyset$  : 25 cm et 1 : 30 cm par exemple). La bande s'incurve légèrement en formant une auge qui permet le transport du produit sans contact avec le tube. La vitesse crée sous la bande un coussin d'air qui diminue les frottements. Ce matériel, construit en longueur standard de 12 m, est moins encombrant et plus maniable qu'une sauterelle sur chariot et le produit n'est pas exposé aux intempéries. Il peut travailler jusqu'à des pentes de 30°, voire 45° avec des débits atteignant 50 à 60 t/h.

#### ***6.3.2.4. Transporteurs à chaîne***

##### **a) PRINCIPE**

Le transporteur à chaîne a été inventé par l'anglais REDLER d'où le nom souvent donné à cet appareil. Il se compose d'une chaîne à maillons plats sur lesquels sont fixées des barrettes latérales qui forment des raclettes. Cette chaîne circule dans un carter de section rectangulaire entre un pignon d'entraînement et un pignon de renvoi, le brin inférieur glissant sur le fond du carter.

**Le grain, alimenté par la partie supérieure du convoyeur, coule au travers du brin supérieur de la chaîne et tombe au fond du carter.**

**Le coefficient de frottement des grains entre eux (frottement interne) étant nettement supérieur à celui du frottement du grain sur les parois, l'ensemble du produit est entraîné par les barrettes et progresse en un flux continu dont la section est généralement un carré de côté égal à la largeur du carter alors que la hauteur des barrettes n'est que de quelques centimètres.**

**Les débits s'échelonnent en général entre 20 et 200 t/h.**

## **b) DESCRIPTION**

### **- Carter**

**Il est réalisé en tôle d'acier de 2 mm pour le couvercle, 3 à 4 mm pour les flancs et 6 mm au moins pour le fond. A la demande, ce dernier peut être fourni en acier allié au manganèse, plus coûteux mais dont la résistance à l'abrasion est plus élevée.**

**Cette dépense supplémentaire est à conseiller pour les installations très utilisées. Le couvercle peut être aisément démonté pour inspecter la chaîne. Sur les flancs, des fenêtres transparentes permettent de contrôler l'écoulement du grain.**

**Le carter peut être doublé pour permettre des manutentions simultanées dans les 2 sens (Cf. fig. 187).**

**[Fig. 186: Transporteur à chaîne.](#)**

**[Fig. 197: Transporteur à double carter. \(Doc. BUHLER.\)](#)**

### **- Chaîne**

**La chaîne sans fin est réalisée en acier au carbone forgé ou en acier allié. Elle est guidée sur le fond du carter par une bande d'usure de 5 mm de hauteur environ qui limite son usure et atténue le bruit à vide. Cette bande est réalisée en nylon chez certains constructeurs, en bois chez d'autres. Elle est vissée sur le fond du carter afin de pouvoir être remplacée aisément.**

**Les raclettes, en acier spécial résistant à l'abrasion, sont soudées perpendiculairement à la chaîne et généralement droites, mais peuvent avoir des formes variées selon l'utilisation désirée (Fig. 188):**

- Raclettes demi-circulaires pour les transporteurs en forme d'auge et non pas de rectangle. Ce type de transporteur est bien adapté aux produits fragiles et à la graineterie. Il travaille à vitesse lente (0,60 m/s) et supporte des pentes**

**jusqu'à 45° alors que l'inclinaison maximum avec les raclettes classiques est de 12°.**

- **Raclettes en U qui permettent les transports inclinés et verticaux. Le transporteur à chaîne peut ainsi remplacer l'élévateur à godets.**

### **188: Différents types de raclettes.**

#### ***- Entraînement***

**Il est assuré par une roue dentée montée sur un axe supporté par des paliers à billes sur les flancs du carter. La roue de renvoi est montée sur un axe coulissant qui permet de régler la tension de la chaîne. Un motoréducteur électrique entraîne la chaîne à une vitesse comprise entre 0,2 et 1 m/s selon les produits. Outre la nature du produit, la vitesse peut être choisie selon le mode d'utilisation. En cas d'utilisation sporadique, l'usure n'est pas un facteur primordial, et la vitesse peut être accrue, ce qui permet de choisir un matériel plus petit donc moins coûteux à l'achat.**

#### **c) ÉLÉMENTS DE CHOIX D'UN TRANSPORTEUR À CHAÎNE**

**Débit:  $Q = 36 \times S \times V \times Ps$**

**avec**

**Q en t/h**

**S section du flux en dm<sup>2</sup>**

**V vitesse de la chaîne en m/s**

**Ps poids spécifique de la denrée en t/m<sup>3</sup>.**

**- Puissance installée**

- **Formule empirique française:  $W = 0,0018 (4P_1 + P_2) \times V$  avec - W en kW**
- **P<sub>1</sub> poids de la denrée dans le transporteur en kg.**
- **P<sub>2</sub> poids de la chaîne (6 kg/ml pour les petites, 13 kg pour les plus grosses).**
- **V en m/s.**

**(Cette formule empirique a été établie avec du blé et tient compte de la puissance nécessaire pour le redémarrage en charge).**

**- Puissance absorbée**

- **Formule américaine:**

$$W = \frac{2,65}{1000} \times \frac{C.M. (F.L.+H)}{E}$$

**avec**

**W en kW**

**C débit en t/h**

**F coefficient de frottement**

- grain 0,40
- paddy 0,65
- soja 0,65
- sucre 0,85
- farine 0,80
- haricots 0,50

**L longueur en m**

**H hauteur d'élévation pour transport incliné en m**

**M coefficient de charge - M = 1,2 (+ 0,03 pour chaque alimentation et sortie supplémentaire.)**

**E rendement des transmissions = 0,85**

### **Exemple d'application**

**Transporteur à chaîne horizontal de 100 t/h et 90 m de longueur véhiculant du grain sans entrée ni sortie intermédiaire.**

**Puissance absorbée:**

$$W = \frac{2,65}{1000} \times \frac{100 \times 1,2 \times 0,40 \times 90}{0,85} = 13,47 \text{ kW}$$

**Dans la pratique, la puissance du moteur installé par le constructeur devra tenir compte d'une marge de sécurité de l'ordre de 50 %.**

**En moyenne, les puissances installées par les constructeurs sont comprises entre 0,0033 kW/t/m<sup>2</sup> pour les petits transporteurs et 0,0022 kW/t/m pour les plus grands, plus performants.**

**• Formule française:**

$$W = 0,0018 (4 \times 2\,500 \text{ kg} + 90 \times 2 \times 13 \text{ kg}) \times 1,0$$

$$\frac{\text{m}}{\text{s}} = 22,21 \text{ kW.}$$

## d) AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

### - *Avantages*

- **Faible encombrement. A débit égal le transporteur à chaîne est environ 7 fois moins encombrant qu'une bande et 2 fois moins qu'une vis.**
- **Entièrement fermé, étanche et autoporteur, donc utilisable à l'air libre et ne dégageant pas de, poussière.**
- **Peu de casse de grain.**
- **Alimentation et vidange possibles en plusieurs points du transporteur.**
- **Entretien facile (graissage des paliers et réglage de tension de la chaîne).**

### - *Inconvénients*

- **Puissance absorbée 2 à 3 fois supérieure à celle d'une bande.**
- **Ne convient pas pour les produits collants et pouvant se tasser.**

- **Bruyant dans les sections fonctionnant à vide.**
- **Cher à l'achat et s'usant rapidement avec les grains abrasifs (paddy).**
- **Pas de vidange totale (inutilisable en station de semences).**

#### **e) SÉCURITÉ**

**Cet appareil, entièrement fermé, est peu dangereux.**

**La principale précaution à prendre est de prévoir un contact électrique antibourrage à l'extrémité du transporteur pour l'arrêter avant rupture de la chaîne en cas d'obstruction accidentelle dans le circuit aval.**

#### **f) TRANSPORTEURS à CHAÎNES SPÉCIAUX**

##### ***- Transporteur à flancs ouverts***

**Ce type de transporteur est de plus en plus utilisé dans les trémies de réception de grande capacité, lesquelles, pour ne pas exiger des fouilles trop profondes, sont en forme de V et non pas de pyramide inversée, donc sans vidange intégrale. La reprise se fait par un transporteur à chaîne à flancs ouverts par où est alimenté le brin inférieur, le brin supérieur de retour étant protégé du grain par un couvercle à 2 pentes.**

### [Fig. 189: Reprise sous trémie. Transporteur à flancs ouverts.](#)

#### **- *Transracleur* (Cf. fig. 141)**

**Ce matériel a été spécialement conçu pour le chargement et la vidange des grandes cellules à fond plat. Il se compose d'une chaîne à barreaux en forme de palettes, sans carter, et suspendue par 2 treuils à un pont roulant qui circule au-dessus des cases de stockage. Pouvant fonctionner dans les deux sens, il permet au chargement de remplir la cellule à partir du grain déversé sur un côté seulement et au déchargement, de ramener le grain vers les bouches d'évacuation. Des palpeurs permettent le contrôle automatique de ses déplacements verticaux.**

#### **- *Transporteur à câbles***

**Il s'agit d'une variante dans laquelle la chaîne est remplacée par deux câbles en acier sur lesquels sont fixées des barrettes en bois. Fonctionnant à 0,40 m/s, son constructeur annonce une économie d'énergie de 50 % par rapport aux modèles classiques. Son fonctionnement est également plus silencieux.**

### [Fig. 191: Transporteur à câbles. \(Doc. GEOFFROY.\)](#)

#### **6.3.2.5. Transporteurs pneumatiques**

**Le déplacement du produit pulvérulent ou granuleux est obtenu par sa mise en suspension dans une veine d'air circulant dans une tuyauterie, à une vitesse suffisante pour qu'il ne puisse se déposer en chemin.**

**Classiquement, un transporteur pneumatique se compose de 5 éléments:**

- **une alimentation,**
- **une tuyauterie,**
- **une chambre de séparation air-produit,**
- **un dispositif de filtration de l'air,**
- **un ventilateur.**

**[Fig. 192: Transporteur pneumatique.](#)**

**- *Alimentation***

**Lorsqu'ils travaillent en aspiration, les transporteurs sont dotés d'une suceuse que l'on plonge dans le produit. Le dosage du mélange air-produit est obtenu par le déplacement d'un manchon coulissant qui forme une double enveloppe et ouvre plus ou moins le passage de l'air (Cf. fig. 193).**

**[Fig. 193: Tête d'aspiration.](#)**

**En refoulement, l'alimentation est assurée, soit par un «injecteur», soit par une écluse. L'injecteur est une arrivée de produit placée au niveau d'un étranglement de la conduite («venturi») permettant de créer une dépression importante et une grande vitesse d'air. Lorsque le produit n'est pas en charge sur l'injecteur son rendement est faible (5 à 3 %), donc un ventilateur à forte pression est nécessaire et ce type d'injecteur ne convient que pour des concentrations massiques faibles (moins de 5 kg de produit par kg d'air) et des débits faibles (5 t/h). Ce type de transporteur est souvent employé en agriculture sous le nom de «souffleuse» avec des puissances installées de 2 à 8 kW.**

### **[Fig. 194: Souffleuse](#)**

**Lorsque le produit est en charge sur l'injecteur, le rendement est nettement amélioré (réservoir d'expédition pour les petits transporteurs).**

**L'écluse rotative est un boisseau cylindrique horizontal comportant au minimum 6 alvéoles et tournant dans un carter étanche. L'augmentation du nombre d'alvéoles accroît l'étanchéité mais peut gêner leur remplissage et leur vidange. Des dispositifs particuliers (écluse à vidange latérale, décompression des alvéoles montantes) permettent d'éviter ces inconvénients.**

**- Tuyauteries**

**Les conduits doivent être parfaitement étanches et leur tracé aussi rectiligne que possible car bien que le transport pneumatique soit bien adapté aux trajets sinueux et complexes, chaque coude, chaque trajet vertical, provoque des pertes de charges qui s'additionnent et conduisent à des puissances consommées très élevées. A titre indicatif, dans un calcul approché des pertes de charge dans le circuit, chaque coude à 90° C est assimilé à 5 mètres de conduite horizontale et chaque section verticale au double de longueur de conduite horizontale.**

$$P = \Delta P / \text{mètre horizontal} (x \text{ mètres horizontaux} + 2 y \text{ mètres verticaux} + 5 C / \text{coudes à } 90^\circ)$$

**- *Chambre de séparation air-produit***

**Le produit est séparé de l'air de transport par un cyclone dans lequel les particules sont centrifugées.**

**- *Filtration de l'air***

**Pour ne pas colmater le ventilateur, il est nécessaire de filtrer l'air. Les matériels les plus usuels sont les filtres à manches en tissu à nettoyage discontinu sur les petites installations, et continu sur les autres.**

## **- Ventilateurs**

**Selon l'installation, 3 types de machines aérauliques sont utilisées:**

- **le ventilateur centrifuge pour des concentrations de transport inférieures à 5 kg de produit par kg d'air,**
- **la pompe à engrenages de type Roots pour les concentrations de 5 à 15 kg. Son grand avantage est d'avoir un débit pratiquement constant quelle que soit la pression,**
- **les compresseurs à vis et à pistons pour les installations à forte concentration (10 à 50 kg/kg) et haute pression (4 à 8 bars).**

### **Principaux types d'installations**

**Une des contraintes du transport pneumatique est de devoir faire l'objet d'une étude technique pour chaque installation. Le déchargement des navires est une application fréquente (jusqu'à 200 t/h), mais sur de faibles distances (une centaine de mètres).**

**Des transporteurs pneumatiques sur chariot mobile permettent des débits de plusieurs dizaines de tonnes sur des distances jusqu'à 500 m, mais au prix de puissances installées**

**très élevées:**

|                                 |     |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|-----|
| <b>Débit maxi (t/h)</b>         | 21  | 100 | 125 |
| <b>Distance maxi (m)</b>        | 500 | 500 | 500 |
| <b>Puissance installée (kW)</b> | 155 | 230 | 260 |

De façon générale, le transport pneumatique consomme 5 à 6 fois plus d'énergie que les transporteurs mécaniques, ce qui limite son intérêt.

Une application particulière du transport pneumatique est le système «Pale Westerby» de vidange intégrale des cellules à fond plat à l'aide de gaines de ventilation très rapprochées (1 m environ). Ces gaines comportent des ouïes latérales d'où l'air sort à grande vitesse et entraîne le grain vers les orifices de vidange (Cf. fig. 142) à un débit décroissant de 40 t/h à 0 en fin de vidange. Dans cette application, les puissances installées sont importantes, mais le dispositif peut également être utilisé pour la ventilation du stock.

---

[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](#)

---

### 6.3.3. Matériels de contrôle

Nous avons étudié dans le chapitre II les matériels utilisés pour le prélèvement et l'échantillonnage des grains. Nous présentons ici des matériels de contrôle des principaux facteurs d'altération des denrées l'humidité et la température.

#### 6.3.3.1. Contrôle de l'humidité

##### a) RAPPEL

L'humidité du produit est couramment exprimée par le rapport en pourcentage du poids d'eau au poids total

$$H\% = \frac{\text{Poids eau}}{\text{Poids matière sèche} + \text{poids eau}} \times 100$$

Comme nous l'avons déjà signalé, l'humidité est parfois exprimée uniquement par rapport à la matière sèche. Il est donc nécessaire de préciser la définition à laquelle on se

**réfère.**

## **b) LES PRINCIPES DE DOSAGE**

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

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

## **c) MÉTHODES**

### **1° *Méthode fondamentale* (Fig. 195)**

**Une coupelle contenant 1 g de grains broyés est placée dans une étuve maintenue à 60° C. La dessiccation s'effectue sous vide partiel, en présence d'anhydride phosphorique (qui absorbe la vapeur d'eau), jusqu'à poids constant. La coupelle est pesée régulièrement (tous les 2-3 jours) et lorsque le poids constant est atteint toute l'eau a été éliminée. Cette méthode, qui n'est réalisable que par certains laboratoires bien équipés, est très longue (300-400 heures), elle n'est donc pas intéressante pour l'organisme stockeur, mais sert de référence pour les autres méthodes (étalonnage des**

appareils).

[Fig. 195: Schéma de la méthode de référence.](#)

**2° Méthode de référence «pratique» (Fig. 196)**

Un échantillon de 5 g de produit broyé est placé dans une étuve à 130° C. Après un étuvage de 2 ou 4 h (maïs) l'échantillon est placé dans un récipient contenant un produit dessiccateur (gel de silice) et laissé à refroidir pendant 45 min. Il est alors pesé à nouveau.

L'humidité est donnée par:

$$\frac{\text{Poids produit humide} - \text{Poids produit sec}}{\text{Poids produit humide}} \times 100$$

**Maïs** : échantillon broyé à 130°-133° C pendant 4 h.

**Riz, blé** : échantillon broyé à 130°-133° C pendant 2 h.

**Oléagineux** : grains entiers à 102°-105° C pendant 15 h.

**Exemple: si après étuvage l'échantillon de 5 g ne pèse plus que 4,2 g, l'humidité du produit est:  $(5 - 4,2)/5 \times 100 = 16 \%$ .**

**[Fig. 196: Schéma: Méthode de référence pratique.](#)**

**La déshydratation du grain est souvent réalisée dans une étuve multicellulaire CHOPIN (ou étuve lente).**

**La détermination de l'humidité par dessiccation est une méthode très précise ( $\pm 0,3 \%$  et souvent moins), mais cependant lente et demandant un appareillage complexe. En fait, elle permettra essentiellement d'étalonner les appareils basés sur les autres méthodes.**

***3° Méthodes pratiques réalisables au niveau du silo ou du magasin***

**- Par dessiccation**

**Il existe quelques appareils basés sur le principe de la dessiccation mais pouvant fournir des résultats dans un délai assez court. Pour augmenter la vitesse de la mesure on utilise des températures élevées, ce qui risque de fausser légèrement la mesure car d'autres produits (huile) risquent d'être éliminés avec l'eau.**

- ***Étuve rapide type «CHOPIN» (Fig. 197)***

**Cet appareil sèche à 160° C - 200° C un échantillon de quelques grammes (5 à 10 g) dans un petit four électrique, l'eau évaporée traverse une cartouche de carbure de calcium avec lequel elle réagit pour former de l'acétylène qui est brûlé au niveau d'un bec. Lorsque la flamme disparaît la déshydratation est terminée. La coupelle contenant l'échantillon est retirée et laissée à refroidir avant d'effectuer une seconde pesée sur une balance propre à l'appareil dont le fléau est directement gradué en pourcentages d'humidité.**

**Pour obtenir de bons résultats il faut effectuer les pesées avec une grande précision. La température de l'étuve doit être stable (mise sous tension longtemps avant la mesure). Il est enfin nécessaire de renouveler fréquemment le carbure de calcium (toutes les trois mesures).**

**Les appareils à dessiccation ont l'avantage d'être fidèles quelle que soit l'humidité du produit à doser et d'être précis mais ils présentent plusieurs inconvénients:**

- la préparation de l'échantillon et les pesées doivent être faites avec soin,**
- les échantillons sont très petits (5 à 10 g) et plusieurs mesures sont nécessaires pour avoir une idée exacte de l'humidité moyenne d'un lot,**
- les appareils sont fragiles et tributaires d'une source d'électricité,**

- la mesure n'est pas immédiate (10-15 mn),
- utilisation complexe qui ne peut être faite que par une personne avertie.

**Cependant, dans un organisme stockeur, des appareils de ce type sont indispensables pour permettre par comparaison un étalonnage des différents humidimètres utilisés au niveau des silos.**

**[Fig. 197: Principe de l'étuve rapide Chopin.](#)**

**Il existe une version moderne de cette étuve conçue pour éviter les erreurs de manipulation et homologuée en France pour les transactions commerciales (Modèle ERAG 2).**

- ***Lampe Infrarouge***

**L'échantillon broyé est placé sur le plateau d'une balance de précision et soumis à l'intense rayonnement d'une lampe infrarouge. L'évaporation de l'eau provoque le déséquilibre de la balance, que l'on compense en déplaçant un curseur sur une échelle graduée en pourcentage d'humidité. Les résultats obtenus avec ce type d'appareil sont systématiquement inférieurs à l'humidité réelle, car le produit tend à se mettre en équilibre avec l'humidité relative de l'air ambiant et conserve toujours un peu d'eau.**

- ***Thermidimètre AGPM***

**Pour pallier les nombreuses insuffisances des appareils électriques actuellement utilisés (résultats influencés par la propreté de l'échantillon, son niveau d'humidité...) (voir plus loin), l'A.G.P.M. propose une méthode par dessiccation sur des échantillons importants (80 à 120 g), donc plus représentatifs des lots à étudier. Ce «thermidimètre» AGPM est constitué d'une étuve ventilée (215 litres) pouvant recevoir 400 échantillons. Les échantillons sont conservés dans des boîtes en aluminium d'environ 250 cm<sup>3</sup>. La déshydratation est conduite à 153° C qui dure de 15 à 23 h suivant les produits.**

**Cette méthode est applicable au niveau de grands centres de collecte et pour des produits relativement humides. Elle présente les avantages d'une grande fiabilité ( $\pm 1$  point par rapport à la référence) et d'une bonne représentativité des lots à analyser (échantillons importants). Elle a pour principal inconvénient de ne pas fournir un résultat immédiat (délai de 24 h).**

**- Par mesure des caractéristiques électriques du grain**

**Les humidimètres électriques mesurent soit la résistivité du produit au passage d'un courant électrique continu, soit la constante diélectrique du produit dans un condensateur soumis à un courant alternatif de haute fréquence.**

- ***Les appareils mesurant la résistivité électrique*** du grain se composent d'un ampèremètre étalonné en degrés d'humidité qui mesure l'intensité du courant après passage dans le godet contenant l'échantillon.

**Fig. 199: Schéma d'un hygromètre à résistivité. (Doc. B.P.)**

Ces matériels sont souvent de petits appareils portatifs fonctionnant sur piles, ce qui constitue leur principal avantage. Ils sont également peu chers. La mesure est immédiate, mais ces appareils sont peu fiables. Les mesures peuvent dépendre de la variété du grain (la forme du grain joue). Certains types nécessitent un broyage préalable, ce qui limite leur utilisation à des produits de teneur en eau inférieure à 18%.

Vue la faible fiabilité de cet appareil, il n'est pas recommandé de l'utiliser au niveau des silos où comme nous le savons l'humidité doit être déterminée avec précision pour espérer une bonne conservation. Ce matériel pourra rendre service au producteur en l'aidant à apprécier l'humidité de ses cultures et à choisir la date de la récolte.

Exemple d'appareil: DICKEY JOHN.

- ***Les appareils mesurant la constante diélectrique des grains en haute fréquence.***

L'humidimètre comprend deux circuits à courant alternatif à relative haute fréquence (2

**400 hertz). Sur l'un d'eux sont placés en série un condensateur fixe et un condensateur variable. Le condensateur fixe constitue la chambre de mesure, le grain jouant le rôle de l'isolant. L'introduction du grain provoque une modification de la fréquence du courant. L'équilibre est rétabli avec la fréquence du circuit de référence en agissant sur le condensateur variable. L'axe du condensateur porte un index qui, après étalonnage, permet la lecture directe du degré d'humidité sur un cadran.**

**[Fig. 200: Schéma hygromètre à diélectrique. \(Doc. B.P.\)](#)**

**A chaque produit correspond une courbe d'étalonnage de l'appareil. Les caractéristiques mesurées pouvant varier selon la forme et la dimension des grains, il est parfois nécessaire d'avoir des courbes d'étalonnage différentes selon les variétés (avant tout achat d'un humidimètre, il est recommandé de donner au constructeur le maximum de renseignements sur le produit à tester afin qu'il fournisse un appareil correctement étalonné).**

**Généralement les appareils à constante diélectrique utilisent des échantillons de grains entiers en quantité relativement importante (100 à 400 g) ce qui permet une meilleure représentativité du lot, cependant les mesures peuvent être influencées par différents facteurs**

**\* la température de l'échantillon,**

- \* le tassement de l'échantillon - son poids,**
- \* la propreté de l'échantillon,**
- \* la répartition de l'eau dans le grain.**

## **Température**

**Les hygromètres sont étalonnés à 20° C. Lorsque l'échantillon est à une température supérieure ou inférieure, une correction de 0,1 % environ doit être apportée à la lecture par degré en plus ou en moins. De plus, la lecture n'est valable que si l'appareil et l'échantillon sont à la même température, il convient donc, dans la mesure du possible, «d'employer l'appareil en un lieu où la température est sensiblement égale à celle du lieu où le produit est stocké». Le sens de la correction à apporter est indiqué dans la notice d'utilisation de chaque appareil.**

## **Le tassement - le poids de l'échantillon**

**Normalement la mesure doit être faite sur un volume fixe de densité constante. Les appareils sont sensibles au tassement, il faudra éviter les vibrations lors des mesures et verser le grain doucement et uniformément dans la chambre de mesure.**

**Le poids de l'échantillon joue également un rôle important. Des essais réalisés par l'I.N.R.A. sur un appareil à constante diélectrique ont fourni les résultats reportés sur la**

**figure 201.****Fig. 201: Influence du poids de l'échantillon sur la mesure de l'humidité (appareil à constante diélectrique).**

**Il apparaît qu'une erreur de 10 % sur le poids de l'échantillon se traduit par une erreur de 6 points (de 24 à 30 %) sur la mesure de l'humidité. Il est donc important que les échantillons soient «pesés avec soin».**

**Propreté de l'échantillon**

**Les appareils sont étalonnés avec des échantillons composés uniquement de grains entiers. En pratique, les lots de grains contiennent toujours des impuretés et des brisures et il s'avère que les appareils y sont sensibles.**

**Par exemple, des erreurs de mesure de 1,5 à 10 points d'humidité ont été relevées avec des échantillons contenant 2 % d'impuretés et des erreurs de 1 à 4 points avec des taux de brisures de 6 %.**

**Répartition de l'eau dans le grain**

**Les appareils électriques, travaillant sur des grains entiers, mesurent les caractéristiques**

**de la périphérie du grain: il est donc important que l'eau soit en équilibre dans toutes les parties du grain pour que la mesure soit exacte. A la sortie du séchoir, par exemple, la périphérie est plus sèche que l'intérieur et la mesure est erronée par défaut si l'humidité n'a pas eu le temps de s'homogénéiser (une dizaine d'heures). D'autre part, lorsque le grain est à température plus basse que l'ambiance, l'humidité de l'air se condense sur les graines et la mesure est erronée par excès.**

**Une mesure exacte de l'humidité de grains sortant d'un séchoir ou mouillés superficiellement ne peut être faite qu'après environ 10 h d'homogénéisation.**

**Enfin rappelons que les matériels doivent être conservés en bon état et que l'on doit périodiquement vérifier leur étalonnage. D'autre part un échantillon ne peut servir qu'une seule fois; son passage dans l'appareil ayant modifié ses caractéristiques électriques.**

**Malgré ces inconvénients, les appareils électriques sont très utilisés car ils présentent pour le praticien de grands avantages. Ils sont relativement simples d'emploi et fournissent un résultat immédiat sur un échantillon de plusieurs centaines de grammes qui peut être représentatif d'un lot entier si l'échantillonnage est bien fait. Il existe de nombreux humidimètres utilisant le principe de la mesure des caractéristiques diélectriques du grain (Fig. 202-203).**

**Ces appareils sont relativement sophistiqués et chers.**

**Pour tous les appareils il existe une marge de tolérance en fonction de l'humidité (entonnoir de tolérance).**

**Figure**

**Le Service des Instruments de Mesure a défini les marges d'erreurs suivantes:**

| Titre en eau méthode de référence | Marge de tolérance des appareils agréés |             |            |
|-----------------------------------|---|-------------|------------|
|                                   | Céréales autres que le riz et le maïs   | Maïs et riz | Oléagineux |
| 8                                 | -                                       | -           | 7,4-8,6    |
| 10                                | 9,6-10,4                                | 9,4-10,6    | 9,2-10,8   |
| 12                                | 11,5-12,5                               | 11,4-12,6   | 11-13      |
| 15                                | 14,4-15,6                               | 14,3-15,7   | 13,8-16,2  |
| 20                                | 19,2-20,8                               | 19-21       | 18,4-21,6  |
| 25                                | 24-26                                   | 23,8-26,2   | -          |
| 30                                | -                                       | 28,5-31,5   | -          |

|    |   |           |   |
|----|---|-----------|---|
| 35 | - | 34,2-36,8 | - |
| 40 | - | 38-42     | - |

**[Fig. 202: Le Super MATIK MK 1. \(Doc. FOSS ELECTRIC.\)](#)**

**[Fig. 203: Le Multigrain TR-Dj. \(Doc. TRIPETTE ET RENAUD.\)](#)**

Enfin signalons que, pour les installations importantes, certains constructeurs proposent des doseurs d'humidité en continu, des grains ou des poudres. Une onde électromagnétique de très haute fréquence et de faible puissance traverse le flot de grain. Cette onde est atténuée suivant la quantité d'eau contenue dans le grain; c'est cette atténuation de l'onde haute fréquence qui est mesurée et enregistrée en continu.

- Appareils mesurant l'humidité relative de l'air en équilibre avec le produit:

Nous avons vu, dans l'étude des échanges air-grain, que l'air situé entre les grains se mettait en équilibre hygroscopique avec le produit.

Les appareils de mesure de l'humidité de l'air sont le plus souvent basés sur la variation de longueur d'un cheveu ou d'une fibre synthétique.

**La mèche de cheveux ou de fibres est placée dans le corps d'une sonde métallique perforée, fixée à l'extrémité inférieure et reliée à l'extrémité supérieure à un mécanisme permettant la lecture de la dilatation sur un cadran gradué, soit en humidité relative, soit en humidité du produit.**

**Pour effectuer la mesure, la sonde est enfoncée dans la masse du produit à doser et y est maintenue jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint, ce qui peut demander plusieurs dizaines de minutes. ces appareils sont imprécis.**

**Compte tenu du délai nécessaire pour la mesure, ce type d'appareil est peu employé pour les transactions, mais est pratique pour le contrôle des stocks en vrac ou en sacs. En règle générale, les denrées sont stockées à l'humidité d'équilibre de 70 %, qui correspond au seuil de développement des moisissures. La sonde est utilisée non pas comme appareil de mesure, mais comme appareil de test pour s'assurer que le stock se trouve dans des conditions de conservation satisfaisantes.**

**- Autres: (pour mémoire)**

### **Test au lithium**

**Le lithium a la propriété de changer de couleur en fonction de l'humidité. Partant de ce principe, MM. MATTHES et BUTLER proposent une méthode simple pour tester l'aptitude**

**des grains au stockage. Les auteurs ont mis au point des réglettes de 3 carrés de lithium à différentes concentrations. Ces réglettes sont placées avec le produit dans un bocal hermétique. L'équilibre est atteint après deux heures environ. Le premier carré vire du bleu au rose lorsque l'humidité relative dépasse 45 %; le second vire au rose lorsque l'humidité dépasse 55 % et le troisième lorsque l'humidité dépasse 65 %. En dehors des périodes d'utilisation, les plaquettes sont conservées en bocal hermétique avec un dessiccant après chauffage à 65° C. Les applications de cette méthode sont limitées.**

**En conclusion de cet examen des différents moyens utilisés pour le dosage de l'humidité, nous insisterons sur la nécessité pour l'utilisateur de bien choisir, dans la vaste gamme des appareils proposés sur le marché, l'appareil convenant exactement à ses besoins, en précisant la nature du produit à doser, la variété (en fournissant au besoin un échantillon), les limites supérieure et inférieure d'humidité entre lesquelles l'appareil devra donner un résultat juste, les conditions et la fréquence d'utilisation de l'appareil.**

**La connaissance de la teneur en eau des produits agricoles est essentielle pour mener à bien le stockage, il est donc nécessaire que tout organisme stockeur (stockage en vrac ou en sacs) puisse disposer de matériels de contrôle efficaces. Des matériels électriques (mesure des caractéristiques diélectriques) permettant une lecture directe de l'humidité devraient équiper chaque centre de stockage. L'acquisition d'un matériel à dessiccation (type étuve rapide CHOPIN) permettra de contrôler périodiquement les résultats. Enfin**

**des appareils portatifs (mesure de la résistivité) très maniables peuvent rendre de grands services au niveau des contrôles en milieu paysan.**

**Il est donc souhaitable (voire nécessaire) qu'à l'avenir l'emploi de doseurs d'humidité se généralise.**

### ***6.3.3.2. Contrôle de la température***

**Le contrôle de la température des produits stockés est indispensable pour suivre leur évolution au cours de la conservation. Une élévation très lente de la température peut être due au réchauffement de l'atmosphère extérieure, mais elle peut aussi être l'indice d'un début de dégradation qu'il faut combattre rapidement. Les contrôles de température doivent être effectués fréquemment pour agir en temps voulu.**

**Les masses de grains sont rarement homogènes et les grains sont mauvais conducteurs; il faut donc faire des relevés en des points assez rapprochés et bien répartis.**

#### **a) QUALITÉS REQUISES DES APPAREILS DE MESURE**

##### ***- Précision***

**Il n'est pas nécessaire que les appareils soient très précis, compte tenu de**

**l'hétérogénéité évoquée plus haut. En général, une précision de l'ordre du degré centigrade est suffisante.**

**- Sensibilité**

**Les appareils doivent être sensibles pour indiquer de faibles variations de température, de façon à déceler tout échauffement, même minime.**

**- Fidélité**

**Il est très important que les appareils indiquent le même résultat à des moments différents si, entre temps, la température de la masse n'a pas varié. De même, il est important qu'ils fournissent la même lecture si, après un échauffement combattu par ventilation par exemple, la masse est ramenée à sa température d'origine.**

**- Robustesse**

**Qu'il s'agisse d'appareils fixes ou d'appareils mobiles, les thermomètres doivent être particulièrement bien protégés contre les chocs, les frottements, etc.**

**- Simplicité**

**La mise en œuvre et la lecture des thermomètres doit être simple, sans mise au point longue et fastidieuse.**

## **b) DIFFÉRENTS TYPES D'APPAREILS DE MESURE**

**Selon les principes de mesure utilisés, on distingue cinq grands types d'appareils.**

### **- *Thermomètres à liquide***

**Ils mesurent la dilatation d'un liquide (mercure ou alcool) sous l'influence de la température. Placés dans des sondes métalliques, ils permettent de mesurer la température à l'intérieur des sacs ou dans des grains en masse sous faible épaisseur. On peut également placer des tubes verticaux ou inclinés dans la masse de grains et y faire descendre le thermomètre pendu à un fil. La présence du tube provoque des erreurs par effet de cheminée et par son interposition entre le grain et le thermomètre. De plus, le déplacement du thermomètre entre le point de mesure et le point de lecture entraîne une erreur, quelle que soit l'inertie du thermomètre.**

**Malgré leurs inconvénients, les thermomètres à liquide rendent de grands services dans les stockages en sacs et dans les stockages en vrac dont l'importance ne justifie pas l'acquisition de matériel plus coûteux.**

### **- *Thermomètres à résistance***

**La résistance électrique d'un conducteur métallique croît avec sa température. Cette propriété est utilisée dans les thermomètres à résistance. L'élément résistant est un filament fin en platine, cuivre, acier ou nickel, dans lequel on fait passer un courant électrique. La lecture est obtenue par équilibrage d'un pont de WHEASTONE. Le filament, qui mesure plusieurs mètres, est placé dans un câble creux pendu au plafond de la cellule. La température lue n'est pas la température en un point, mais la température moyenne du grain le long du filament, ce qui est un avantage car, compte tenu de la mauvaise conductibilité du grain, les mesures ponctuelles obligent à multiplier les points de mesure pour avoir une idée exacte de la température moyenne d'un lot.**

### **- *Thermistances***

**Les thermistances mesurent la résistivité électrique de semiconducteurs, corps qui se situent entre les isolants et les conducteurs et dont la résistivité électrique diminue lorsque leur température augmente. Les thermistances sont beaucoup plus sensibles que les résistances et moins encombrantes.**

**Le capteur de température se compose de la thermistance (sphère de 3 mm de diamètre en semi-conducteur par exemple) et de ses deux conducteurs de raccordement. Le tout est noyé dans une canne en fibre de verre de très grande rigidité mécanique (coefficient**

**de rupture supérieur à plusieurs tonnes) et de faible diamètre (6 mm), ce qui permet d'enfoncer les sondes jusqu'à 4 m de profondeur sans effort particulier ou de les fixer au plafond avec des dispositifs d'ancrage simplifiés.**

**[Fig. 204: Canne sonde. \(Doc. Foss ELECTRIC.\)](#)**

Dans les petites installations, un bottier de lecture portable permet de relever la température en chaque point successivement. Dans les centres plus importants, chaque capteur est relié à une armoire de contrôle qui permet, sans déplacement de l'opérateur, de connaître les températures en tous points des cellules. Sur certains matériels perfectionnés, les températures sont relevées et inscrites automatiquement à des intervalles de temps prédéterminés, ce qui permet d'apprécier l'évolution des températures par simple juxtaposition des enregistrements.

**[Fig. 205: Sonde + câble + dispositif d'attache au sommet de la cellule. \(Doc. FOSS ELECTRONIC.\)](#)**

**[Fig. 206: Schéma d'une installation de contrôle de la température. \(Doc. INTERDÉTECTEURS.\)](#)**

**- *Thermocouples***

**Le thermocouple est formé de deux fils de nature différente (constantan et cuivre par exemple), soudés à leurs deux extrémités. Lorsque les extrémités sont à des températures différentes, il y a création d'un courant électrique (faible, mais détectable), dont l'importance est fonction de l'écart de température. En fixant la température de l'une des soudures (glace fondante) et en plaçant sur le circuit un appareil permettant de mesurer le courant électrique (galvanomètre ou potentiomètre), on obtient un appareil de mesure de la température sous réserve d'un étalonnage soigneux du dispositif,**

**La mise en œuvre de thermocouples est délicate et actuellement la plupart des installations électriques de silothermométrie emploient des thermistances.**

**Il existe donc une large gamme d'appareils de mesure pour la température des produits stockés. Tous les centres de stockage devraient en être équipés, car l'élévation de la température est le premier indice d'une mauvaise conservation.**

**La mesure des deux facteurs principaux de dégradations des denrées que sont l'humidité et la température est essentielle pour suivre rationnellement et efficacement le stockage. Nous venons de présenter différents matériels de contrôle couramment employés (ou susceptibles d'être utilisés) au niveau des installations de stockage en vrac. Nous pouvons simplement rappeler que ces matériels sont également indispensables au contrôle des produits stockés en sacs. Signalons actuellement l'existence de nombreux thermomètres à lecture digitale relativement bon marché et d'utilisation aisée.**

### **6.3.4. Matériels de désinsectisation**

**Nous rappelons ici la nécessité d'équiper les silos de matériels de désinsectisation et notamment de prévoir au niveau de la chaîne vrac, un appareil pour l'application d'insecticides de contact (nébulisateur).**

**Nous ne traiterons pas ici les différents matériels; le lecteur peut se reporter au chapitre VII consacré à la désinsectisation.**

### **6.3.5. Maintenance des équipements**

**Pour assurer la bonne marche des matériels fonctionnant dans les installations de stockage il est nécessaire d'effectuer périodiquement l'inspection et l'entretien des différents appareils.**

**En particulier:**

- l'entretien des moteurs thermiques (vidange, réglage, changement des filtres, etc.),**
- la vidange des réducteurs (toutes les 1000 h à 3 000 h),**

- **le contrôle de la tension des courroies (dans le cas de courroies multiples si l'une d'elle casse, c'est l'ensemble du jeu qu'il faut changer),**
- **le contrôle de la tension des matériels de manutention: tension des bandes, des transporteurs à chaînes, etc.**
- **le graissage général des matériels,**
- **le dépoussiérage des moteurs électriques.**

**Il faut éviter les accumulations de poussière dans toutes les zones de frottement important risquant de créer des échauffements.**

**On devra disposer d'un stock de pièces de rechange**

- **pour les moteurs,**
- **pour les matériels de manutentions (roulements, godets, maillons de chaîne, rouleau de bande transporteuse, etc.),**
- **pour les systèmes électriques (fusibles, etc.).**

**Pour les centres importants il est recommandé de prévoir un atelier d'entretien et de**

**s'assurer les services d'un mécanicien et d'un électricien. Bien que le magasinier doive être capable de réparer les petites pannes, il devra faire appel, pour les pannes importantes ou pour la remise en état du matériel après chaque campagne, à des ouvriers spécialisés.**

## **6.4. Sécurité dans les silos**

### **6.4.1. Sécurité courante**

### **6.4.2. Poussières**

#### **6.4.1. Sécurité courante**

**Comme dans toutes les installations où travaillent des hommes et fonctionnent des machines, il faut veiller à éviter au maximum les risques d'accidents corporels.**

**Les circuits et systèmes électriques qui peuvent être à l'origine d'électrocutions et d'incendies doivent être correctement protégés. On devra utiliser du matériel en bon état, éviter les installations provisoires avec câbles électriques pendant ou traînant sur le sol et prévoir des coupe-circuit et des interrupteurs d'arrêt d'urgence près des appareils en mouvement (manutention).**

**Les pièces en mouvement des machines doivent être correctement protégées par des capots. Pour permettre le contrôle des pièces mobiles, ces capots pourront être en grillage ou en métal déployé.**

**Pour accéder aux parties hautes des silos, les installations sont pourvues d'échelles et de passerelles. Ces échelles doivent être équipées de «crinolines» (diamètre 70 cm) et les passerelles munies de rampes de sécurité.**

**Lorsque des incidents particuliers interviennent au cours du stockage, tels que prise en masse ou phénomène de voûtage à la vidange, des mesures particulières de sécurité doivent être prises. Il faudra éviter de travailler sous le fond conique des cellules verticales. Une rupture de voûte et une chute brutale de produit sur le fond peuvent entraîner sa rupture et occasionner de graves accidents. Il sera prudent de travailler au-dessus du niveau de la matière stockée. Enfin, toute intervention au niveau d'une cellule, doit toujours être faite par une équipe d'au moins deux personnes; l'une d'entre elles se tenant prête à intervenir en cas d'accident.**

**Le problème le plus grave au niveau des silos est certainement celui constitué par l'accumulation de poussières et les risques d'explosion qu'elles présentent. Ces accidents sont heureusement peu fréquents mais dans tous les cas ils entraînent des dégâts considérables et parfois mort d'homme.**

[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](#)

---

## 6.4.2. Poussières

Tout mouvement de grains va provoquer la création de poussières en quantités d'autant plus importantes que les grains sont sales ou attaqués (par les insectes); elles peuvent représenter entre 0,1 % et 1 % de la masse de grains travaillés. Certains produits comme le maïs ou le sorgho produisent plus de poussières que d'autres céréales telles que le blé.

Les poussières sont des fines particules organiques arrachées aux grains dont la taille varie de 10  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$ . Lors des déplacements de grains ces particules sont envoyées dans l'atmosphère du silo où elles forment un nuage de poussière puis se déposent en couches successives. Leur masse volumique est d'environ 1,5, leur poids spécifique de 200-300  $\text{kg}/\text{m}^3$  (cf. 6.3.1. Matériels de nettoyage).

### 6.4.2.1. Risques d'explosion

**Les poussières ont une puissance explosive importante mais heureusement la combinaison de plusieurs facteurs est nécessaire pour qu'il y ait explosion.**

**Schématiquement, nous pouvons retenir qu'il faut:**

- **une énergie minimale d'ignition,**
- **une concentration explosive minimale.**

#### TEMPÉRATURE D'INFLAMMATION

| <i>Produit</i> | <i>Poussières en couche</i> | <i>Poussières en nuage</i> |
|----------------|-----------------------------|----------------------------|
| Maïs           | 250° C                      | 400° C                     |
| Riz            | 220° C                      | 470° C                     |
| Blé            | 220° C                      | 500° C                     |
| Farine de blé  | -                           | 380° C                     |

**La concentration minimale explosive est de 20 à 100 g/m<sup>3</sup> pour des poussières de**

**diamètre inférieur à 100  $\mu\text{m}$ .**

#### ***6.4.2.2. Préventions des explosions***

**On cherchera d'une part à réduire la formation de poussières et d'autre part à éviter la création de «points chauds» responsables de l'ignition. Enfin lors de la conception des installations de stockage, on devra prendre en compte le problème «poussières».**

##### **a) RÉDUCTION DE LA FORMATION DE POUSSIÈRES PAR**

- *dépoussiérage* des appareils par aspiration et notamment des appareils libérant beaucoup de poussières tels qu'élevateur à godets ou transporteurs à bande. Récupération des poussières par un circuit de dépoussiérage largement dimensionné comportant des cyclones permettant la récupération des poussières très fines (< 100  $\mu\text{m}$ ) explosives et des filtres,**
- *nettoyage des locaux*, ce nettoyage doit être fait à l'aide d'aspirateurs car les balais ou les appareils à air comprimé, en mettant en suspension les poussières, peuvent augmenter les risques d'accidents,**
- *diminution des possibilités d'accumulation de poussières* en évitant les surfaces planes inaccessibles et les aspérités des parois.**

## **b) ÉLIMINATION DES POINTS CHAUDS RESPONSABLES DE L'INFLAMMATION DES POUSSIÈRES**

- *en vérifiant la bonne marche et le bon état* des matériels et des circuits électriques, et en prenant les précautions nécessaires lorsque des travaux de réparation ou de construction nécessitent des soudures, des découpages... (Permis de Feu).

- il est également évident que les *interdictions de fumer* devront être parfaitement respectées.

- enfin, dans *l'implantation* des différentes parties du silo, il convient d'isoler le séchoir qui représente naturellement un point chaud important. Au niveau des constructions on pourra également prévoir des événements qui constitueront des points faibles de la structure et donc des points de rupture en cas d'accident.

**Le problème des poussières - dans tous les centres de stockage à rotation rapide - ne doit pas être sous-estimé et n'est pas encore parfaitement cerné aujourd'hui. Il doit en être tenu compte dans la conception et la gestion des installations.**

### **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**

**Séchage et ventilation sont des techniques qui agissent sur les deux facteurs principaux de conservation des grains que sont l'humidité et la température. D'autres techniques de conservation vont intéresser le troisième facteur de dégradation des denrées qui est la composition des gaz du milieu.**

#### **6.5.1. Conservation en atmosphère confinée - stockage sous gaz neutre**

**Cette technique de conservation est très ancienne, elle était utilisée dès l'Antiquité sur le pourtour de la Méditerranée où les céréales étaient stockées sous terre, d'une part pour cacher les réserves alimentaires, mais aussi en raison de la qualité du blé ainsi conservé. Ce type de stockage semble s'être développé en Europe au Moyen-Age. Il est redécouvert par les chercheurs au début du XVIIIe siècle, et au début du XIXe siècle des expériences et des projets de stockage en fosses sont tentés. C'est à cette époque que l'on commence en France à employer le mot «SILO». Il est intéressant de constater que ce terme, aujourd'hui largement utilisé pour qualifier les installations en vrac, est un mot espagnol qui à l'origine signifiait «fosses à grains».**

**Des expériences de cette époque (DOYÈRE), il ressort que l'atmosphère des silos est composée d'azote: 22 %, gaz carbonique: 16 % et d'oxygène: 2 %, et que, pour obtenir un bon stockage, les grains doivent être dans un certain état de siccité et les silos ne doivent donner accès ni à l'humidité, ni à l'air.**

### ***6.5.1.1. Stockage en atmosphère confinée***

#### **PRINCIPE**

**Au début du XX<sup>e</sup> siècle, des expériences ont montré que si on mettait des grains et des insectes dans un récipient hermétiquement fermé, les insectes mouraient; la respiration naturelle des grains et des insectes ayant créé un milieu asphyxiant. Des études plus récentes (1960) ont montré que cette asphyxie des insectes était essentiellement due à la baisse du taux d'oxygène plutôt qu'à l'accumulation des produits de la respiration. La réaction des insectes à l'asphyxie est variable suivant les espèces, mais généralement les insectes des stocks sont tués lorsque le taux d'oxygène est inférieur à 2 % du volume de l'atmosphère intergranulaire, stade auquel le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) aura atteint un taux d'environ 15 %.**

**[Fig. 207: Consommation d'oxygène et production de gaz carbonique par des charançons adultes - Sitophilus granarius - en containers hermétiques \(13 et 133 insectes par kg de](#)**

[grains\). \(D'après OXLEY et WICKENDEN, 1963.\)](#)

**Ce n'est pas le taux de 15 % de CO<sub>2</sub> qui provoque la mort des insectes car, si l'on maintient un taux d'oxygène normal (21 %), le taux de CO<sub>2</sub> doit atteindre 36 % pour être léthal. Il semble en fait qu'il y ait un effet de «synergie» entre le faible taux d'oxygène et le fort taux de gaz carbonique.**

**Le temps nécessaire à l'asphyxie, dépend de l'activité respiratoire de l'ensemble grain-parasites et cette activité est directement liée à l'humidité et à la température du grain. En pratique, dans les zones tropicales et intertropicales, à une température de 26° C - 30° C, la mort des insectes, dans les structures étanches, devrait intervenir après 4 à 6 semaines avec du grain à 12 % d'humidité'.**

#### **a) PRODUITS STOCKÉS**

**Il faut considérer deux cas:**

- d'une part, celui du grain «sec» (grain stabilisé), dont l'activité biologique est réduite. Seule une infestation par les insectes peut produire une activité métabolique appréciable avec utilisation d'oxygène et rejet de gaz carbonique et d'eau,**

**- d'autre part, celui du grain «humide», siège d'une activité biologique intense:**

- du grain,
- des insectes,
- des micro-organismes.

**Le stockage hermétique va bloquer la respiration, tuer les insectes et freiner, voire arrêter, le développement des moisissures. Il faut cependant noter que de nombreux micro-organismes peuvent se développer à de très faibles pressions d'oxygène (O<sub>2</sub>). Au-dessous de 1 % d'O<sub>2</sub> certaines levures peuvent prospérer, certaines moisissures pouvant, elles, se développer à des concentrations aussi faibles que 0,2 % d'O<sub>2</sub>.**

**En milieu anaérobie des fermentations peuvent se produire sur des grains très humides (> 17 %). Elles libèrent une quantité importante de CO<sub>2</sub> et entraînent des modifications au niveau du grain: perte du pouvoir germinatif, baisse de la qualité meunière et boulangère (mais sans perte de valeur alimentaire). La rapidité de ces phénomènes augmente avec la température et la teneur en eau. Des travaux sont en cours pour préciser les limites de ces modifications.**

## **b) INTÉRÊT DE CE TYPE DE STOCKAGE**

**- Insectes:**

- les grains sont débarrassés des insectes à tous les stades de développement,
- l'étanchéité de la structure empêche toute réinfestation,
- pas d'éventuels résidus toxiques dus aux insecticides,
- pas de résistance de la part des insectes (contrairement aux insecticides).

**- Rongeurs: pas d'infestation possible.**

**- Micro-organismes: prolifération freinée, voire arrêtée.**

**Difficulté du système: obtention de structures étanches.**

**c) LES TECHNIQUES****- Techniques de stockage à petite échelle**

**La technique consistant à stocker le grain dans des greniers enterrés est utilisée de façon traditionnelle dans différents pays (Afrique du Nord, Somalie, Yemen...). Ces greniers sont souvent de simples trous creusés dans le sol dont les parois et le fond sont parfois**

**recouverts de paille. L'orifice du silo est bouché par une pierre elle-même recouverte de terre. Leur volume est de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>. Au Brésil, des méthodes plus récentes consistent à conserver le grain dans des poches plastiques enterrées.**

**En Afrique on peut rappeler l'utilisation fréquente du fût métallique de 200 l, de bonbonnes en verre ou de jarres...**

***- Stockages de grandes capacités***

- **Les silos souterrains argentins (Cf. fig. 208).**

**Dès 1941, en Argentine, 6 000 tonnes de céréales furent stockées en cellules étanches. Aujourd'hui la capacité de stockage en silos enterrés dépasse les 2,5 millions de tonnes.**

**Les unités de stockage sont constituées d'une partie enterrée de section trapézoïdale et d'une partie aérienne de forme arrondit. La construction est en béton armé. La profondeur du silo est fonction du niveau de la nappe phréatique mais elle peut atteindre 6 m. Le toit est recouvert d'un revêtement étanche et d'une peinture de couleur claire. Certains de ces silos peuvent atteindre des capacités unitaires de 10 000 t; cependant des installations plus récentes sont constituées de tranchées de 500 t. Une publication de la FAO fournit des détails intéressants sur ce type de structure**

## Dimensions

- tranchée trapézoïdale: grande base : 8 m
- petite base : 5 m
- hauteur : 3,5 m

**(Cette tranchée est parfois de forme semi-circulaire).**

- toiture arrondie: hauteur au centre : 1,5 m
- longueur : 25 m pour des tranchée de 500 t.

## Construction

**Parois de la tranchée de l'intérieur vers l'extérieur:**

- **Briques creuses (épaisseur 8 cm)**
- **Membrane imperméable multicouches**
  - **1 enduit d'asphalte dilué**
  - **1 couche d'asphalte appliquée à chaud**

- **1 feuille de feutre asphalté: 3 fois, soit 6 couches**
  - **1 couche d'asphalte**
  - **1 couche de laine de verre**
  - **1 couche d'asphalte**
  - **1 couche finale d'asphalte saupoudrée de sable sec.**
- **Sol en béton armé (mur de séparation entre cellules).**
  - **L'étanchéification à l'eau entre les tranchées est réalisée avec un mastic asphalté (7 kg de peinture asphaltée + 1,8 kg de fibre d'amiante moyenne ou longue / 1 kg de sable très fin) appliqué à raison de 2 à 4 kg/m<sup>2</sup>.**

### **Toiture en voûte**

- **Briques creuses (épaisseur 12 cm).**
- **Béton armé.**
- **Membrane imperméable multicouches, (des fissurations ont été observées dans les toitures rigides, les couvertures souples réalisées initialement avec du papier renforcé étanche Sisal Kraft et des cannages de roseaux ou de la paille de blé supportent mieux les mouvements du sol et les écarts thermiques).**

**Ce type de construction est donc particulièrement soigné et nécessite un personnel**

**compétent. La manutention des céréales est réalisée, soit par transport pneumatique, soit par lanceurs pour le chargement et, pour la reprise, par des transporteurs télescopiques à bande qui chargent des camions ou des remorques.**

**Ces silos tranchés sont intéressants pour le stockage de longue durée de céréales bien séchées. Il semble cependant que dans bien des cas l'étanchéité ne soit pas parfaite et que l'on soit alors obligé de traiter les grains avec des insecticides.**

**[Fig. 208: Silo souterrain argentin.](#)**

- **Les silos «Chypre» ou «Kenya» (Fig. 209 a et b).**

**Ces cellules de stockage ont été construites pour la première fois à Chypre en 1956 par WALLER. En 1968 le Kenya s'est doté de 70 cellules de ce type pour une capacité totale de stockage de 100 000 t. Chaque cellule est constituée d'une partie enterrée de forme conique recouverte d'un toit en forme de dôme reposant sur une poutre circulaire en béton armé.**

**Les cellules, d'une capacité unitaire d'environ 1400 t, ont les dimensions suivantes:**

- diamètre : 20 m
- profondeur de cône : 6 m (pente environ

31°)

- hauteur de la voûte :6 m

**Fig. 209 a: Coupe d'une cellule «Waller» de 1450 tonnes.**

**Ces cellules étant construites en béton armé, il est nécessaire de les étanchéifier en plaçant entre les deux couches de béton une membrane de bitume. Les cellules du Kenya ont été équipées de sondes thermométriques et de tubes de prélèvement de gaz.**

**Les conservations de longues durées sont possibles en veillant à ne stocker que du grain sec et bien dépoussiéré. Cependant, comme dans le cas des silos argentins, il est parfois relevé des développements de moisissures ou d'insectes, signes d'une mauvaise herméticité.**

**Cette faible étanchéité aux gaz enfreint le principe même sur lequel sont conçues ces installations.**

***6.5.1.2. Stockage sous gaz inerte***

**Le stockage en atmosphère confinée peut présenter dans son principe quelques insuffisances:**

- **la diminution du taux d'oxygène jusqu'à une valeur voisine de 2 % peut nécessiter un temps relativement long surtout lorsque les grains sont très secs. Durant ce laps de temps, les insectes peuvent se développer et occasionner des pertes en poids et en qualité. Sur des grains plus humides, le développement des moisissures peut également être important avant un éventuel blocage et ceci d'autant plus que certaines moisissures se satisfont d'un très faible taux d'oxygène,**
- **le principe n'est pas applicable sur des produits inertes tels que les fèves de cacao par exemple.**

**Le principe du stockage sous gaz inerte consistera alors à accélérer le confinement de la cellule de stockage en remplaçant rapidement l'air interstitiel de la masse de grains par un gaz inerte tel que l'azote ou un mélange d'azote et de gaz carbonique. Le choix du gaz est avant tout économique; dans certains cas, l'azote peut être fourni directement par l'industrie, dans d'autres, il est plus avantageux de produire un mélange d'azote et de gaz carbonique par combustion d'un hydrocarbure (méthane, propane ou butane).**

**De nombreuses expériences de stockage sous atmosphère contrôlée sont menées en Australie par le CSIRO: atmosphère confinée d'une part, aujourd'hui considérée comme inadaptée au stockage moderne de grande capacité, et stockage sous gaz inerte d'autre part, qui s'est développé plus récemment.**

**Pour utiliser les structures classiques (notamment grands silos horizontaux en tôles ondulées) comme structures de stockage sous gaz inerte il faut les étanchéifier (utilisation d'émulsion de styrène acrilique, de silicone, de mousse de polyuréthane, de mousse de polystyrène...). Les différents essais ont conduit les chercheurs à définir des niveaux d'herméticité satisfaisante des structures.**

**D'après H. J. BANKS l'étanchéité de la structure peut être estimée satisfaisante si:**

- une surpression de 500 Pa décroît à 250 Pa en plus de 5 minutes lorsque l'on considère des magasins remplis de 300 à 10 000 tonnes, et en 10 minutes pour des capacités de 10 000 à 25 000 tonnes,**
- pour les mêmes structures mais vides, les temps sont alors respectivement de 12 mn et 24 mn. Enfin pour les petites capacités (5 tonnes) cette même chute de pression ne doit pas s'effectuer en moins de 30 secondes. On note que les structures de petites capacités sont plus difficiles à étanchéifier car elles ont un rapport surface-volume plus important.**

### **a) STOCKAGE SOUS AZOTE**

**Dans ce domaine, de nombreux travaux ont été menés en Italie (SHEJBAL) en utilisant soit de l'azote haute pureté (99,9 % de N<sub>2</sub>) relativement coûteux, soit de l'azote**

**technique obtenu plus économiquement et qui contient environ 0,5 % d'oxygène. Ce taux d'oxygène est suffisant pour contrôler les insectes qui sont tués si la teneur en oxygène (en l'absence de gaz carbonique) est inférieure à 1 %.**

**TEMPS NÉCESSAIRE (en jours) POUR DÉTRUIRE 100 % DES ADULTES (à 22° C)**

| % O <sub>2</sub> | <i>Tribolium confosum</i> | <i>Sitophilus granarium</i> |
|------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0,1              | 1                         | 2                           |
| 0,3              | -                         | 3                           |
| 0,5              | 2,5                       | 6                           |
| 0,8              | 4                         | 10                          |
| 1                | 8                         | > 10                        |

**Réalisés par la SNAMPROGETTI (Italie), des essais de conservation à long terme en mini-silos soumis à des températures ambiantes variant de 18° C à 32° C, ont donné les résultats suivants:**

**CONSERVATION DE BLÉ TENDRE DANS L'AIR ET SOUS AZOTE**

| <b>Durée de stockage (années)</b> | <b>0</b> | <b>1</b>   |                      | <b>2</b>   |                      | <b>3</b>   |                      | <b>4</b>   |                      | <b>5</b>   |                      |
|-----------------------------------|----------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|
| <b>Atmosphère du milieu</b>       |          | <b>Air</b> | <b>N<sub>2</sub></b> | <b>Air</b> | <b>N<sub>2</sub></b> | <b>Air</b> | <b>N<sub>2</sub></b> | <b>Air</b> | <b>N<sub>2</sub></b> | <b>Air</b> | <b>N<sub>2</sub></b> |
| <b>Paramètres</b>                 |          |            |                      |            |                      |            |                      |            |                      |            |                      |
| Humidité du produit (%)           | 10,5     | 10,8       | 11                   | 12,3       | 12                   | 12,2       | 11,9                 | 12,5       | 12,3                 | 12,7       | 12,3                 |
| Dégâts par les insectes           | nuls     | légers     | nuls                 | forts      | nuls                 | forts      | nuls                 | forts      | nuls                 | forts      | nuls                 |
| Pouvoir germinatif                | 96       | 95         | 95                   | 94         | 95                   | 93         | 93                   | 75         | 87                   | 1          | 63                   |

**Des essais plus courts (12 à 15 mois) avec des cellules pilotes de 20 à 30 m<sup>3</sup> en polyester armé ont donné de bons résultats malgré d'importantes variations saisonnières de températures (28° C à 8° C).**

## **Installations**

**Dans les installations commerciales, la cellule est mise sous gaz par une purge rapide à l'azote technique suivie d'un balayage lent pendant une dizaine de jours.**

**La Société IDEA propose des installations modulaires en béton armé où les cellules ont**

**une forme hémisphérique qui rappelle les cellules de Chypre.**

**Le béton armé étant un matériau poreux, les parois doivent être revêtues intérieurement d'un vernis étanche aux gaz et résistant aux acides faibles.**

### **b) STOCKAGE SOUS GAZ INERTE MÉLANGE D'AZOTE ET DE CO<sub>2</sub>**

**Le gaz inerte est obtenu par combustion à l'air d'un hydrocarbure: le méthane, le propane ou le butane. Pour éviter la production d'hydrogène ou de monoxyde de carbone (dangereux), une combustion doit être neutre ou très faiblement oxydante (0,5 % à 1 % d'O<sub>2</sub>).**

**En Côte d'Ivoire où le stockage sous gaz inerte s'est récemment développé, le gaz neutre est obtenu par combustion du butane et a la composition suivante: N<sub>2</sub>: 85 % - CO<sub>2</sub>: 12 à 14 % - O<sub>2</sub>: 1 à 3 %.**

**Des essais de désinsectisation ont été réalisés sur le riz, le maïs, le café et le cacao. Après 24 h de traitement, tous les insectes adultes ont été tués. Des conservations satisfaisantes de maïs, paddy, café, cacao pendant plusieurs mois sont également rapportées par les utilisateurs de cette technique.**

## Réalisations:

**Un premier silo en acier autopatinable (acier Corten) a été réalisé à Vridi, en Côte d'Ivoire, pour le stockage de fèves, de cacao. Pour obtenir une structure étanche, la solution qui a été retenue est celle de cellules métalliques soudées.**

**Le silo d'une capacité de 4 100 m<sup>3</sup> (2 665 t de cacao) est constitué de 18 cellules carrées: 10 cellules de 350 m<sup>3</sup> et 8 cellules de 75 m<sup>3</sup>.**

**Les cellules sont équipées de trappes de vidange et de remplissage et d'une valve tarée à + 50 mm CE en surpression et - 20 mm CE en dépression.**

**Le gaz produit par un générateur de gaz inerte (en Côte d'Ivoire générateurs de 120 m<sup>3</sup>/h) est introduit au niveau d'une vanne d'admission située au bas de la cellule. Plus lourd que l'air il chasse ce dernier qui peut alors s'échapper par la soupape de sécurité. Pour le remplissage, la consommation de gaz est estimée par le fabricant à 4 fois le volume total de la cellule. Des piquages situés en haut des cellules permettent d'analyser quotidiennement la composition des gaz. Le gazage est complété lorsque le taux d'O<sub>2</sub> dépasse 3 % selon le fabricant la consommation de gaz est de l'ordre de 10 m<sup>2</sup>/t/an.**

### 6.5.2. Stockage sous vide

**L'application du vide est une autre voie pour modifier l'atmosphère intergranulaire. Elle permet de tuer les déprédateurs présents à tous leurs stades de développement et d'arrêter le développement de la microflore. Ce type de conditionnement est aujourd'hui couramment utilisé pour la conservation de produits alimentaires en emballages de petites capacités adaptés à la distribution (café sous vide par exemple). Plusieurs constructeurs ont cherché à appliquer la technique à des emballages de plus grande capacité.**

#### ***6.5.2.1. Stockage en grandes poches***

**Les poches (commercialisées sous le nom de «Capatiner») ont une forme cubique et des capacités échelonnées entre 250 et 1250 litres. Le matériau constitutif est un polyéthylène basse densité de forte épaisseur (1 mm pour les parois latérales et 2 mm sur le fond) auquel sont adjoints des additifs destinés à améliorer sa longévité (antioxydants, anti UV). Un orifice de remplissage circulaire est prévu à la partie supérieure. Après chargement du contenu, la poche est mise sous vide et l'orifice de remplissage scellé par soudure. La vidange n'est actuellement envisagée que par destruction de la poche (ouverture du fonds) et refonte du matériau.**

**Pour la mise en œuvre du procédé, une machine spéciale a été réalisée avec pour objectif une cadence de travail de 9 600 poches de 1250 l (soit 12 000 m<sup>3</sup>) par mois à raison de 20 h de travail par jour (3 postes). Ceci a conduit à concevoir un matériel**

**complexe et puissant (285 kVA installés, 130 kWh consommés en moyenne, 6 m<sup>3</sup>/h d'eau, etc.) dont l'amortissement exige un parfait contrôle des circuits commerciaux amont et aval.**

**Des essais de conservation de cacao ont été réalisés avec l'IRCC au Cameroun (Yaoundé) sur des poches de 250 l fermées avec un vide initial de 600 mm et placées sous hangar. L'essai a duré 20 mois et les constatations suivantes ont été faites:**

- Les insectes ont été totalement supprimés par le vide, le développement de la microflore a été stoppé et les qualités organoleptiques des fèves n'ont pas été altérées (une diminution de l'astringence a même été observée).**
- Les poches sont fragiles et tout choc avec des objets durs anguleux est à craindre. D'autre part, le polyéthylène des poches testées n'ayant pas été traité anti UV, des fissurations du matériau se sont amorcées. Enfin des gouttelettes de condensation étaient visibles sur les parois intérieures prouvant l'existence de migrations d'humidité dans le produit.**

**Une installation de ce type a été récemment implantée en Indonésie pour la constitution de stocks de sécurité de riz blanc.**

#### ***6.5.2.2. Stockage en petits contenants***

**Les «petits contenants» sont des enceintes proches de la capacité des sacs classiques, donc pouvant contenir plusieurs dizaines de litres.**

**Plusieurs constructeurs proposent des lignes d'ensachage de petite capacité avec des dispositifs de mise sous vide variés (Désaération «gueule ouverte», pipette d'aspiration, valve) mais tous utilisent comme matériau des films complexes composés en général de 3 couches: à l'intérieur une couche de polyéthylène assurant une bonne soudabilité, au centre un film aluminisé étanche aux gaz et à l'extérieur une couche de polyester en raison de ses qualités mécaniques.**

**La mise sous vide provoquant un plaquage de l'enveloppe contre le produit, les aspérités de celui-ci peuvent provoquer des micropercements préjudiciables à la tenue du vide. Pour y remédier une sache intérieure en polyéthylène est souvent ajoutée à l'intérieur de l'enveloppe.**

**Des essais de stockage ont été conduits au Sénégal par l'ISRA pour tester l'aptitude à conserver différentes espèces de semences: arachide, niébé, maïs, mil, sorgho et ont donné des résultats satisfaisants après 18 mois de conservation. En particulier cette technique peut constituer une alternative au stockage réfrigéré (coûteux en énergie et en maintenance) actuellement utilisé pour la conservation de stocks de sécurité de semences d'arachides.**

**En CONCLUSION le stockage hermétique, en confiné, sous gaz inerte, sous vide connaît actuellement un regain d'intérêt en raison de son inocuité (non utilisation de produits chimiques) et de sa qualité d'isolement des paramètres extérieurs, en particulier de l'humidité.**

**Sa mise en œuvre est encore coûteuse et délicate mais des travaux sont en cours en vue d'aboutir à des applications vulgarisables à différents niveaux de stockage (producteur, stockage des semences, stockage de transit, de sécurité, etc.).**

---

[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 VII - Désinsectisation

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

[7.2. Méthodes de lutte](#)

### [7.3. Lutte chimique](#)

### [7.4. Traitements préventifs](#)

## **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](#)

**Nous avons vu au Chapitre I quels étaient les différents facteurs d'altération des denrées stockées et nous avons noté l'action d'agents extérieurs, dont les insectes, qui peuvent être responsables de pertes importantes.**

### **7.1.1. Développement des insectes**

**[Au cours de leur développement les insectes passent par plusieurs stades](#)**

**Dans des conditions favorables, la durée du cycle de développement est, pour la plupart des insectes, de l'ordre de 3 semaines à 1 mois. La température optimale de développement est de 25° C à 30° C (températures courantes en régions chaudes). Un abaissement de température peut allonger considérablement la durée du cycle (à 15° C il pourra nécessiter 5 à 7 mois). En deçà de 10° C et au-delà de 35° C le cycle est rompu et la mortalité des insectes devient importante. Le développement est également fonction de l'humidité du grain. Sur des céréales à moins de 9 % la mortalité est forte.**

**D'autres éléments importants interviennent également tels que la concentration en oxygène, la nature de la denrée, sa granulométrie (grains ou farine), la densité de population...**

**[Fig. 211: Diagramme rappelant les conditions de développement des insectes. \(D'après Insectes et acariens des céréales stockées ITCF - AFNOR\).](#)**

**Le nombre d'oeufs déposés par une femelle peut être très important (en moyenne 300 pour les charançons du riz) et dans des conditions optimales, en 1 mois, une population pourra être multipliée par 20, voire par 50 (Alucite). C'est dire l'attention que l'on devra porter aux stocks car ils risquent d'être rapidement totalement infestés.**

### **7.1.2. Principaux insectes des denrées stockées**

### **7.1.2.1. Rappel**

**Les insectes des denrées stockées appartiennent principalement aux deux ordres des Coléoptères et des Lépidoptères.**

#### **- Les Coléoptères**

**Les adultes possèdent une paire d'ailes antérieures sclérifiées appelées «élytres» qui protègent la paire d'ailes membraneuses utilisées pour le vol. Ceci donne à ces insectes une certaine résistance qui leur permet de se déplacer dans la masse des grains à la recherche de conditions favorables de développement (température, humidité, teneur en O<sub>2</sub>, présence de fines, etc.). Les larves, souvent responsables des dégâts, sont vermiformes.**

#### **- Les Lépidoptères**

**Vulgairement appelés papillons, ils possèdent deux paires d'ailes membraneuses recouvertes d'écailles. Relativement fragiles, ils n'infestent que la surface des lots. Les adultes ne vivent qu'une quinzaine de jours. Pour se nourrir ils ne disposent que d'une trompe; ce sont donc exclusivement les larves (appelées chenilles) qui, disposant de fortes pièces buccales, vont attaquer le grain.**

### **7.1.2.2. Principaux Coléoptères**

#### **- Les charançons**

**Dans les céréales stockées, les insectes les plus fréquents sont les charançons. En milieu tropical, ils sont essentiellement représentés par les espèces *Sitophilus oryzae* (charançon du riz) et *Sitophilus zeamais* (charançon du maïs). Malgré leur nom, ils pourront être présents dans diverses céréales: riz, maïs, blé, sorgho, mil...**

**Petits insectes (2 à 4 mm), allongés, à dos plat, ils sont facilement reconnaissables car leur tête est prolongée par un «rostre» parfaitement visible à l'œil nu. Les élytres sont décorées de quatre taches rougeâtres. Certains détails permettent de différencier les deux espèces citées.**

**Ces insectes peuvent être présents sur les grains dès le champ et leur faculté de vol favorise leur dissémination.**

**Le développement de l'insecte se fait à l'intérieur du grain. Avec son rostre, la femelle fait un trou dans un grain, y dépose un œuf puis rebouche le trou par du mucilage qui va durcir à l'air. Dès qu'elle apparaît, la larve creuse, au travers du grain, une galerie qu'elle va élargir au fur et à mesure de sa croissance. Elle se transformera ensuite en nymphe dans la loge qu'elle aura créée puis deviendra, après une dernière mue, un adulte qui**

**sortira alors du grain pour se reproduire. Au cours de ce développement qui est totalement caché, tout l'intérieur du grain aura été consommé. Il restera alors un grain vidé présentant un trou (trou de sortie de l'adulte) et contenant les déjections du développement larvaire.**

**Il est important de savoir que le développement du charançon se fait sous forme cachée, à l'intérieur du grain, et que des grains apparemment sains pourront en fait être totalement infestés. Nous verrons plus loin les méthodes qui permettent de déceler la présence des formes cachées.**

**[Fig. 212: Principaux insectes des denrées stockées. \(Doc. ICI.\)](#)**

**Enfin signalons que les adultes sont très sensibles aux chocs. Pour déceler leur présence, on peut donc secouer les grains ou les sacs de grains et s'ils sont infestés, on voit, après quelques instants, sortir les charançons.**

**[Fig. 213: Représentation schématique du développement du charançon.](#)**

**- *Les bruches***

**Ce sont les coléoptères des légumineuses. Chaque espèce semble être relativement spécifique à une plante:**

- ***Callosobruchus maculatus*** ou bruche du niébé et du pois chiche,
- ***Acanthoscelides obtectus*** ou bruche du haricot,
- ***Caryedon serratus*** ou bruche des arachides...

Ces insectes attaquent dès le champ et continuent leur développement en stock. Les bruches des stocks ont plusieurs cycles de développement par an.

Dans la nature la femelle peut déposer ses oeufs sur les fruits encore verts. A l'éclosion, la larve va entrer dans le grain et s'y développer. Il peut y avoir plusieurs larves dans le même grain. Là encore le développement s'effectue totalement à l'intérieur du grain. Les adultes ne vivent que peu de temps (1 à 2 semaines) et ne se nourrissent pas des denrées.

- ***Autres coléoptères fréquents***

- ***Tribolium***

Ce sont des petits coléoptères (3 mm) de couleur brun rouge qui s'attaquent essentiellement aux brisures. La larve, vermiforme, se développe à l'extérieur des grains et se nourrit également de brisures. Ces insectes représentés dans les stocks par les espèces ***Tribolium castaneum*** et ***Tribolium confusum*** attaquent difficilement le grain sain. Ils accompagnent souvent les charançons pour utiliser les dégâts (farines, graines

**endommagées) que ces derniers occasionnent. Les adultes, qui peuvent vivre très longtemps (2 ans), possèdent des glandes qui produisent une sécrétion nauséabonde dépréciant fortement les denrées. Une farine fortement infestée aura une odeur âcre.**

- ***Rhizopertha dominica***

**Également appelé «capucin des grains», ce petit insecte brun s'attaque aux céréales mais également au manioc et à la patate douce. Ce sont surtout les adultes qui font des ravages en s'attaquant au germe et à l'albumen qu'ils réduisent en farine.**

**En observant l'insecte de dos, on ne distingue pas la tête qui, perpendiculaire au reste du corps, est cachée par le thorax. La larve, en forme de croissant se développe à l'intérieur des grains. Cet insecte résiste bien à la sécheresse.**

- ***Prostephanus truncatus***

**Cet insecte a été appelé le «Grand capucin» des grains car il ressemble au *Rhizopertha dominica* mais il est de plus grande taille (3 à 5 mm). L'extrémité du corps taillée à angle droit permet également de l'en distinguer. Le Grand capucin, fréquent en Amérique centrale, commence à envahir l'Afrique de l'Est (Tanzanie) et de l'Ouest (Togo). Il commet des ravages importants sur le maïs (épis notamment) en réduisant rapidement les grains en farine.**

## [Fig. 214: Prostephanus truncatus.](#)

- ***Trogoderma granarium* Everts**

Le trogoderme ou dermeste des grains est un petit insecte (2-3 mm) brun, de forme globuleuse. L'adulte ne vit que 10 à 15 jours et ne cause aucun dégât. La larve, facilement reconnaissable car très velue, se développe à l'extérieur des grains et est la seule responsable des dégâts. Elle s'attaque à tout l'intérieur du grain. Dans certains cas, les larves se regroupent en très grand nombre dans les crevasses ou au niveau des coutures ou des «oreilles» des sacs, qu'elles détériorent. Ce sont des endroits que l'on peut rapidement inspecter lors de contrôles. Le trogoderme se caractérise également par une très grande résistance à la sécheresse et une bonne aptitude à survivre en l'absence de toute nourriture, Enfin cet insecte est très résistant à de nombreux insecticides de contact et constitue de ce fait un «insect-test».

### ***7.1.2.3. Principaux Lépidoptères***

- ***Sitotroga cerealella***

Communément appelé l'alucite, ce petit papillon au corps doré et aux ailes jaune pâle à longues soies, est, après le charançon, le plus important ravageur des grains dans le monde.

**La femelle dépose ses œufs sur les grains. Elle attaque souvent les épis dès le champ. Après éclosion, la larve (chenille), très mobile, va rechercher un grain sain et l'attaquer au niveau du germe. Tout le développement s'effectue à l'intérieur du grain qui sera totalement consommé, la larve s'alimentant du germe puis de l'albumen. Avant de se transformer en chrysalide à l'intérieur même du grain, la chenille découpe un opercule dans le tégument de la graine. Le papillon soulève cet opercule pour sortir du grain. C'est à ces opercules restant attachés au grain, et à la présence de lambeaux de toile blanchâtre (dépouille nymphale) que l'on reconnaît l'attaque de l'alucite.**

**Cette attaque donne au produit un goût désagréable et une odeur de «rance».**

**- *Plodia interpunctella***

**Appelé «teigne des fruits secs» ce papillon attaque également les grains de céréales. Le développement de la chenille s'effectue à l'extérieur de la denrée. En se déplaçant, les chenilles laissent derrière elles un fil de soie auquel viennent se coller des détritiques et des déjections, ce qui déprécie le produit. Les larves se nourrissent des germes des grains.**

**- *Ephestia spp.***

**Différentes espèces attaquent les céréales, les oléagineux et le cacao. Là également, la larve est libre. Elle attaque les germes et les brisures de grains et déprécie la denrée par**

**les toiles qu'elle tisse. Contrairement aux précédentes, elle ne craint pas la sécheresse.**

### **7.1.3. Dégâts causés par les insectes**

**Les insectes consomment les grains notamment au cours du développement larvaire, qui, souvent a lieu, sous forme cachée à l'intérieur même du grain. C'est le cas en particulier des charançons et des alucites. La conséquence première est donc l'observation de pertes en poids. Bien souvent le germe du grain est également consommé (en priorité par les lépidoptères), ce qui entraîne d'importantes pertes du pouvoir germinatif.**

**Les insectes contaminent les céréales par les restes de leur développement larvaire (exuvies, déchets, œuf..), par leurs déjections, par les sécrétions malodorantes et parfois toxiques des adultes et des larves qui déprécient fortement la denrée. Les nombreuses toiles tissées par les Lépidoptères pourront dans certains cas rendre une farine totalement impropre à la consommation.**

**Enfin certaines larves peuvent occasionner des dégâts au niveau des structures. Les larves de trogodome par exemple peuvent endommager les sacs.**

**La présence d'insectes dans les masses de grains a également d'autres conséquences. Leur développement va produire des déchets fins, des farines qui, tout en favorisant l'attaque d'autres espèces d'insectes (*Tribolium* suit *Sitophilus*) vont permettre le**

**développement des micro-organismes. L'activité biologique des insectes entraîne localement un échauffement du grain et une production d'eau qui, comme nous l'avons vu au Chapitre I, vont accélérer le processus de dégradation.**

## **ÉVALUATION DES PERIM EN POIDS SUR UN ÉCHANTILLON**

**Les dommages causés par les insectes dans les stocks ne sont pas toujours faciles à évaluer. Différentes méthodes ont été proposées pour déterminer les pertes en poids.**

**Le plus couramment les deux critères d'appréciation des dégâts sont le pourcentage d'attaque et le pourcentage de pertes en poids. Soit un lot de N grains (souvent 100 ou mieux 1 000 grains): que l'on sépare en grains sains et grains attaqués**

$$\begin{cases} N_s: \text{nombre de grains sains,} \\ N_a: \text{nombre de grains attaqués.} \end{cases}$$

**Le pourcentage d'attaque sera:**

$$A\% = \frac{N_a}{N_s + N_a} \times 100$$

**Le pourcentage de perte en poids peut être déterminé de la façon suivante:**

- les  $N_s$  grains sains pèsent le poids  $P_s$
- les  $N_a$  grains attaqués pèsent le poids  $P_a$

si les grains attaqués avaient été sains ils auraient pesé:  $\frac{P_s}{N_s} \times N_a$  or ils ne pèsent que  $P_a$ .

Le pourcentage de pertes en poids (B %) est la différence de ces deux poids  $\frac{P_s}{N_s} \times N_a - P_a$

rapportée au poids total du lot calculé comme s'il avait été sain:  $\frac{P_s}{N_s} (N_a + N_s)$

$$\text{donc } B\% = \frac{\frac{P_s}{N_s} \times N_a - P_a}{\frac{P_s}{N_s} (N_a + N_s)} \times 100$$

$$\text{ou encore } B\% = \frac{P_s N_a - P_a N_s}{P_s (N_a + N_s)} \times 100$$

**Pour les attaques par les insectes, il existe des tables de conversion qui permettent de déterminer directement le pourcentage de pertes en poids (B %) à partir du pourcentage d'attaque (A %) en divisant ce dernier par un facteur de conversion C.**

$$C = \frac{A\%}{B\%}$$

**Ce facteur est déterminé par type de céréale (J. M. ADAMS et G. G. M. SCHULTEN).**

**Exemple:**

**2 pour le blé, le riz, le paddy,**

**4 pour le sorgho,**

**4,5 pour le maïs en épis avec spathes,**

**8 pour le maïs égrené ou en épis sans spathes.**

**N.B.: D'autres auteurs (POINTEL et COQUARD) définissent un coefficient de perte spécifique K par lequel on multiplie le pourcentage d'attaque (A %) pour obtenir le pourcentage de perte en poids (B %).**

$$B \% = K \cdot A \%$$

**où K devrait être égal à 1/C. En fait ils diffèrent un peu.**

**Exemple:**

Blé avec charançons :  $K = 0,365$  ( $1/K = 2,74 \neq 2$ )

Maïs avec charançons :  $K = 0,116$  ( $1/K = 8,62 \neq 8$ )

Maïs avec alucites :  $K = 0,095$  ( $1/K = 10,53 \neq 8$ )

#### **7.1.4. Contrôle des infestations par les insectes**

**Le contrôle de la présence de formes libres est simple et peut s'effectuer par tamisage. La détection des formes cachées est plus complexe et différentes méthodes sont utilisables.**

**La première, dite de référence, consiste à attendre la fin du développement des formes cachées c'est-à-dire la sortie des adultes. Cette méthode est évidemment très longue car nous savons que dans des conditions optimales la durée du cycle de développement de la plupart des insectes est d'environ 1 mois. Ce n'est donc pas une méthode pratique pour le stockeur.**

**D'autres méthodes dites «rapides» sont envisageables.**

**- Méthode par flottation**

**Un échantillon de grain d'environ 50 g est versé dans un liquide dont la densité est fonction de la nature du grain (ex.: 1,25 pour les céréales). Après 10 min il est possible de séparer les grains sains qui coulent, des grains attaqués qui flottent. Cette méthode est imprécise car les grains faiblement attaqués (œufs ou jeunes larves) peuvent couler, induisant des erreurs par défaut.**

***- Méthode par coloration***

**• *A la fuchsine***

**Une solution d'eau distillée contenant 5 % d'acide acétique et 0,5 % de fuchsine acide dans laquelle est plongé l'échantillon colore en rouge les trous de ponte (des charançons). Cependant, certaines blessures du grain pouvant également être colorées, cette méthode rapide risque de donner un résultat erroné par excès.**

**• *A la ninhydrine***

**Entre deux rouleaux, l'échantillon est écrasé sur un papier imprégné de ninhydrine. Les acides aminés des oeufs, larves et nymphes écrasés vont colorer en pourpre le papier, Cette méthode donne un résultat par défaut; seuls 85 % des larves et nymphes sont repérées et moins de 50 % des oeufs.**

## **Ces trois premières méthodes détruisent l'échantillon.**

### **- *Méthode radiographique***

**Une radiographie aux rayons X permet de voir la présence de larves à l'intérieur des grains. Cette méthode, qui a l'avantage de ne pas détruire l'échantillon et de laisser un cliché (plaque radiographique), nécessite un équipement important et coûteux.**

**Ces quatre premières méthodes ne permettent pas de savoir si les formes cachées sont vivantes ou mortes.**

### **- *Méthode respirométrique***

**Elle consiste à mesurer la quantité de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) rejetée par l'échantillon. Des grains sains respirent et libèrent du CO<sub>2</sub> mais la présence de formes cachées dans le grain en accroît de façon sensible la production.**

**Deux techniques sont utilisées:**

- respiromètre de Warburg où le CO<sub>2</sub> dégagé est piégé par la potasse,**
- absorption des rayons infrarouges en fonction de la concentration en CO<sub>2</sub>;**

**beaucoup plus rapide que la précédente.**

**Ces techniques, qui ont l'avantage d'indiquer la présence de formes vivantes, restent assez sophistiquées et sont aujourd'hui surtout réservées aux laboratoires.**

**- *Méthode acoustique***

**Elle consiste à amplifier le bruit que font les larves qui se nourrissent à l'intérieur du grain. Un appareil simple, portable, a été récemment mis sur le marché, constitué d'une sonde comportant un amplificateur relié à un casque d'écoute. Cet appareil, s'il n'est pas très précis quant au niveau de l'infestation, permet de déceler rapidement et simplement la présence de formes cachées vivantes et pourrait être largement utilisé pour la surveillance des stocks.**

**Nous venons de voir rapidement quels sont les problèmes causés par les infestations d'insectes. La présence d'insectes vivants reste bien sûr la preuve la plus évidente d'une infestation, mais n'indique pas le niveau de cette infestation, car même lorsque les formes adultes sont rares, les formes cachées peuvent être nombreuses et ne faire apparaître une forte infestation que quelques semaines plus tard lorsque leur développement sera achevé et qu'elles auront déjà occasionné des dégâts importants. Il est donc nécessaire de déceler la présence de ces formes cachées par les méthodes que nous venons de voir: Laquelle? Elles restent avant tout complémentaires. Les méthodes**

**par coloration sont simples mais elles ne pourront pas signaler si, après un premier traitement (par fumigation par exemple), il y a une réinfestation. La méthode acoustique pourra alors être employée. Dès qu'il y a présence de formes cachées, souvent responsables des plus importants dégâts, il est nécessaire de traiter.**

## **7.2. Méthodes de lutte**

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

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

#### **7.2.1. Méthodes de lutte traditionnelles (ou utilisées en milieu paysan)**

**Nous avons déjà abordé ce problème au cours du chapitre IV traitant du stockage traditionnel, mais nous pouvons rappeler ici les méthodes couramment utilisées.**

#### ***- Exposition au soleil***

**L'exposition des denrées au rayonnement solaire intense favorise le départ des insectes adultes qui ne supportent pas les fortes chaleurs ni la lumière intense (en stock, les insectes se cantonnent souvent dans les zones sombres).**

**Le produit doit être disposé en couches minces et les formes cachées dans le grain ne sont pas atteintes.**

***- Enfumage***

**Les denrées les plus importantes pour le producteur sont souvent stockées en épis au-dessus des foyers domestiques et sont ainsi enfumées presque en permanence. Cet enfumage (parfois appelé à tort fumigation) ne tue pas les insectes mais les éloigne et empêche la réinfestation.**

***- Utilisation de plantes répulsives***

**Dans certaines régions on a coutume de mélanger aux grains des plantes qui agissent comme insectifuges. Des études sont menées sur certaines d'entre elles (notamment le NEEM) pour mieux connaître leurs propriétés et leurs principes actifs.**

***- Utilisation de matières inertes***

**Dans les récipients de stockage en vrac (jarres, grenier...) on mélange parfois aux grains de la cendre ou du sable fin, selon des proportions et des pratiques qui varient suivant les régions. De nombreuses croyances circulent quant à l'origine et à la qualité des matières inertes à employer. Il semble, en fait, que ces matériaux pulvérulents**

**remplissent les vides entre les grains et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à pondre. Ces matériaux fins auraient également un rôle abrasif sur les insectes et entraîneraient leur déshydratation. Dans tous les cas il faut que le matériau soit propre et suffisamment fin.**

***- Conservation en atmosphère confinée***

**Cette technique est utilisée de façon traditionnelle dans certaines régions. Comme nous l'avons déjà vu, elle consiste à appauvrir en oxygène l'atmosphère intergranulaire jusqu'à un taux létal pour les insectes. L'obtention de structures étanches (silo enterré, bidon de 200 l) est le principal obstacle à sa mise en œuvre.**

***- Utilisation d'huile***

**Le mélange d'huile (arachide, coco...) au grain (notamment de légumineuses) dans des proportions de 5 ml/kg est une technique qui a été récemment proposée pour la lutte contre les insectes. Elle pourrait être appliquée en milieu villageois sur des quantités cependant relativement modestes.**

***- Lutte chimique***

**En milieu traditionnel l'utilisation d'insecticides chimiques de contact se développe de**

**plus en plus, notamment en poudrage ou en pulvérisation. Les efforts doivent porter sur la formation des agriculteurs à l'emploi d'insecticides nouveaux, plus efficaces et moins dangereux que ceux actuellement utilisés. Nous verrons partie 7.3. quels sont les produits à recommander.**

### **7.2.2. Méthodes de lutte «modernes»**

#### ***- Lutte biologique***

**Nous la citons pour mémoire car elle n'est encore qu'à l'état de recherche dans les pays développés.**

**Recherche de mâles stériles - attaques des insectes par virus ou champignons - variétés cultivées plus résistants à l'attaque des insectes (en milieu tropical les variétés traditionnelles locales sont souvent beaucoup plus résistantes que les variétés améliorées introduites). La résistance aux insectes est un des critères maintenant pris en compte dans l'amélioration variétale.**

#### ***- Lutte physique***

- ***Lutte par le froid***

**Au-dessous de 10° C le développement des insectes est bloqué. En pays tempéré la ventilation par journées froides permet d'abaisser la température des stocks à ce niveau. En régions chaudes cette technique coûteuse n'est utilisée que pour le stockage de sécurité de semences.**

- ***Lutte par le chaud***

**Des essais de désinsectisation par la chaleur de céréales ou produits dérivés (farines, semoules) ont été réalisés en Australie et en France. La technique consiste à traiter les produits en lits fluidisés à haute température (60° C à 180° C); la température propre du produit n'atteignant pas 65° C à 70° C.**

**Ce choc thermique de quelques minutes, suivi d'un refroidissement rapide, entraîne une totale mortalité des insectes sans affecter les qualités technologiques du produit.**

**Une installation de désinsectisation par la chaleur, d'une capacité de 150 tonnes à l'heure, a été réalisée en Australie montrant que le coût de mise en œuvre d'une telle technique serait équivalent à celui d'une fumigation.**

- ***Modification de l'atmosphère du milieu***

**Il s'agit d'abaisser le taux d'oxygène de l'atmosphère intergranulaire jusqu'à un taux létal**

**pour les insectes (< 1 % d'O<sub>2</sub>). Les techniques utilisées sont décrites au chapitre 6.5.**

**Enfin nous pouvons citer pour mémoire des techniques sophistiquées telles que l'utilisation de rayonnements haute fréquence ou encore d'irradiations ionisantes non utilisées actuellement sur les grains.**

### ***- Lutte mécanique***

**Le transilage, le secouage, le passage au tarare, permettent d'éliminer une partie des insectes contenus dans les stocks. Ces opérations éliminent surtout les adultes libres et laissent subsister une partie des larves et des oeufs; elles ne peuvent donc pas être envisagées pour un stockage de longue durée, à moins d'être fréquemment renouvelées, ce qui les rend coûteuses.**

**Il existe toutefois un appareil de désinsectisation basé sur ce principe: l'Entoleter. Le produit à traiter est centrifugé et vient heurter des écrans placés à la périphérie de l'appareil. La percussion tue les organismes vivants présents dans le produit. Ce type d'appareil est généralement utilisé pour désinsectiser les pulvérulents: farines et semoules dans les moulins.**

**La méthode la plus répandue actuellement reste l'emploi de composés toxiques pour les insectes.**

## **7.3. Lutte chimique**

### **7.3.1. Traitement de contact**

### **7.3.2. Fumigation**

### **7.3.3. Magasins fumigables**

**Largement répandue en raison de son efficacité, elle doit être appliquée avec discernement en raison des risques qu'elle peut faire courir aux consommateurs du grain.**

**Deux types de traitement sont employés:**

- traitement par contact: le grain est recouvert d'une pellicule de produit insecticide qui agit plus ou moins rapidement et plus ou moins longtemps sur les insectes,**
- traitement par fumigation: des vapeurs insecticides mises au contact de la denrée détruisent rapidement toutes les formes d'insectes contenues dans les grains. Ce traitement curatif n'a qu'une action limitée dans le temps, c'est un traitement.**

[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](#)

---

### 7.3.1. Traitement de contact

Il consiste à recouvrir les grains d'une couche d'insecticide. Les insectes sont tués par contact ou par ingestion du produit. L'insecticide utilisé doit être:

- efficace (actif sur les différentes espèces d'insectes),
- persistant ou rémanent (action prolongée dans le temps,
- peu dangereux pour l'homme et les animaux domestiques.

#### 7.3.1.1. Insecticides de contact

##### a) FORMULATIONS

**Les insecticides sont composés de matière active (m.a.) mélangée à des adjuvants. Ils sont commercialisés sous différentes formulations**

**- Les poudres à poudrer**

**Ces poudres prêtes à l'emploi contiennent entre 0,5 % et 5 % de matière active et sont utilisées en mélange aux grains ou en poudrage superficiel (piles de sacs).**

**- Les poudres mouillables**

**Ce produit pulvérulent qui contient entre 25 % et 80 % de matière active est mélangé à l'eau afin d'obtenir une bouillie Il est généralement utilisé en pulvérisation pour le traitement des locaux à surfaces poreuses (parpaings, briques, etc.).**

**- Les concentrés émulsionnables**

**Ces concentrés sont composés de matière active et d'un adjuvant non soluble dans l'eau. Mélangés à de l'eau, ils forment une émulsion. Cette bouillie applicable par pulvérisation est notamment utilisée pour le traitement des surfaces non poreuses (métal, bois peint, etc.).**

**- Autres formulations**

**Concentrés liquides prêts à l'emploi commercialisés sous la forme de bombes «aérosol» utilisables pour les traitements d'ambiance.**

**Produit fumigènes qui, en brûlant, dégagent une fumée (aérosol dont les particules sont solides).**

**Plaquettes insecticides...**

## **b) RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS**

**- Que signifie DL 50 rat?:**

**C'est la dose létale (mortelle) pour 50 % d'une population de rats. Elle est exprimée en mg/kg de poids vif. Elle permet de classer les insecticides:**

- jusqu'à 20 mg/kg : produits très dangereux (ex.: Parathion),
- de 20 à 200 mg/kg : produits dangereux (ex. Dichlorvos ou DDVP, Lindane,...),
- de 200 à 500 mg/kg : produits moyennement à peu dangereux,
- 200 mg/kg : produits peu dangereux (Pyrimiphos-méthyl, Chlorpyriphos-méthyl, Malathion, Bioresméthrine).

## **Notions de concentration et dose.**

- **La concentration du produit commercial est la quantité de matière active contenue dans l'unité de volume ou de masse du produit commercial.**

### **Exemples:**

**1. Une poudre à poudrer 2 % signifie qu'il y a 20 g de matière active dans 1 kg (1 000 g) de produit commercial.**

**2. Pour les concentrés émulsionnables, il est nécessaire de bien lire sur l'emballage la concentration en matière active du produit. Ainsi «Actellic 50 EC» signifie qu'il y a 50 % de matière active dans le concentré, soit 500 g de matière active par litre de produit commercial.**

- **La concentration d'emploi est la masse de matière active contenue dans l'unité de volume de bouillie à épandre.**

### **Exemple:**

**Préparation de 1 litre de bouillie à 7,5 % de matière active à partir d'un concentré**

**émulsionnable type «Actellic 50 EC»:**

**Une boullie à 7,5 pour cent de matière active signifie que dans 1 litre (= 1000 ml) de boullie il faut:**

$$7,5/100 \times 1000 = 75 \text{ g de matière active}$$

**«Actellic 50 EC» signifie que dans 1 litre (1 000 ml) de produit commercial, il y a 500 g de matière active. On a besoin de 75 g de m.a. il faut donc:**

$$1000/500 \times 75 = 150 \text{ ml de produit commercial}$$

**On mélangera donc 150 ml de produit commercial à 850 ml d'eau pour obtenir 1000 ml (= 1 l) de boullie à 7,5 % de matière active.**

**Une formule simple donne la quantité Q de produit commercial à la concentration Ci à utiliser pour réaliser une quantité V de boullie à la concentration Cf.**

$$Q = \frac{V \times Cf}{Ci}$$

**Q** = Quantité d'insecticide à utiliser (en litre) commercial (en

**Ci** = Concentration initiale du produit commercial (en %)

**V** = Volume de bouillie à réaliser (en litre)

**Cf** = Concentration finale de la bouillie (en %)

- **La dose est la quantité, en grammes, de matière active à appliquer par unité de matériel traité (masse, surface, volume). Des exemples sont donnés dans le tableau 7.1.**

**La dose est parfois exprimée en «p.p.m.» qui signifie «partie par million» et équivaut donc à 1 gramme par tonne.**

### **c) LES PRODUITS INSECTICIDES**

**Différents produits chimiques sont utilisés pour lutter contre les insectes des stocks:**

**- Les organochlorés:**

**Fréquemment utilisés dans le passé (D.D.T, Lindane,...), ils ne sont quasiment plus employés aujourd'hui à cause de leur toxicité pour l'homme et les animaux domestiques.**

**- Les organophosphorés:**

**Ce type d'insecticide est d'un emploi courant à l'heure actuelle. Les plus anciens produits de la gamme comme le Bromophos, le Dichlorvos, le malathion... sont progressivement remplacés par des insecticides plus performants tels que le Pyrimiphos-méthyl et le Chlorpyrifos-méthyl. Ces derniers agissent par contact et ingestion mais également par inhalation. Leur tension de vapeur relativement élevée leur permet de diffuser et d'être donc adaptés aux traitements en couches vulgarisés pour les stockages traditionnels. Ces insecticides sont appréciés pour leur efficacité, leur persistance d'action (plusieurs mois en greniers fermés) et leur innocuité pour l'homme et les animaux domestiques. Ils seront peut-être concurrencés dans l'avenir par les produits plus récents que sont l'Etrimphos et le Méthacrifos.**

### **CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES INSECTICIDES DE CONTACT (Tableau 7.1.)**

| <b>Matière active</b>         | <b>DL 50<br/>(mg/kg)</b> | <b>Formulation</b> | <b>Dose<br/>recommandée<br/>sur grains (g<br/>m.a./tonne)</b> | <b>Traitement<br/>des locaux<br/>(g<br/>m.a./100<br/>m<sup>3</sup>)</b> | <b>Surface<br/>sacs et<br/>murs (g<br/>m.a./m<sup>2</sup>)</b> | <b>Observations</b> |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------|---|---|--|---------------------|
| <b>Pyréthrine de synthèse</b> |                          |                    |   |   |  |                     |
|                               | ≈ 8600                   |                    | 1,5   | -   | -  | Efficace            |

|                         |               |                              |       |     |       |                                      |
|-------------------------|---------------|------------------------------|-------|-----|-------|--------------------------------------|
| Bioresméthrine          |               | C.E. 25 g<br>ma/l            |       |     |       | contre les<br>Capucins des<br>grains |
| Delta métrine           | 140           | L.P. 12,5 g/l<br>et 25 g/l   | 0,5-1 | -   | 0,02  |                                      |
|                         |               | P.P. 0,05%                   |       |     |       |                                      |
|                         |               | P.M. 2,5 %                   |       |     |       |                                      |
| <b>Organophosphorés</b> |               |                              |       |     |       |                                      |
| Bromophos               | 4000-<br>8000 | P.P. 2 %                     |       |     |       |                                      |
|                         |               | P.M. 25 %                    | 8-12  | -   | 1     |                                      |
|                         |               | C.E. 360 g/l                 |       |     |       |                                      |
|                         |               | L.N. 400 g/l                 |       |     |       |                                      |
| Chlorpyrifos-<br>méthyl | 2140          | L.P. 240 g/l                 | 2,5   | -   | 0,5-1 |                                      |
| Dichlorvos              | 50-80         | L.P. 500 g/l<br>nébulisateur | 10    | 7,5 | 0,5-1 | Action de<br>choc sur les            |

|                       |      | 5%           |      |    |       | insectes.<br>Produit |
|-----------------------|------|--------------|------|----|-------|----------------------|
| Malathion             | 2800 | P.P. 2%      | 8    | 4  | 0,5-1 | dangereux            |
|                       |      | C.E. 500 g/l |      |    |       |                      |
| Pyrimiphos-<br>méthyl | 2050 | P.P. 2%      |      |    |       |                      |
|                       |      | P.M. 25 %    | 4-10 | 10 | 0,5   |                      |
|                       |      | C.E. 500 g/l |      |    |       |                      |

**Les organophosphorés sont cependant sensible à l'eau et se dégradent rapidement en conditions humides. Ils ont par ailleurs peu d'efficacité sur le Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*).**

#### **- Les pyréthrinoïdes de synthèse**

**Notamment la Bioresméthrine et la Deltaméthrine sont des produits insecticides très efficace sur les Capucins des grains et les lépidoptères. Leur stabilité n'est pas affecté par l'humidité mais leur efficacité diminue avec la température. Dans les traitements, elles peuvent jouer un rôle complémentaire aux organophosphorés dans des formulations mixtes.**

**Le tableau 7.1, donne les caractéristiques et les doses d'emploi d'insecticides de contact couramment utilisés. Pour ce qui concerne l'ensemble des produits insecticides, le lecteur pourra se reporter aux ouvrages spécialisés tels que l'index phytosanitaire édité chaque année par l'A.C.T.A.**

### ***7.3.1.2. Méthodes et matériels pour l'application d'insecticides de contact***

**Les insecticides sont disponibles sous différentes présentations et formulations: poudre à poudrer, poudre mouillable, concentré émulsionnable liquide pour pulvérisation, liquide pour nébulisation, solide fumigène...**

**Exemple: Pour le pyrimiphos-méthyl (suivant les fabricants) poudre à poudrer 1 % ou 2 %, poudre mouillable 25 %, concentré émulsionnable 50 EC: 500 g/l; prêt pour nébulisation: 50 g/l, etc.**

**Suivant l'objet du traitement (denrées, locaux, matériels), le type et l'importance du stockage, le niveau de technicité et les moyens de l'utilisateur, les méthodes de traitement pourront être différentes.**

#### **a) POUDRAGE**

**Au niveau du village c'est certainement encore aujourd'hui le mode de traitement le plus**

**répandu. Des insecticides sont vendus sous forme de poudre à poudrer contenant jusqu'à 2 % de Matière Active et sont directement utilisables.**

### ***- Poudrage de petits loïs***

**En milieu rural, le mélange de la poudre aux grains est parfois réalisé manuellement dans de petits récipients (calebasse, bassine...) ou encore par pelletage du tas de grains auquel on a ajouté la quantité de poudre nécessaire. Cette technique n'est qu'un pis-aller car le mélange est très hétérogène.**

**A un stade de technicité plus avancé, il est courant d'utiliser un fût métallique monté sur un axe excentré (poudreuse de type «baratte») (Fig. 215 a). Le Tropical Stored Products Institute a mis au point un mélangeur artisanal appelé «Fuffle» qui fonctionne par brassage dans un cylindre garni de chicanes. L'insecticide est déposé à la surface du grain dans le sac et le tout est déversé dans le Fuffle équipé d'une bouche d'ensachage à la sortie. Enfin pour les centres mécanisés existent des poudreuses motorisées comprenant une trémie à graine, une trémie à poudre, un cylindre mélangeur-élévateur et un dispositif d'ensachage.**

### ***- Poudrage des grains en place***

- **Poudreuses à soufflet**

**Pour le poudrage de greniers ou crib par la méthode «sandwich» on peut utiliser de petites poudreuses à soufflet. Les poudreuses à main et de nombreuses poudreuses à dos utilisent ce principe. Le soufflet est à accordéon ou à membrane et fournit un souffle intermittent ou continu.**

**Au fond de la trémie, la poudre est forcée à travers une grille par le déplacement d'une brosse. La poudre est aspirée dans le soufflet puis refoulée dans le conduit d'évacuation. Un déflecteur en bout de conduit répartit la poudre en nappe.**

- **Poudreuses à ventilateur centrifuge (Fig. 215 c)**

**Actionnées à la main ou avec un moteur, elles ont un débit continu. Un agitateur régularise l'écoulement de la poudre dans la trémie. Une vis d'Archimède, placée au fond de la trémie, entraîne la poudre vers un orifice à section variable, qui règle le débit. En fait, le débit est difficilement contrôlable, car il est influencé par la cadence de l'opérateur et par le remplissage de la trémie. Un débit plus régulier est obtenu par agitation et alimentation pneumatiques. Dans ce cas, une partie de l'air fourni par le ventilateur est dérivée dans la trémie à poudre. Le nuage de poudre créé dans la trémie est aspiré par un ajutage dans la conduite d'air principale,**

**On utilise couramment, dans les centres de traitement des semences, des appareils fixes perfectionnés qui traitent le grain au cours de la manutention.**

**Le traitement par poudrage présente plusieurs inconvénients dont le plus important est certainement l'hétérogénéité de répartition qui avec pour conséquence des surdosages (résidus) et de sous-dosages (inefficacité). Un autre inconvénient est le manque d'adhérence sur la graine donc la perte de produit au cours des manutentions en vrac et les risques d'intoxication pour les personnes travaillant à proximité.**

**Fig. 215: Différents types de poudreuses. Poudreuse manuelle dorsale ou ventrale avec ventilateur à manivelle.**

**[a\) Poudreuse type «baratte». \(Doc. PROCIDA.\)](#)**

**[b\) Poudreuse à membrane manuelle artisanale. \(D'après MATTHEWS.\)](#)**

**[c\) Poudreuse Berthoud «Procall Rex». \(Doc. BERTHOUD.\)](#)**

## **b) PULVÉRISATION**

**C'est une technique qui s'est développée pour le traitement des grains et des locaux. Elle consiste à diviser un liquide insecticide en fines gouttelettes et à les déposer sur les grains. Le produit commercial se présente sous forme:**

- d'un liquide donnant une solution dans l'eau,**

- **d'un solide donnant une suspension dans l'eau (poudre mouillable),**
- **d'un liquide huileux donnant une émulsion dans l'eau, le mélange est appelé «bouillie».**

**Suivant le type de pulvérisation, la taille des gouttelettes varie de 50 à plus de 200  $\mu$ . On distingue quatre types de pulvérisations.**

***- Pulvérisation mécanique à pression de liquide***

**La division en gouttelettes est obtenue par la mise en pression du liquide au moyen d'une pompe agissant mécaniquement. La finesse de pulvérisation obtenue n'est pas très bonne (elle n'atteint que 120 microns environ pour un jet conique produit à la pression de 3 bars par une buse ayant un orifice de 0,75 mm de diamètre). Plutôt que d'employer des buses de gros calibre (débit 2 l/mm pour 1200 q/h), il est préférable de traiter avec 2 buses (de 1 l/mn chacune) ou de travailler à plus haute pression.**

**Ce manque de finesse de la pulvérisation oblige à traiter avec des doses importantes (0,1 à 0,2 l/q).**

**Bien que les solutions huileuses concentrées généralement utilisées aient une bonne tenue, il faut prévoir une agitation du liquide par le retour en cuve d'une partie du débit de la pompe. Lorsque la chose est possible, il est intéressant de faire la pulvérisation sur**

**des grains tombant en nappe (boîtes à cascades, diviseurs, etc.), car la répartition du produit est meilleure (le traitement à la dose de 0,1 l/q sur un débit de grain de 200 q/h projette environ 15 gouttelettes par grain).**

**De nombreux appareils à dos utilisent ce principe.**

**On distingue les appareils à pression préalable qui, en fait, donnent un traitement irrégulier car la pression diminue au fur et à mesure de l'évacuation du produit; et les appareils à pression entretenue avec système de pompage manuel actionnant une pompe à piston, qui sont généralement préférés aux premiers.**

### ***- Pulvérisation pneumatique***

**Dans ce type de pulvérisation, le filet de liquide est introduit sans pression dans un violent courant d'air qui, par effet de choc, le divise en gouttelettes. La pulvérisation est d'autant plus fine que la vitesse de l'air est forte et que le rapport  $\frac{\text{débit d'air}}{\text{débit de liquide}}$  est élevé.**

**La pulvérisation est plus fine que celle obtenue par les buses à pression de liquide et se présente sous forme de brouillard véhiculé par le flot d'air.**

**Dans le réservoir, l'agitation est assurée par barbotage d'air.**

**La portée de ce type d'appareils est faible car le faible débit d'air sortant à grande vitesse est très rapidement freiné dans l'atmosphère.**

**[Fig. 216: pulvérisateur à pression préalable. \(Doc. CIBA GEIGY.\)](#)**

**Les pulvérisateurs pneumatiques à dos sont très utilisés en milieu tropical; aussi bien pour le traitement des récoltes sur pied que pour le stockage. Ce sont des appareils très polyvalents qui peuvent être transformés en poudreuses (voire en lance-flammes).**

**- *Pulvérisation thermique***

**Ce type de pulvérisation est obtenu par admission d'une solution huileuse dans une tuyère où elle est fractionnée dans le courant oscillant des gaz de combustion d'un mélange «air-essence». La pulvérisation est très fine (gouttelettes de 50 microns au plus) et blanche (du fait de la présence d'huile), d'où le nom de «nébulisation» souvent donné à ce type de traitement.**

**[Fig. 217: Pulvérisateur à dos à pression entretenue «COSMOS 18». \(Doc. BERTHOUD.\)](#)**

**[Fig. 218: Schéma \(coupe\) d'un pulvérisateur mécanique à pression entretenue. \(Ici le](#)**

[piston est fixe et le cylindre, mobile.\) \(Dessin CEEMAT.\)](#)

[Fig. 219: Pulvérisateur pneumatique à dos. \(Doc. C.N.E.E.M.A.\)](#)

[Fig. 220: Pulvérisateur thermique «Swing Fog». \(Doc. MOTAN.\)](#)

**Le «Swing Fog» très connu en régions tropicales fonctionne sur ce principe.**

**Pour le traitement des locaux, il est conseillé de connaître le volume à traiter pour déterminer la quantité de produit à émettre avant de commencer l'opération. L'opérateur progresse du fond du local vers la sortie, Les gouttelettes restant en suspension pendant 2 à 3 h, il est conseillé de ne ventiler les locaux qu'après ce délai. Le moment le plus propice au traitement se situe généralement à la tombée de la nuit, lorsque les insectes sont les plus actifs. Pour être efficace, il doit être répété chaque jour ou au moins 3 fois par semaine (ex.: magasins portuaires à cacao).**

### **Critiques de la pulvérisation**

**Le produit insecticide est mélangé à de l'eau ce qui peut entraîner une réhumidification des grains traités. La grosseur des gouttes pouvant parfois être importante, la répartition de l'insecticide ne sera pas parfaitement correcte. Enfin son emploi nécessite la préparation d'une «bouillie»; implique des manipulations et des mélanges qui peuvent**

être à l'origine d'erreurs de dosage et de gaspillage de produit.

### c) NÉBULISATION

C'est actuellement la technique la plus utilisée en Europe dans les grands centres de stockage, pour le traitement des denrées en vrac. Elle consiste à projeter sur du grain en mouvement, l'insecticide sous la forme d'un brouillard composé de particules dont la finesse (2 à 20 microns) permet une bonne répartition du produit et donc une grande homogénéité de traitement. Pour améliorer l'enrobage du grain il faut traiter en un endroit où le grain est bien éclaté (le plus souvent à l'alimentation au pied de l'élévateur.

L'appareillage, relativement simple, est composé d'un compresseur d'air, d'un débitmètre fixé sur le réservoir de produit et d'une buse de nébulisation. C'est au niveau de cette buse que le circuit d'air rencontre le flux de produit et l'éclate en fines gouttelettes. Les appareils peuvent être fixes ou mobiles.

[Fig. 221: Buse avec son support. \(Doc. CNCATA.\)](#)

[Fig. 222: Schémas montrant un pied d'élévateur et les points de nébulisation. \(Doc. CNCATA.\)](#)

## **La nébulisation a pour avantages:**

- **de permettre un «enrobage» d'insecticide autour du grain qui assurera une bonne protection du grain contre les formes libres;**
- **d'utiliser des insecticides liquides prêts à l'emploi, ce qui évite des erreurs de dosage et les pertes de produit.**

## **d) SOLIDES ET BOMBES FUMIGÈNES**

**Certains insecticides sont présentés sous la forme de solides fumigènes qu'il faut chauffer ou enflammer pour créer un brouillard. Des bombes fumigènes sont également proposées pour la désinfection des locaux ou des grains. Dans ce dernier cas elles doivent être placées dans les gaines de ventilation. L'insecticide souvent utilisé est le Dichlorves (DDVP). Ce type de traitement est intéressant pour lutter contre les insectes volants tels que les «Ephestia» des magasins de cacao mais doit être renouvelé fréquemment.**

### **En résumé**

**Appliqués correctement, à des doses suffisantes, les insecticides de contact permettent de lutter contre les formes libres infestants les stocks. Ils préservent ces derniers des**

**réinfestations pendant un certain laps de temps et permettent d'assurer un traitement préventif dm denrées.**

## **Inconvénients**

- **Pour être efficace, l'insecticide doit correctement enrober le grain ce qui nécessite des méthodes de traitement appropriées. Cette répartition de l'insecticide est parfois difficile.**
- **L'insecticide est en contact direct avec la denrée alimentaire et peut poser des problèmes de résidus.**
- **L'insecticide agit sur les formes libres et n'a pas d'action sur les formes cachées. Or ce sont souvent les formes cachées larvaires qui sont responsables des dégâts (charançons, alucite). Ceci constitue certainement le principal inconvénient de ce type de traitement.**

---

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