



MICROFICHE N°

10157

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
OFFICE DES CEREALES

LES PRINCIPALES ALTERATIONS ET MOYENS DE
CONSERVATION DES CEREALES
AU COURS DU STOCKAGE

ELABORE PAR
NEBYL MAHJOUB

JANVIER 1998

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE
OFFICE DES CEREALES

LES PRINCIPALES ALTERATIONS ET MOYENS DE
CONSERVATION DES CEREALES
AU COURS DU STOCKAGE

ELABORE PAR
NEBYL MAHJOUB

JANVIER 1998

AVANT PROPOS

Ce travail a été réalisé à l'instigation de Monsieur Salah Hamdi, Président Directeur Général de l'Office des Céréales qui n'a cessé de porter une attention particulière aux problèmes de conservation des céréales et de manifester sa sensibilité aux pertes subies pendant le stockage de longues durées.

Pour sa part, la Direction Technique, avec à sa tête Monsieur Ali Haddad, n'a ménagé aucun effort pour rassembler la documentation scientifique nécessaire. L'attention a été portée sur les altérations des céréales et les modalités de conservation pendant le stockage.

Le présent travail est un recueil bibliographique axé sur les origines des pertes post-récoltes et les modalités de conservation et de sauvegarde des stocks. Il relate en outre, les conditions particulières liées à la conservation des semences.

Ces conditions plaident en faveur de l'institution d'un organe spécialisé prenant en charge la gestion du stock stratégique de semences.

II - LA VENTILATION	22
C - CONSIDERATIONS SPECIALES POUR LA CONSERVATION DES SEMENCES	24
I - FACTEURS AFFECTANT LA DUREE DE STOCKAGE DES SEMENCES	25
1 - EFFET DE LA TEMPERATURE ET DE L'HUMIDITE	25
2 - RELATION ENTRE LA TENEUR EN EAU DU GRAIN ET L'HUMIDITE RELATIVE	31
II - LUTTE CONTRE LES PARASITES ET LES PREDATEURS DES STOCKS	33
1 - LUTTE CONTRE LES VERTEBRES	33
2 - LUTTE CONTRE LES INVERTEBRES	33
CONCLUSION	35
BIBLIOGRAPHIE	36

INTRODUCTION

Le secteur agricole joue un rôle important dans l'économie des pays en voie de développement car il intéresse une part importante de la population active et contribue de manière significative au produit intérieur brut.

Les céréales occupent une place privilégiée dans les systèmes des cultures de ces pays. Elles occupent une part élevée de la surface agricole utile et contribuent à l'alimentation de base de l'homme et du bétail. Tout effort visant l'autosuffisance alimentaire pour ces denrées de base doit être déployé tant au niveau de la production que de la conservation.

Le caractère saisonnier de la production des céréales, joint aux besoins de la consommation répartis sur toute l'année, ont, de tout temps, obligé les hommes à stocker les céréales pendant des périodes plus ou moins longues. Mais le caryopse des céréales, comme tout matériel biologique à l'état de vie ralenti, subit une évolution physiologique inéluctable qui peut avoir des effets bénéfiques sur sa valeur d'utilisation (levée de dormance, valeur boulangère, caractéristiques de cuisson) mais qui tend vers un vieillissement et, après un certain temps, vers des altérations dont la nature et l'intensité sont fonction de l'environnement. Ces diverses altérations se traduisent par des pertes qualitatives et quantitatives extrêmement importantes.

A - LES MECANISMES D'ALTERATION

Le déclenchement d'un processus d'altération nécessite que soient réunies simultanément deux conditions :

- La présence d'une ou plusieurs causes d'altération, intrinsèques ou extrinsèques aux grains, de nature biologique ou physicochimique.
- L'existence de facteurs d'environnement favorables à l'activité des causes d'altération.

1. CAUSES D'ALTERATION DU GRAIN STOCKÉ

1.- ALTERATIONS BIOLOGIQUES

Un lot de grain entreposé constitue un ensemble d'êtres vivants en équilibre biologique instable. Il comprend inévitablement deux entités vivantes :

- * les grains eux mêmes ;
- * les micro-organismes (levures, moisissures et bactéries).

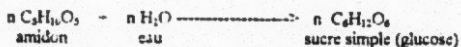
On y trouve également des insectes, des acariens voire même des petits vertébrés (rongeurs, oiseaux).

Le grain stocké convenablement est à l'état de vie ralentie, il comporte des parties vivantes (essentiellement le germe et l'assise protéique) qui sont toujours prêtes à accélérer très rapidement leur rythme vital lorsque le milieu est favorable. Les cellules de l'amande centrale sont essentiellement remplies de substances de réserve (amidon, glucides, protéines et en moindre quantité les lipides) qui alimenteront les processus vitaux quand ceux-ci démarrent.

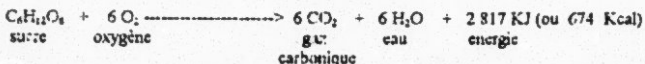
Les manifestations vitales essentielles des grains sont de deux ordres: la respiration et la germination.

a) La respiration

Elle affecte essentiellement les glucides et les lipides et se produit en aérobiose si l'humidité et la température du grain sont suffisamment élevées. Il se produit d'abord une hydrolyse de l'amidon, constituant majeur du grain, selon l'équation suivante:



Les sucres ainsi formés brûlent selon l'équation suivante:



La respiration du grain est un phénomène exothermique provoquant un dégagement de la chaleur. Sachant qu'environ 1 897 KJ (454 Kcal) sont bloqués sous forme chimique dans les liaisons phosphates (Simon, Meunier, 1970), l'oxydation d'une mole de glucose libère dans le milieu environnant 919 KJ (220 Kcal) sous forme de chaleur. Celle-ci est accumulée par les grains dont la température s'élève, d'autant plus que leur capacité calorifique et leur conductivité thermique sont faibles; de même, une partie du CO_2 et la vapeur d'eau produite sont adsorbées par les grains dont la teneur en eau augmente: on notera à ce sujet que la dégradation de 130 gr de glucose (1 mole) conduit à la libération de 108 gr d'eau (6 moles), ce qui est pondéralement très important. Dans ces conditions, le milieu devient de plus en plus favorable à la multiplication des micro-organismes et aux diverses réactions biochimiques.

En anaérobiose (absence d'oxygène), il se produit une fermentation intracellulaire, produisant moins de chaleur libérée (110 KJ par mole de glucose). Le grain subi des transformations le rendant impropre pour servir comme semence ou pour la consommation humaine, bien qu'il puisse servir à l'alimentation animale.

b) La germination

Le résultat du mécanisme respiratoire peut être double, d'abord une perte en matière sèche par combustion du sucre, ensuite une accélération des différents processus d'altération par accumulation de la vapeur d'eau et de la chaleur libérées. Toutes ces conditions favorisent d'un côté le développement des micro-organismes et de l'autre côté la germination.

La germination se produit en plusieurs étapes successives: inhibition, activation des mécanismes enzymatiques et multiplication cellulaire active suivie de développement de la plantule. Seule cette dernière phase est visible extérieurement.

La germination, même à ses premiers stades, est une altération grave pour le grain stocké ou à stocker. Elle peut se produire sur champ si l'année est pluvieuse. La valeur commerciale de ces céréales se trouve ainsi dépressée et en plus, elle ne peuvent plus servir comme semences.

c) Les micro-organismes

A la récolte, les grains comportent de très nombreux genres de bactéries, de moisissures et de levures. Les moisissures représentent la cause principale de la détérioration de la qualité des grains stockés. En effet, 4% des grains à travers le monde sont perdus à cause de l'activité des moisissures et d'autres micro-organismes (Chohan et al, 1972).

Pendant le stockage, le grain est envahi par les micro-organismes spécifiques du stockage (Pelham, 1932). Si la teneur en eau est inférieure à 15 %, la microflore ne se multiplie pas. Au delà de 18 %, elle augmente rapidement.

Les principaux effets de l'attaque par les micro-organismes sont la décomposition du grain, l'élévation de la température ainsi que ses effets secondaires et enfin la production de toxines.

d) Les autres matières étrangères

Les lots non nettoyés par tamisage ou aspiration contiennent une certaine quantité d'autres céréales, de grains étrangers, d'enveloppes, de pailles, de pierres, du sable, etc. Les matériaux organiques de par leur capacité de rétention de l'humidité, peuvent affecter négativement le comportement des céréales au stockage.

b) La germination

Le résultat du mécanisme respiratoire peut être double, d'abord une perte en matière sèche par combustion du sucre, ensuite une accélération des différents processus d'altération par accumulation de la vapeur d'eau et de la chaleur libérées. Toutes ces conditions favorisent d'un côté le développement des micro-organismes et de l'autre côté la germination.

La germination se produit en plusieurs étapes successives: inhibition, activation des mécanismes enzymatiques et multiplication cellulaire active suivie de développement de la plantule. Seule cette dernière phase est visible extérieurement.

La germination, même à ses premiers stades, est une altération grave pour le grain stocké ou à stocker. Elle peut se produire sur champ si l'année est pluvieuse. La valeur commerciale de ces céréales se trouve ainsi dépressée et en plus, elle ne peuvent plus servir comme semences.

c) Les micro-organismes

À la récolte, les grains comportent de très nombreux genres de bactéries, de moisissures et de levures. Les moisissures représentent la cause principale de la détérioration de la qualité des grains stockés. En effet, 4% des grains à travers le monde sont perdus à cause de l'activité des moisissures et d'autres micro-organismes (Chohan et al, 1972).

Pendant le stockage, le grain est envahi par les micro-organismes spécifiques du stockage (Pelham, 1942). Si la teneur en eau est inférieure à 18 %, la microflore ne se multiplie pas. Au delà de 18 %, elle augmente rapidement.

Les principaux effets de l'attaque par les micro-organismes sont la décomposition du grain, l'élévation de la température ainsi que ses effets secondaires et enfin la production de toxines.

d) Les autres matières étrangères

Les lots non nettoyés par tamisage ou aspiration contiennent une certaine quantité d'autres céréales, de grains étrangers, d'enveloppes, de pailles, de pierres, du sable, etc. Les matériaux organiques de par leur capacité de rétention de l'humidité, peuvent affecter négativement le comportement des céréales au stockage.

e) les insectes et les acariens

La présence des insectes et des acariens dans le stock n'est pas inévitable au même titre que les micro-organismes. Elle est révélatrice des mauvaises conditions de stockage et signifie un risque d'altération important. Outre la consommation et la souillure des grains, ces insectes provoquant, de par leur activité, un dégagement de chaleur qui établit un gradient de température provoquant un déplacement de l'humidité dans le stock. Cette dernière favorise le développement des micro-organismes et la germination des grains.

Les insectes des grains stockés sont représentés par deux ordres principaux : les Coléoptères et les Lépidoptères. Les espèces du genre *Sitophilus* (Coléoptère), appelés communément charançons du blé, constituent les ravageurs les mieux adaptés aux perturbations mécaniques qui peuvent avoir lieu lors du stockage (Multon, 1982). Leur évolution larvaire, peut avoir une durée très variable selon les conditions climatiques et la teneur en eau des grains. En effet, elle nécessite plus de 100 jours à 15°C et seulement 20 jours à 30°C (Fleurbaey - Lessard et Trenteaux, 1977).

Les Lépidoptères peuvent attaquer directement les grains sains, ils sont relativement peu nombreux à l'état larvaire. Ils hibernent généralement à des températures inférieures à 15°C.

f) Les petits vertébrés

Il s'agit principalement des rongeurs et des oiseaux. Ces derniers peuvent causer des dégâts importants, au niveau du stock, mal protégés, par la consommation des denrées, par les acariures diverses et les contaminations (germes pathogènes) dont ils sont les vecteurs privilégiés.

2 - LES ALTERATIONS ENZYMATIQUES

Les altérations enzymatiques dues aux enzymes propres aux grains se manifestent de façon variée. Ce sont d'abord des hydrolases agissant sur les protéines, les lipides et les glucides. Ces enzymes ont libéré des réactions donnant des produits qui peuvent se dégrader ensuite par d'autres voies. C'est ainsi que la lipase libère des acides gras, qui sont ensuite oxydés par la lipoxygénase beaucoup plus facilement que les lipides dont ils proviennent; les amylases hydrolysent l'amidon en sucres fermentescibles qui peuvent alimenter ultérieurement les fermentations (Multon, 1982).

3- LES ALTERATIONS CHIMIQUES

Les réactions chimiques de dégradations sont de nature très variées :

- Les réactions de Maillard (brunissement non enzymatique) donnent par condensation des glucides et des protéines un grand nombre de composés intermédiaires (les prémélanoidines) et aboutissent dans leur stade ultime à la libération de composés polymères brunâtres (Petit et Adrian, 1967; Adrian *et al.*, 1950).

- Les modifications physico-chimiques (non enzymatiques) de l'amidon sont caractérisées, à des températures assez élevées, par l'éclatement des grains d'amidon et par conséquent la dénaturation de leur structure.

- La dénaturation des protéines et des acides nucléiques conduit à la perte des propriétés fonctionnelles: solubilité, caractères rhéologiques à l'état hydraté et activités enzymatiques.

- La destruction des vitamines, surtout de la vitamine B1 (Causeret et Mocquot, 1965) intervient également, bien que dans le cas du blé, cet effet soit relativement limité.

- Les oxydations non enzymatiques (oxydations directes par l'oxygène de l'air) se produisent en particulier au niveau des lipides et surtout des acides gras insaturés (auto-oxydation), elles sont très exothermiques (élévation rapide de la température du milieu) et risquent d'être explosives.

4- LES ALTERATIONS D'ORIGINE MECANIQUE

Elles sont surtout dues aux chocs physiques reçus au cours de la moisson, du transport et de la manutention pendant le stockage, entraînant les cassures et les brisures des grains. Les grains brisés, y compris ceux qui présentent des fissures internes, sont plus facilement attaqués par les moisissures et les micro-organismes que les grains entiers. Ils sont aussi sujets aux attaques par un grand nombre d'insectes et acariens.

D'autre part, les altérations enzymatiques et chimiques sont plus fréquentes dans les grains brisés.

Les grains d'orge dont l'enveloppe a été enlevée par les frottements sont privés de protection et sont altérés par la chaleur pendant le stockage.

3- LES ALTERATIONS CHIMIQUES

Les réactions chimiques de dégradations sont de nature très variées :

- Les réactions de Maillard (brunissement non enzymatique) donnent par condensation des glucides et des protéines un grand nombre de composés intermédiaires (les prémélanoides) et aboutissent dans leur stade ultime à la libération de composés polymères brunâtres (Petit et Adrian, 1967; Adrian *et al.*, 1980).

- Les modifications physico-chimiques (non enzymatiques) de l'amidon sont caractérisées, à des températures assez élevées, par l'éclatement des grains d'amidon et par conséquent la dénaturation de leur structure.

- La dénaturation des protéines et des acides nucléiques conduit à la perte des propriétés fonctionnelles: solubilité, caractères rhéologiques à l'état hydraté et activités enzymatiques.

- La destruction des vitamines, surtout de la vitamine B1 (Causseret et Mocquot, 1965) intervient également, bien que dans le cas du blé, cet effet soit relativement limité.

- Les oxydations non enzymatiques (oxydations directes par l'oxygène de l'air) se produisent en particulier au niveau des lipides et surtout des acides gras insaturés (auto-oxydation), elles sont très exothermiques (élévation rapide de la température du milieu) et risquent d'être explosives.

4- LES ALTERATIONS D'ORIGINE MECANIQUE

Elles sont surtout dues aux chocs physiques reçus au cours de la moisson, du transport et de la manutention pendant le stockage, entraînant les cassures et les brisures des grains. Les grains brisés, y compris ceux qui présentent des fissures internes, sont plus facilement attaqués par les moisissures et les micro-organismes que les grains entiers. Ils sont aussi sujets aux attaques par un grand nombre d'insectes et acariens.

D'autre part, les altérations enzymatiques et chimiques sont plus fréquentes dans les grains brisés.

Les grains d'orge dont l'enveloppe a été enlevée par les frottements sont privés de protection et sont altérés par la chaleur pendant le stockage.

II - FACTEURS JOUANT UN RÔLE DANS L'ALTÉRATION

L'activité des causes d'altération est étroitement liée aux facteurs du milieu, à savoir la température, l'humidité, la durée de stockage et la composition de l'atmosphère interne du silo. La conservation des grains va donc dépendre de ces différents facteurs.

1 - LA TEMPÉRATURE

La température est un facteur déterminant dans le conditionnement des mécanismes des altérations. En effet, plus la température est élevée, plus les réactions des altérations chimiques ou biologiques sont rapides.

La chaleur dégagée par la masse du grain croît exponentiellement avec la température, ce qui explique l'extrême importance de ce facteur (Séour, 1957).

Par conséquent, les températures élevées d'origine climatique ou biologique, ont des effets d'autant plus néfastes sur les produits stockés que le grain a une conductivité thermique très faible. Cela fait qu'en absence de ventilation, la chaleur dégagée par les phénomènes vitaux s'accumule sur place en provoquant des augmentations spectaculaires de température. A la chaleur inhérente à l'activité métabolique peut s'ajouter la chaleur produite par l'activité des micro-organismes, des insectes et des acariens.

En outre, quelques réactions, en particulier l'oxydation non enzymatique des lipides, peuvent se produire à des températures normales de stockage. D'autre part, la plupart des insectes sont influencés par les variations de température; ils ne peuvent passer la totalité de leur cycle de vie à une température inférieure à 10°C ou supérieure à 35°C. Pour la plupart des parasites importants, leur développement est faible en dessous de 20°C et minimal à 15°C.

Le tableau suivant montre l'effet de l'abaissement de la température sur les insectes:

Température en (°C)	Effets du refroidissement sur les insectes
< 30	Arrangement notable de la 2 ^{ème} pré-oviposition* de la 2 ^{ème} génération (3 à 4 mois), cela laisse la chance au refroidissement de l'automne ou de l'hiver de faire son effet.
19-20	Le développement des ravageurs autres que les charançons (<i>Rhizopertha dominica</i> , <i>Tribolium confusum</i> et <i>Trogoderma granarium</i>) est arrêté.
17	Stérilisation des oeufs des ravageurs cités ci-dessus.
15	Interruption de reproduction de la famille <i>Staphylinidae</i> (éléments du blé) les inclure. C'est aussi le seul de mortalité des insectes autres que des charançons (avec au moins une durée d'exposition de 3 mois).
> 10	Seul développement des charançons du blé.
7-0,5	Mortalité de toutes les formes de <i>Staphylinidae granarium</i> ou charançons du blé (avec en outre une durée d'exposition de 3 mois).

* : Temps total s'écoulant entre la ponte de l'oeuf et l'apparition de l'adulte.

2 - L'HYGROMÉTRIE DES GRAINS (ou activité de l'eau = a_w)

L'humidité est un facteur important pour toute activité biologique. Les grains suffisamment secs sont difficilement attaqués par les insectes; en effet, les femelles des charançons du blé n'arrivent pas à déposer leurs oeufs dans les grains à une teneur en eau inférieure à 10%.

Le grain est hygroscopique, en cédant ou en absorbant de l'eau de manière à maintenir un équilibre entre son humidité propre et l'humidité de l'air ambiant. Une humidité relative donnée de l'air intergranulaire lui correspond une teneur d'équilibre en eau du grain (Lacouran, 1962). Cet équilibre se traduit par des courbes isothermes dites « courbes d'humidité d'équilibre air - grain » dont les allures dépendent de la nature du grain et de sa température. Le cas du l'Orge et du blé sont illustrés dans la Fig 1 :

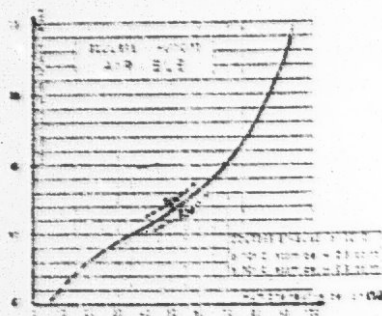
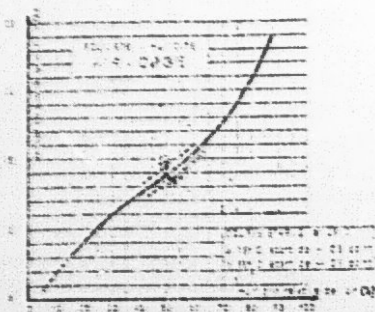


FIG 1 : Humidité d'équilibre céréales air
(d'après Lacouran 1962)



On a pu montrer qu'il existe de véritables seuils d'humidité relative (ou a_w) en dessous ou au-delà desquels, pour une température donnée, l'activité des causes d'altération se trouve inhibée. La figure 2 montre qu'à de rares exceptions près, aucune réaction biologique (micro-organismes) ou biochimique (enzymes) ne peut avoir lieu (avec une intensité significative, pendant des durées normales de stockage - quelques mois) lorsque l'H.R. est inférieure à celle du point critique (c). En deçà, seules les oxydations non enzymatiques, les réactions de Maillard et certaines activités enzymatiques (lipases, hydroxygénases) sont encore à craindre.

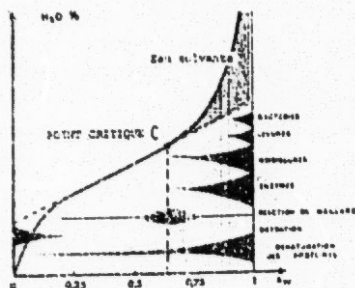


FIG 2: Courbes de désorption du blé, vers 20° C, montrant les zones d'action du facteur « Activité de l'eau » sur les principales causes d'altération (la largeur des zones hachurées est proportionnelle à la vitesse des réactions) (l'après Mouton 1961).

3 - COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE INTERGRANULAIRE

La composition de l'air intergranulaire, principalement la teneur en oxygène et en gaz carbonique, fait varier les structures du stockage. En absence d'oxygène, les arthropodes ne peuvent pas survivre; par contre la fermentation causée par l'activité microbienne peut avoir lieu. Le gaz carbonique intervient aussi au niveau des oxydations non enzymatiques et de certaines réactions enzymatiques. En général, la teneur en gaz carbonique dans une masse de grain stocké est fonction, entre autre, de la respiration du grain lui-même et de celle des organismes et micro-organismes qui l'accompagnent.

L'augmentation de la teneur en CO_2 est étroitement liée à d'autres paramètres physiques de conservation telles que la température et l'humidité du grain. En effet, la concentration en CO_2 double toutes les tranches de 1,5 % d'humidité jusqu'à 20%. Au delà de cette teneur, l'influence de l'humidité est très faible.

Dans les atmosphères où la proportion de CO_2 dépasse 10 %, l'activité métabolique, particulièrement la respiration du grain et celle des micro-organismes, peut être réduite ou même bloquée, chose qui a des conséquences directes sur la viabilité du grain surtout lorsque celui-ci est réservé comme semence d'où la nécessité de la connaissance de la concentration en gaz carbonique et en oxygène au niveau des stocks.

4 - LA DUREE DE STOCKAGE

Elle influence la vitesse des réactions chimiques et les différents processus d'altération des grains. Il est donc important d'estimer la durée probable maximale de stockage, qui est étroitement liée à la température et à l'humidité du grain (Multon, 1982). C'est l'humidité relative de l'atmosphère intergranulaire déterminée par la teneur en eau du grain à partir de la courbe d'équilibre air-grain, qui va conditionner les possibilités de conservation du grain. Comme le montre le graphique de la figure 2 les enzymes du grain et les moisissures ont la faculté d'agir ou de se développer dès que l'humidité relative dépasse 70 %. L'état « Humide » d'un grain a été fixé à partir d'une humidité relative d'équilibre de 70%, tandis que l'état « sec » a été défini pour une humidité relative d'équilibre inférieure à 60 %.

III. INTERACTIONS ENTRE LES FACTEURS DU MILIEU ET LES CAUSES D'ALTERATION

S'il est facile de distinguer ainsi de façon théorique le rôle de différents facteurs, cela reste toutefois quelque peu académique; en effet, ces facteurs ont en réalité des actions conjuguées, étroitement interdépendantes et sont soumis à des effets synergiques plus ou moins intenses.

En pratique, il faut donc tenir compte simultanément de l'ensemble des facteurs du milieu, sans les dissocier.

Le graph de la figure 3 résume les interactions citées plus haut, en montrant, dans un système de coordonnées H.R. % (ou H_2O %) / température, les domaines d'activité des principales causes d'altérations pour une durée de conservation supposée normale. L'auteur, (Multon, 1982), souligne que le graphique ne permet pas une délimitation nette des risques, car il ne prend pas en compte de façon précise les paramètres: durée de stockage, espèce, état du grain etc...) son but est seulement de mieux visualiser les phénomènes. On observera en particulier :

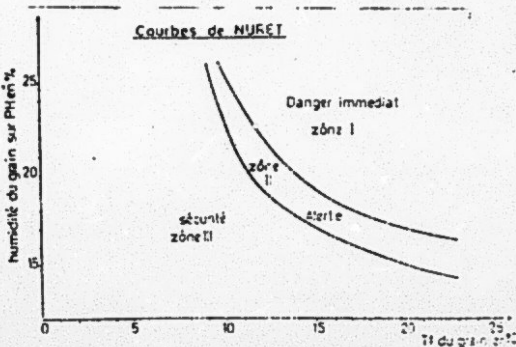
En définitive, un grain est stable, si sa température et son humidité lui permettent de préserver ses qualités germinatives et boulangères pendant un temps plus ou moins long. Pour un stockage correct des céréales, il faut d'abord récolter les grains au bon moment, ils doivent être réellement mûrs. Ensuite, maintenir une humidité et une température suffisamment basse pour éviter les altérations pendant le stockage..

En pratique, l'état du grain stocké, peut être déterminé moyennant les diagrammes établis à cet effet.

1 - Courbes de Nuret

Les courbes représentées ci-dessous sont le résultat de plusieurs observations et définissent 3 zones par rapport à la température du grain (en degré Celsius (°C)) et à l'humidité du grain en (%):

- Zone dite de « sécurité » où le grain est stable. Cette stabilité est d'autant plus grande qu'on se situe à gauche dans le diagramme, c'est à dire que la température et son humidité sont plus basses que possible,
- Zone « d'alerte », où le grain est instable du point de vue conservation;
- Zone de « Danger immédiat » le grain est en voie d'altération. Il faut donc le traiter pour le ramener à la zone de sécurité. Ceci peut se faire :
 - Soit en rabattant sa température moyennant la ventilation de refroidissement qui est un processus de transfert de chaleur;
 - Soit en réduisant son humidité par séchage chose qui n'est pas pratiquée dans nos conditions climatiques.

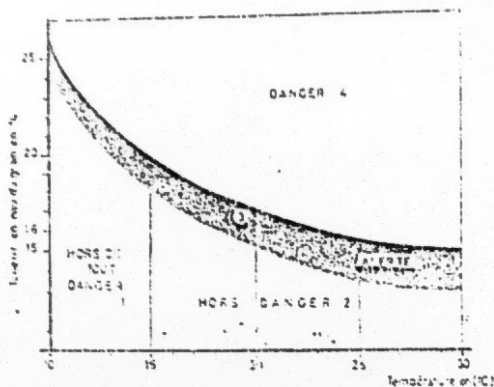


Cependant il est à signaler que les courbes de Nurst ont l'inconvénient de se limiter à des températures de l'ordre de 23° C et ne conviennent pas aux pays chauds comme la Tunisie.

2 - Diagramme de conservation des céréales (Doc. Agro Lorin).

Il intéresse essentiellement le blé, l'orge et l'avoine, il définit 4 zones en fonction de la température et de l'humidité du grain.

Le diagramme nécessite la connaissance de la température et l'humidité du stock d'où l'intérêt des équipements de la sibothermométrie et des appareils de mesure de la teneur en eau du grain.



ZONE 1 : Humidité faible, ventilation naturelle.

ZONE 2 : Humidité moyenne, ventilation naturelle ou contrôlée.

ZONE 3 : Humidité élevée, ventilation contrôlée de type 1 ou 2, la température de la masse et des points de ventilation doivent être surveillés.

ZONE 4 : Danger ventilation contrôlée.

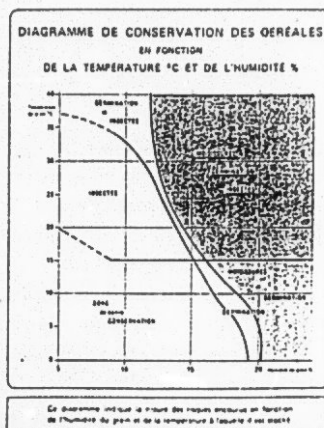
DIAGRAMME DE CLASSEMENT DES CÉRÉALES EN FONCTION
DE L'HUMIDITÉ ET DE LA TEMPÉRATURE DU GRAIN
(BLÉ - ORGE - AVOINE)

Source : Doc. AGRO LORIN

3 - Diagramme de conservation des céréales ou de Burgex et Burrel (Doc.FAO)

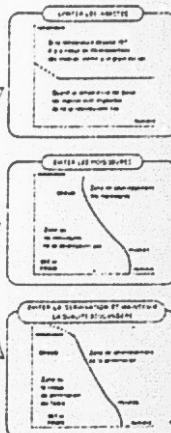
Il s'intéresse uniquement aux principales causes d'altérations à savoir: les insectes, la germination et les moisissures et cela dans un souci de simplifier les opérations de suivi des stocks des céréales. Ce diagramme a l'avantage de s'adapter à toutes les céréales et de s'étendre aux températures élevées (Hall, 1970). Il peut être considéré comme l'outil de gestion des stocks dans les climats chauds tel que celui de la Tunisie.

POUR BIEN CONSERVER LES CÉRÉALES STOCKÉES



IL SE DÉCOMPOSE
EN
TROIS COURBES

En superposant ces trois courbes,
on trouve quatre secteurs dangereux



Comme on peut le constater, le diagramme est en fait la superposition de trois courbes qui intéressent respectivement les limites de la multiplication des insectes, le développement des moisissures et les zones de germination du grain. La combinaison des trois courbes définit une zone de bonne conservation.

Au dessus de 18°C (température atteinte par la masse du grain), il y a toujours des risques de mauvaise conservation. Quand la teneur en eau est supérieure à 18%, il y a un grand risque de développement des moisissures et de perte du pouvoir germinatif. A l'opposé, si le grain est relativement sec (teneur en eau inférieure à 14 %), il y a toujours un risque d'infestation par les insectes.

La conséquence pratique c'est qu'il y a toujours intérêt à maintenir la température de préférence en dessous de 18°C, ou tout au moins aussi près que possible de cette température lorsque le grain est aux alentours de 15% de teneur en eau. Ce diagramme indique également que le grain humide reste peu stable et qu'il s'endommage très rapidement dès que sa température excède 10°C. De plus, on note que même à très basse température, les grains dont l'humidité est supérieure à 25 % ne sont pas exempts de détérioration par les moisissures.

B - LES TECHNIQUES DE CONSERVATION

On pourrait utiliser, pour conserver les céréales des moyens très variés et fort efficaces. Il y a toutefois deux contraintes qui limitent sensiblement le choix : d'une part, le prix de revient doit être suffisamment peu élevé pour rester en rapport avec le prix des grains (ce qui limite beaucoup l'usage de certaines techniques comme la réfrigération). D'autre part, le risque hygiénique doit être considéré comme prioritaire.

Les seuls procédés utilisables pour la conservation des céréales sont ceux de désinfection et de stabilisation, qui permettent, en agissant sur les facteurs du milieu, de freiner ou d'inhiber les processus d'altération pendant un certain temps. Le plus souvent, c'est une combinaison de plusieurs traitements de stabilisation, appliqués simultanément ou successivement, qui permet d'assurer la conservation correcte. Une bonne hygiène lors des manipulations des grains (récolte, manutention diverses, nettoyage des matériaux et des locaux, séparation des lots pollués) favorise grandement la conservation en évitant ou en réduisant les recontaminations des lots sains par les micro-organismes et les insectes.

Assurer une bonne conservation n'est donc pas uniquement une affaire de technique ou de matériel, mais doit être un souci constant à tous les niveaux de la chaîne.

Lors de l'entreposage, les céréales doivent être correctement nettoyées, et désinfectées, elles doivent être maintenues dans des conditions de sécheresse et de température compatibles avec une bonne conservation. Le problème principal pendant le stockage sera d'évacuer la chaleur et la vapeur d'eau résultant du métabolisme normal de l'éco-système.

En outre, il est nécessaire de refroidir le grain s'il y a échauffement excessif, ou de lui administrer un traitement insecticide supplémentaire.

Il est à souligner que le stockage du grain en vrac ou en sacs sur planchers n'offre pas les possibilités de conservation de la qualité des céréales et, n'est pas, par conséquent la méthode conseillée pour un stockage de longue durée. Seuls les silos modernes verticaux ou horizontaux permettent de mieux préserver la qualité des céréales si toutefois ils sont outillés de moyens de contrôle telles que la silothermométrie et la ventilation.

1 - LA SILOTHERMOMETRIE

La silothermométrie est l'ensemble des techniques de mesures et de suivi des températures et de l'humidité à l'intérieur du silo, à l'aide de capteurs bien disposés dans la cellule. Celle-ci est généralement associée à une installation de ventilation dans les silos modernes (fig 4).

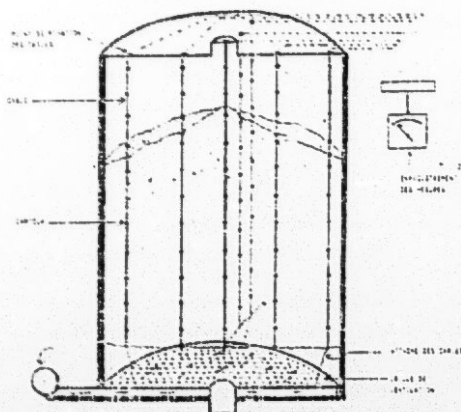


FIG 4 : Vue d'ensemble de la Silothermométrie (d'après Mukoa 1991)

1- RÔLE DE LA SILO THERMOMÉTRIE

Le rôle de la silo thermométrie est double :

a) Détection précoce et localisation des échauffements anormaux

Ce rôle concerne la sécurité touchant à la fois :

- * La sécurité « pondérale » du stock, dans la mesure où une température moyenne trop élevée peut signifier une activité respiratoire importante et donc une consommation de matière sèche synonyme de lourdes pertes financières.

- * La sécurité « qualitative » du stock : détection des échauffements biologiques, chimiques (auto-oxydation) ou d'autres origines de nature à altérer plus ou moins gravement les qualités alimentaires et technologiques des grains et à leur faire perdre tout ou une partie de leur valeur commerciale (Multon, 1982, 1986).

- * La sécurité du personnel et du matériel (silo lui-même, systèmes de manipulation etc...) dans la mesure où un échauffement très important peut conduire à des déformations des structures du silo, à la carbonisation lente du contenu, voire à des incendies ou des explosions de poussières (Multon, 1985).

La détection doit être la plus précoce possible, afin de connaître le phénomène d'échauffement avant qu'il ait pu se développer de façon grave et irréversible (Multon, 1971).

Cette obligation de précocité suppose que trois conditions soient remplies :

- Une condition de « densité » suffisante des capteurs et de répartition judicieuse de ceux-ci évitant de laisser des zones d'ombre non contrôlées dans le silo (Fig 5).

- Une condition d'exploitation: il est très utile d'effectuer une courte ventilation préalable à la mesure des températures pour favoriser la migration de la chaleur vers les capteurs.

- Une condition de précocité: les mesures doivent être suffisamment rapprochées pour observer l'échauffement le plus tôt possible après son apparition et pour pouvoir déterminer les « tendances » sur une série de mesures successives. L'idéal à cet égard est une lecture automatique gérée par ordinateur.

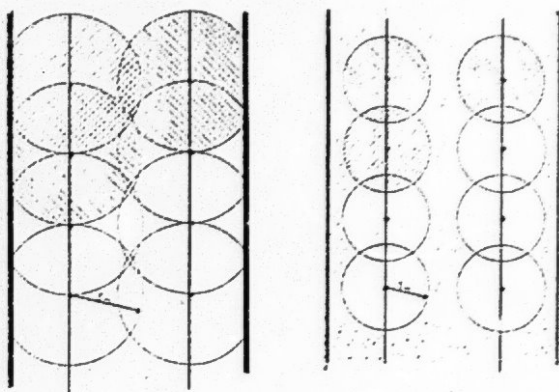


FIG 5 : Zones d'influence des capteurs et cones d'ombres résultantes dans une cellule (d'après Multon, 1991)

b) Conduite raisonnée de la ventilation

La silothermométrie est indispensable à plus d'un titre pour une conduite correcte de la ventilation (Lasseran, 1971, 1982) :

- Pour la prise de décision de ventiler et pour le choix des périodes de ventilation basés essentiellement sur la comparaison de la température des grains avec celle de l'air extérieur utilisé pour ventiler. Un mauvais choix de ce niveau peut conduire à un résultat inverse de celui recherché à savoir un réchauffement et ou une réhumidification des grains.

- Pour une conduite rationnelle de la ventilation elle-même : la « zone d'échange thermodynamique » (zone où s'effectuent les transferts de chaleur et éventuellement de vapeur d'eau entre le grain et l'air qui circule dans l'espace intergranulaire du bas vers le haut du silos pendant la ventilation) doit impérativement traverser complètement la cellule et ressortir en totalité de celle-ci faute de quoi, il se crée à la limite de cette zone des gradients de température générateurs de condensation d'eau, phénomènes très préjudiciables à la bonne conservation.

Seule la silothermométrie permet de suivre la progression de cette zone et de s'assurer de sa sortie complète de la cellule (Fig 6).

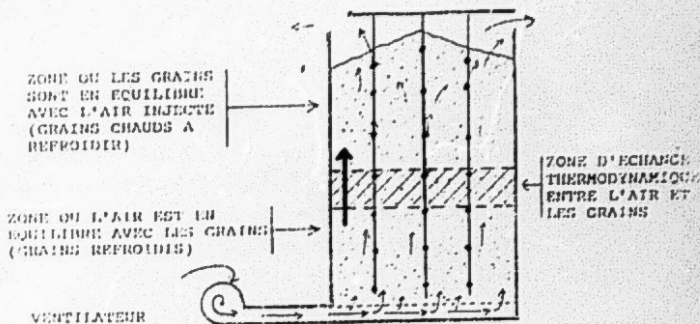


FIG 4 : Principe de la ventilation (d'après Mulien 1991).

2 - NORMES POUR L'INSTALLATION DE LA SILO THERMOMETRIE

Les textes de référence en terme d'installation de la silothermométrie sont ceux publiés par l'AFNOR (normalisation Française) et l'ISO (International Standardization Organization).

L'AFNOR a publié en 1972 une norme dans les principes essentiels ont été repris au niveau international par l'ISO qui a proposé et adopté en 1987 un projet de normes internationales ISO - DIS 4112.

Ces normes ont défini les modalités de l'installation de la silothermométrie et ce concernant surtout les distances minimales entre les sondes et les conditions de lecture de la température.

Cependant, Mufson (1990) a relevé les insuffisances de ces normes en tenant compte du progrès scientifique atteint. L'auteur s'est intéressé particulièrement aux zones compactées de céréales dans la cellule et au transfert de chaleur dans la masse des céréales. Il a émis des recommandations pratiques afin de pouvoir détecter précocement et efficacement tout phénomène d'échauffement anormal dans un silo :

- L'installation silothérmonétrique doit comporter une sonde centrale, à défaut, les sondes les plus proches ne doivent pas être à plus de 50 cm de l'axe vertical du fait de la sensibilité de cette zone aux démanèges des dégradations. Ceci implique qu'au niveau de la conception des gros oeuvres, la résistance des poutres et / ou du toit soit prévue en conséquence car les forces de traction du grain à la vidange du silo sur les câbles, surtout ceux situés au centre de la cellule, peuvent être très importantes.

- Les câbles doivent être suffisamment rapprochés les uns des autres et répartis selon un réseau dont les dimensions de maille sont de l'ordre de 2 à 3 mètres afin de couvrir tout le volume occupé par le grain.

- La nécessité de faire une pré-ventilation avant toute lecture de la température du fait de la faible conductibilité des céréales pour la chaleur et favoriser ainsi la migration de celle-ci vers les capteurs.

- La scrutation de l'ensemble des capteurs doit être faite au moins une fois par jour, si possible deux. L'ensemble de ces données saisies automatiquement sur micro-ordinateur, doit être soumis à une analyse statistique.

II- LA VENTILATION

En climat tempéré chaud, comme celui de la Tunisie, la ventilation des grains stockés en cellules ou en magasin est tout autant justifiée et recommandable que dans les régions où la saison hivernale est plus marquée.

Malgré une teneur en eau à la récolte assez basse, de l'ordre de 10 à 12 %, les grains ont besoin d'être refroidis pour être conservés dans de bonnes conditions en raison de leur température initiale souvent très élevée (30 à 40°C).

La ventilation est donc un outil idéal pour le contrôle de la température, elle peut être faite soit avec l'air ambiant soit avec de l'air préalablement refroidi à l'aide d'un groupe frigorifique (opération plus délicate et coûteuse nécessitant une équipe bien formée pour la réussir).

La ventilation consiste à envoyer une certaine quantité d'air à travers le grain moyennant un ventilateur. Ce passage d'air est rendu possible grâce à l'espace intergranulaire qu'offre une masse du grain entreposé en vrac, cet espace représente 40 % environ du volume total (Smith et Grough, 1990). Expérimentalement, le produit ne se refroidit pas uniformément sur toute la hauteur du silo. Après un certain temps de ventilation, trois zones sont distinguées dans la cellule (Fig 6).

Au cours de la ventilation, la partie inférieure de la cellule (par où arrive l'air) est refroidie la première. Au dessus, s'établit une zone de transition dans laquelle se fait le refroidissement qui monte très lentement à une vitesse d'un demi mètre /heure pour une vitesse d'air de 2 cm /seconde. Ce front à une hauteur d'un mètre environ.

Le lot de grain est complètement refroidi si le front de refroidissement l'a complètement traversé. On ne peut arrêter définitivement la ventilation que lorsque la température de la couche supérieure du grain devient voisine de la température de l'air (écart inférieur à 2 ou 3°C). Cela est possible grâce à la silothermométrie dont les capteurs situés sur toute la hauteur des céréales, permettent de suivre l'avancement du front de température.

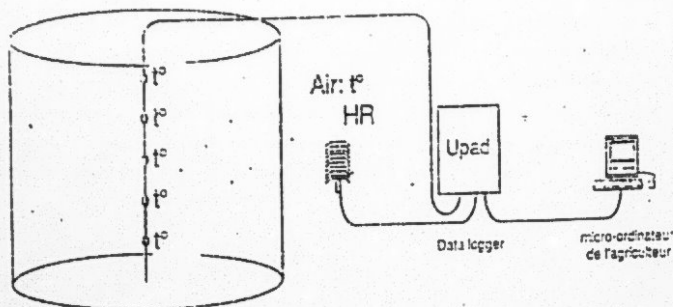


FIG 7 : Chaîne complète de mesure formant le système de contrôle de la température et de l'humidité (d'après Persoons et al. 1990)

La réussite de la ventilation est tributaire de la silothermométrie et du degré d'automatisme des opérations. En effet, quelque soient les conditions climatiques, une ventilation n'est efficace et sans danger sur les céréales stockées que lorsqu'elle est effectuée pendant des laps de temps bien choisis : il ne faut ventiler que lorsque l'écart de température entre grain et air ambiant est compris entre 5 et 7°C. Au delà, il se produit des condensations d'eau sur les parois de la cellule provoquant des zones plus humides et des moisissures qui détériorent les céréales stockées. Seul l'automatisme permet de tirer profit de la ventilation d'autant plus que ladite fourchette de température est obtenue généralement pendant la nuit (fig 7).

C- CONSIDERATIONS SPECIALES POUR LA CONSERVATION DES SEMENCES

La maturité physiologique des semences est atteinte alors qu'elle est encore sur la plante. A ce stade, la semence possède le maximum de viabilité et de vigueur, ce maximum peut être plus ou moins élevé et ce, en fonction des conditions du développement de la plante et de la maturité des grains. D'autres facteurs exogènes peuvent réduire la viabilité maximale à la maturité notamment les attaques d'insectes, le stress hydrique et la déficience en matière minérale (P_2 , O_2 , N_2).

A partir de la récolte, suite à la maturité complète jusqu'au semis, les semences traversent une période de stockage ou de transit d'un endroit à un autre durant laquelle elles se détériorent et vieillissent au fur et à mesure que le temps passe. Toutefois, quand le stockage est fait dans des conditions appropriées, la cadence du vieillissement sera nettement réduite. Il faut noter par ailleurs, que la courbe du vieillissement (perte de la faculté germinative) et la courbe de perte de vigueur, les deux en fonction du temps (Fig 8), sont typiques pour chaque lot de semence, et que la perte de vigueur devance toujours la perte de germination.

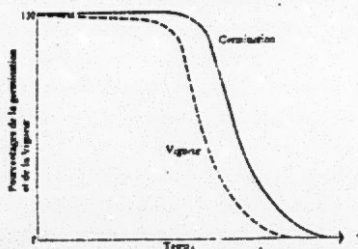


FIG 8 : Perte de vigueur et du pouvoir germinatif des semences au cours du temps (d'après Douglas, 1975).

Le vieillissement et la perte de la faculté germinative peuvent être retardés sans être totalement stoppés moyennant des techniques appropriées de stockage.

1- FACTEURS AFFECTANT LA DUREE DE STOCKAGE DES SEMENCES

1- EFFET DE LA TEMPERATURE ET DE L'HUMIDITE

Les deux facteurs exogènes les plus importants affectant la durée du stockage sont d'une part l'humidité du grain et d'autre part la température, plus ces deux facteurs sont élevés plus rapide sera la détérioration des semences.

Deux règles simples sont utiles pour connaître les effets de l'humidité et de la température sur le vieillissement des semences ce sont :

- * La durée de vie d'une semence est doublée pour chaque diminution de 1% du taux d'humidité dans le grain.
- * Cette durée de vie sera doublée aussi pour chaque diminution de 5°C de la température de conservation.

La première règle s'applique assez correctement entre les taux d'humidité variant entre 14% et 5%. Au delà de 14%, les moisissures détruisent rapidement la faculté germinative. Au dessous de 5% des réactions physiologiques touchant la composition du grain ont tendance à accroître la cadence de la détérioration. Quand ces deux règles sont respectées leurs effets seraient géométriques. En d'autres termes, si un lot de semence ayant un taux d'humidité de 14% est comparé avec un autre lot de la même semence mais séché jusqu'à 13%, la durée de vie du 2ème lot est deux fois plus longue que le 1er lot. Pour un troisième lot séché jusqu'à 12% vivra 4 fois plus que le 1er etc..

De même pour la température, si un lot est stocké à 27°C au lieu de 32°C, il vivra deux fois plus longtemps; à 22°C quatre fois plus longtemps et à 17 °C huit fois plus longtemps.

Ces deux facteurs agissent d'une manière indépendante, cependant leurs effets pourraient être combinés. Pour la plupart des gens, l'application de ces deux règles donnent une fourchette des durées de vie qui paraît trop grande pour être vraie, mais des expériences ont pu les démontrer (Douglas, 1975). Ceci explique pourquoi, les valeurs réelles du temps

n'ont pas été données pour la courbe de la figure 8. En effet, depuis la maturité physiologique jusqu'à la chute rapide de la vigueur et de la germination puis la mort de la semence, le temps est fonction de plusieurs facteurs. Les plus importants sont l'humidité du grain et la température de stockage.

Le tableau n°1 illustre ce fait en donnant des valeurs approximatives du temps jusqu'au point où la perte de germination soit significative, les durées de conservation des céréales sont données pour des fourchettes de 2% d'humidité et à une température donnée (32°C).

Tableau n° 1 : Durée de stockage des semences à différentes humidités et à des températures ne dépassant pas 32°C (d'après Doog'as, 1975).

HUMIDITE DU GRAIN (%)	DUREE DU STOCKAGE
11-13	6 mois
10-12	1 an
9-11	2 ans
8-10	4 ans

D'autre, facteurs affectent la durée de vie des semences stockées. Ce sont:

- La composition de l'air ambiant en O_2 et CO_2 ;
- L'exposition directe des semences à la lumière solaire;
- La nature de la semence;
- Le passé de la semence;
- Le type et le nombre d'application des fumigants;
- L'effet du conditionnement des semences ;
- L'attaque par les rongeurs , insectes et moisissures.

Les céréales ayant une humidité du grain au dessous de 10% viva d'autant plus longtemps que l'air ambiant est plus riche en gaz carbonique (CO_2) et plus pauvre en oxygène (O_2). Quand le taux d'humidité des céréales dépasse 14%, les activités biologiques internes du grain et de l'éco-système (insectes, moisissures) consomment l'oxygène et font augmenter le taux de gaz carbonique aux alentours des semences qui se dégradent rapidement.

Cependant, pour la conservation des semences pour de longues périodes; le stockage en anaérobiose présente des avantages appréciables dans le sens que cette variante permet d'allonger notablement les durées de conservation (Shebal, 1980). En effet, les métabolismes respiratoires du grain, des micro-organismes et des insectes sont bloqués et de ce

fait, il n'y a plus dégagement de chaleur ni production de vapeur d'eau, si toutefois la teneur en eau des semences reste inférieure au seuil de démarrage des processus de fermentation. L'absence d'oxygène permet également de détruire les insectes et les acariens et bloque toutes les réactions d'oxydation. Il s'agit donc, du principe, d'un excellent procédé de stockage (Multon, 1982).

Il y a deux technologies principales permettant d'obtenir l'anaérobiose :

- Le stockage sous atmosphère « confinée » il s'agit d'une conservation conduite dans un silo étanche dont l'atmosphère s'appauvrit en O_2 et s'enrichit en CO_2 du fait de la respiration de l'éco-système, celle-ci étant bloquée au-delà d'un certain seuil;
- Le stockage sous atmosphère « modifiée » : dans ce cas, l'anaérobiose est immédiatement imposée, soit par mise sous vide, soit par saturation de l'atmosphère intergranulaire de gaz carbonique ou d'azote.

L'inconvénient majeur de ce procédé demeure le matériel sophistiqué qu'il suppose: silo rigoureusement étanche, système de production de gaz ou de vide, sens d'entrée et de sortie, dispositif pour compenser les variations de pression d'atmosphère interne. De plus, les prélèvements et les remplissages doivent être aussi peu fréquents que possible : il s'agit donc d'un procédé plutôt adapté au stockage de longue durée. Cette technique pourrait s'adapter à la Tunisie pour l'entreposage des semences dans les silos en béton moyennant quelques modifications pour les rendre hermétiques.

La nature du grain influe aussi sur la durée du stockage, toute personne qui a stocké différents types de semences aurait appris que même dans des conditions de stockage identiques, certaines variétés perdent leur faculté germinative plus rapidement que d'autres. Il en est de même dans le cas d'un même type de semence.

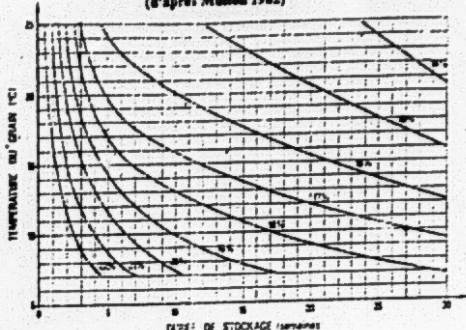
• cas de l'orge

L'orge qui a des enveloppes très hygroscopiques est par conséquent sensible aux variations de l'humidité ce qui influe sur la durée de sa conservation. La figure 9 donne la durée maximale de stockage de l'orge en annuaire, en fonction de sa teneur en eau et de sa température. Ainsi, une

orge stockée à 17% d'humidité et à 25°C se conserve environ 3 semaines, à 10°C la durée de stockage peut aller jusqu'à 23 semaines.

Cette durée augmente lorsque la température et / ou l'humidité du grain diminue.

FIG 9 : Diagramme de conservation de l'orge de brasserie
(conservation d'un pouvoir germinatif de 95%)
(d'après Mutton 1982)



* Cas du blé

Le diagramme de la figure 10 indique, pour une température de stockage et une teneur en eau données du blé, le temps de stockage au bout duquel le pouvoir germinatif ne sera plus que de 70%. Ainsi, pour un lot de blé conservé à une humidité de 16,5 %, la durée de stockage est de 45 jours à une température de 25°C et de 145 jours à 15°C. A cette dernière température la conservation du pouvoir germinatif de 70 % est assurée pour une année de stockage à une humidité comprise entre 14 et 15 % (extrapolation du diagramme vers la droite).

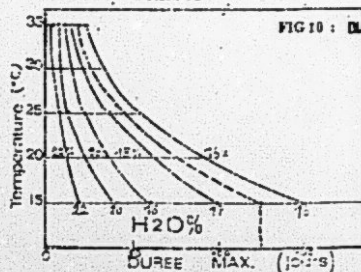


FIG 10 : DIAGRAMME DE CONSERVATION DU BLE

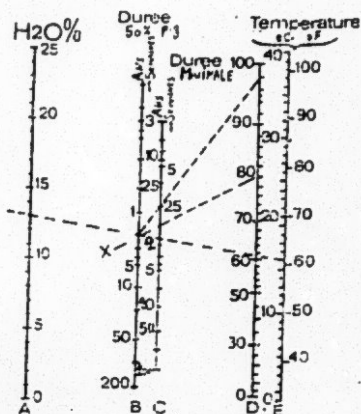
Critère :

pouvoir germinatif égal à
moins à 70 %

(selon A.D.A.S. Minist.
Agric. Anglais, cité par
LASSERAN, 1982).

Linko en 1963, (Fig 11), a établi des abacs permettant de donner la durée de conservation du blé à partir de l'humidité, de la température et du pouvoir germinatif initial.

FIG 11 : Nomogramme pour le calcul de la durée de stockage (d'après Linko, 1960).



BLE

Nomogramme basé sur le pouvoir germinatif au début du stockage et en fin de stockage. Pour calculer la durée de stockage pendant laquelle un blé conservera un pouvoir germinatif au moins égal à la valeur seuil, 70 % par exemple, il faut :

- joindre la valeur de sa teneur en eau, lue sur l'échelle A à la valeur de sa température, lue sur l'échelle E. Cette droite coupe l'échelle B en un point X ;
- joindre le point d'intersection X précédemment obtenu d'une part : à la valeur initiale du pouvoir germinatif du lot de grains et, d'autre part : à la valeur seuil du pouvoir germinatif, lues sur l'échelle D.

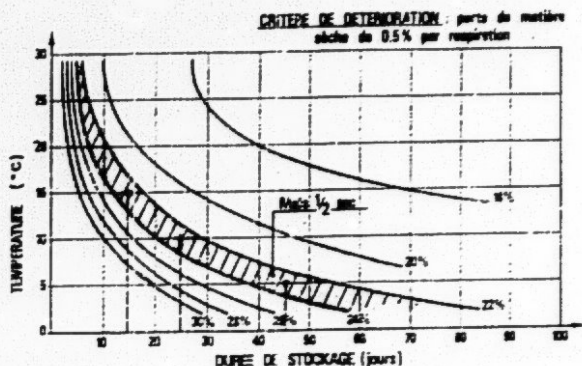
La durée de conservation se lit sur l'échelle C par différence entre les points d'intersection de ces deux droites avec l'échelle C.

* Cas du Maïs

Le diagramme de la figure 12 est présenté sous forme de courbes à même teneur en eau. Le critère de détérioration, permettant de fixer le temps maximal de conservation, est la perte de 0,5 % de matière sèche due aux phénomènes de respiration.

La zone hachurée concerne le maïs demi-sec entre 22 et 24 %, d'humidité ayant subi un pré-séchage: maintenu sous ventilation, le maïs à 23 % de teneur en eau et à une température de 15°C se conserve 14 jours; 25 jours à 10°C, 45 jours à 5°C tout en perdant 0,5% de sa matière sèche.

FIG 12 : Diagramme de conservation du maïs (d'après Multon 1981).



Il en ressort de ces diagrammes que la durée de stockage d'un grain est multipliée par 2 pour un abaissement de température de 5°C, de même, mais à température constante cette fois-ci, la durée de stockage est multipliée par 1,5 pour un abaissement d'un point de la teneur en eau du grain.

Le passé d'avant la période de stockage d'une semence influence aussi la cadence de la germination pendant le stockage; c'est le cas par exemple de l'effet climatique sur champ (mitadinage, échauffage etc...), la casse au moment du battage et du nettoyage, l'effet de l'échauffement au moment de la dessiccation surtout artificielle et la période durant laquelle la semence a éventuellement passé avec une humidité élevée avant d'être séchée et stockée.

D'autres facteurs tels que la fimigation, conditionnement, attaques des rongeurs, des insectes et des moisissures, réduisent la durée de vie d'une semence ou détériorent la faculté

germinative. Leur relation avec l'humidité du grain est très significative (Tableau n°2) : plus la semence est sèche, moins nombreux sont les facteurs agissant pour sa destruction.

Une semence ne doit jamais être conservée à plus de 14 % d'humidité. Pour une durée de conservation idéale où tous les facteurs dépressifs seraient éliminés, le taux d'humidité inférieur à 9% est nécessaire. Ce taux agit par la même occasion en ralentissant le vieillissement de la graine.

Tableau n° 2 : Relation entre taux d'humidité des semences stockées et facteurs de dégradation (d'après Douglas, 1975):

HUMIDITE DES SEMENCES (%)	DÉGATS
40 à 60	- Germination
18 à 20	- Echauffement
12 à 14	- Moisissures sur et dans le grain
12 à 14	- La fumigation peut diminuer le pouvoir germinatif.
10 à 12	- Stockage hermétique n'est pas assuré
8 à 9	- Multiplication active des insectes

La marge de température idéale pour une activité fongique et celle des insectes se situe entre 21°C et 27°C. Des températures inférieures à cette marge prolongent la vie de la semence. Par conséquent, une température de conservation inférieure à 21°C est désirée pour un stockage de longue durée.

2-RELATION ENTRE LA TENEUR EN EAU DU GRAIN ET L'HUMIDITE RELATIVE

Le taux d'humidité du grain est probablement le facteur le plus important dans la détermination de la longévité de la semence et du maintien de sa faculté germinative. Le fait que l'humidité du grain est fonction de l'humidité relative (H.R.), il est important de comprendre le sens de cette mesure l'humidité.

L'humidité c'est l'eau dans son état gazeux ou de vapeur dans l'air. Pour toute température, l'air ne peut contenir qu'une certaine quantité bien déterminée de vapeur d'eau ou d'humidité. Cette quantité augmente avec l'élévation de la température.

En conséquence, le taux d'humidité du grain devrait être en équilibre avec l'H.R. régnant dans le milieu. Cependant pour une même humidité relative, les semences d'espèces différentes n'affichent pas le même taux d'humidité lorsqu'elles sont en équilibre avec leurs milieux. (Tableau n° 3).

Tableau n°3: Equilibre entre le grain et l'humidité relative à 23°C (Agrawal, 1986):

SEMENCES	HUMIDITE RELATIVE en %						
	15	30	45	60	75	90	100
HUMIDITE DU GRAIN en %							
Maïs (<i>Zea mays</i>)	6,5	8,5	9,8	12,2	13,6	18,3	23,0
Riz (<i>Oriza sativa</i>)	6,8	8,6	10,7	12,6	14,4	18,4	23,6
Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>)	6,4	8,6	10,5	12,0	15,2	18,8	21,9
Blé tendre (<i>Triticum aestivum</i>)	6,7	8,6	9,9	11,8	15,0	19,7	26,3
Blé dur (<i>Triticum durum</i>)	6,6	8,5	10,0	11,5	14,1	19,3	26,6

De même, la température ambiante, influe sur l'humidité d'équilibre pour une humidité relative donnée. Quand la température est élevée de 10°C, l'humidité du grain sera réduite de 2%, la réciproque est vraie aussi : une réduction de 10°C entraîne une augmentation de l'H.R. de 2% . Ainsi, le niveau d'absorption ou de perte d'humidité varie généralement entre 0,6% et 1,6% de l'humidité totale du grain quand l'H.R. varie entre 10% et 75% (Roberts, 1972). Puisque l'humidité de l'air ambiant et l'humidité de grain entretiennent une relation d'équilibre, il est évident, que si une partie perd de l'humidité, l'autre partie en gagne jusqu'au rétablissement d'un nouvel équilibre. Dans une chambre perméable à l'air libre, ce sont les semences qui ajustent leur humidité pour réaliser l'équilibre avec l'air extérieur car la quantité de l'air libre, est trop grande par rapport à la quantité de semences. Par contre dans une enceinte hermétiquement fermée, c'est plutôt l'H.R. de l'air dans cette enceinte qui cherche à s'équilibrer avec l'humidité des semences du fait que celle-ci est plus importante que l'humidité de l'air.

Le climat régnant dans le site du stockage des semences est très important à considérer. La connaissance des moyennes mensuelles de l'humidité relative et de la température sont nécessaires. Certains sites s'approprient naturellement mieux que d'autres au stockage des semences.

Les conditions de stockage et le climat pendant la période de battage détermineront les modalités à suivre pour allonger la durée du stockage. Pour un stockage en vrac à court terme de certaines semences, une protection adéquate est préconisée par l'utilisation de

matériel d'isolation: parois imperméables aux vapeurs d'eau et une ventilation judicieuse pour éviter les fluctuations de l'humidité des grains pendant le stockage. Il est évident que tous ces facteurs doivent être pris en considération lors du choix des zones de production des semences et dans la localisation des magasins de stockage.

II - LUTTE CONTRE LES PARASITES ET LES PREDATEURS DES STOCKS

1-LUTTE CONTRE LES VERTEBRES

Les vertébrés des semences stockées comprennent les oiseaux et les rongeurs. Un bon magasin ne doit pas avoir de fenêtres, avoir une seule porte blindée. Les oiseaux constituent une source constante des pertes de semences si jamais une ouverture même petite, existe au niveau de la toiture. Toute ouverture doit être fermée ou bouchée.

Les rats et les autres rongeurs sont les plus sérieux prédateurs. Des recommandations spécifiques doivent être suivies pour éviter leurs dégâts:

- Le planché du magasin doit être à 90 cm au dessus du sol ;
- Avoir une chape de 15 cm tout au tour du bâtiment à 90 cm au dessus du sol ;
- Disposer d'une marche mobile à l'entrée du magasin qu'il ne faut utiliser qu'aux moments de la mise en place ou l'expédition de la semence.
- Utilisation des pièges.
- Utilisation des ultra-sons.
- Utilisation des produits chimiques tels que les anticoagulants
- Maintien des alentours des magasins propres.

2-LUTTE CONTRE LES INVERTEBRES

Les invertébrés attaquant les semences sont les insectes et les micro-organismes (levures, bactéries et champignons). Les mesures sanitaires appropriées sont indispensables pour la bonne conservation des semences. Pour cela, il est nécessaire de maintenir les locaux dans un bon état hygiénique.

Les insectes sont plus difficilement contrôlables, souvent ils infestent les semences déjà encore sur champ et sont transportés au magasin, ils peuvent aussi pénétrer à travers les fissures et les petites ouvertures. Les sacs usagés et les plançons peuvent contenir des insectes

qui réinfestent les magasins propres. Un bon entretien des magasins joue un rôle important dans la prévention de l'infestation des semences saines. Chaque magasin doit être nettoyé chaque saison: toutes les fissures doivent être colmatées, les murs et le sol ainsi que les planches doivent être traités par des insecticides adéquats. Au cours de l'entreposage des semences, le local doit être bien entretenu à l'intérieur comme à l'extérieur par le dépoussiérage, l'élimination des croûtes de peinture car elles représentent des refuges pour les insectes, l'élimination des déchets qui peuvent loger les insectes et attirer les rats et le nettoyage des rainures des portes. Quant aux semences proprement dites, une inspection régulière des lots s'impose pour rechercher les traces d'insectes, de rongeurs, d'humidité et des sacs déchirés.

Quand toutes les autres précautions n'ont pas marché (persistance de la présence des insectes), les fumigants doivent être utilisés en dernier recours. Mais il faut se mettre à l'esprit que la fumigation des semences est toujours dangereuse car tout ce qui est toxique pour les insectes l'est aussi à un certain degré pour les semences. Les dommages subis par les semences n'est pas très grand dans la mesure où l'humidité du grain est en dessous de 12 % et la température de conservation est en dessous de 30°C. Le traitement répété par les fumigants a un effet cumulatif sur le pouvoir germinatif des semences. Conserver les semences à un taux d'humidité inférieur à 9% qui empêche la plus part des espèces d'insectes de se multiplier est plus sûr. La fumigation est efficace uniquement quand l'étanchéité contre les gaz est assurée. L'élimination des insectes des semences n'élimine pas les sources de réinfestation (insectes logés dans les fissures des murs, dans les pousièrres entourant les piles). Il faut donc faire un traitement complémentaire de ces endroits à risque par les insecticides liquides. Tous les fumigants sont toxiques pour les humains comme pour les insectes, par conséquent, il faut observer à ce que le stockage soit bien ventilé après fumigation afin d'éliminer le gaz toxique avant l'entrée des ouvriers. Pour tous les fumigènes il existe une petite marge de sécurité entre la dose toxique aux insectes et la dose qui entraîne la perte de la germination ou la vigueur de la semence. Une attention particulière doit être faite au dosage et au mode de distribution des produits: 2 à 3 comprimés de 3 gr Tonne de céréales répartis uniformément dans la masse. La durée de contact varie entre 5 et 7 jours. Un maximum de 3 fumigations peut être préconisé durant 40 jours de stockage (Agrawal, 1986).

Les semences peuvent être envahies par les micro-organismes tels que les champignons pathogènes avant la moisson ou au stockage. Les champignons des stocks envahissent plus rapidement les semences endommagées ou cassées que les bonnes semences. La meilleure façon d'éviter les dommages par les champignons c'est de garder l'humidité des semences en dessous de 13%.

CONCLUSION

Le survol des mécanismes de l'altération montre que le stockage des céréales et particulièrement des semences est une opération complexe, souvent difficile à maîtriser, dont les modalités s'appuient sur des bases scientifiques très variées et aussi différentes les unes des autres que le sont la microbiologie, la biochimie, la thermique ou la toxicologie.

En Tunisie, les infrastructures actuelles de conservation, magasins ou silos, sont souvent réalisées avec des moyens insuffisants tant au niveau de la détection des altérations (manque de silothermométrie) qu'en terme des traitements (manque de distributeurs des produits de traitement et de système de refroidissement des céréales). Dans ces conditions, le stockage conduit trop souvent à des pertes importantes en matière sèche ou à des altérations qualitatives irréversibles même pour de courtes durées de stockage.

Eu égard, il est opportun de remédier à ces insuffisances afin d'améliorer les conditions de stockage et par conséquent, minimiser les pertes. Parallèlement, cette action doit être conjointe au recyclage permanent du personnel opérant.

D'autre part, la disposition d'un stock stratégique en semences et sa conservation pour de longues périodes sans détérioration nécessite la mise en place d'une infrastructure adéquate gérée par un organe spécialisé.

BIBLIOGRAPHIE

ADRIAN J., FRANGNE R., RABACHE M., 1980. La réaction de maillard et son incidence dans les industries céréalières. 8ème Symposium sur les matières étrangères dans les aliments. (B.P.C.A., C.I.L.A.) Varsovie.

AFNOR, 1972. Mesure de la température des grains ou graines entreposés. Normes NF V 30-106.

AGRAWAL P.K., 1960. Seed storage and packaging. Dans << Quality seed production >>. Ed. Van Gestel and Keley. ICARDA

BURGES H.D. BURRELL N.J., 1964. Cooling bulk grain in the british climate to control storage insects and improve keeping quality. J. Sci. Food. Agric., 15, 32-50.

CHOHAN J.S., DHANRAJ K.S., SUNAR M.S., WARAICH K.S., 1972. Relation of aeration to the growth of storage fungi and the resulting effects of grain quality. Bull. grain technol., INDIA. vol 10, pp. 250-262

DOUGLAS J.E., 1975. << Seed storage and packaging >> dans << Cereal seed technology >> Agricultural development paper FAO - Rome. p. 87-128.

FLEURAT-LESSARD F., TRENTESAUX E., 1977. Désinfection des produits céréaliers par traitement physique. Compte-rendu D.G.R.S.T. (75-7-0345/346/347).

HALL D.W., 1970. Handling and storage of food grains in tropical and subtropical areas, FAO Agricultural Development paper n° 90.

ISO-DIS, 1987. Mesurage de la température des grains entreposés dans les installations de stockage. Projet de révision de norme internationale ISO-DIS 4112.2 (révision de l'ISO 4112 1979).

LASSERAN J.C., 1981. La ventilation des grains. Perspective agricole. Numéro hors série, Mars.

LASSERAN J.C., 1982. << La ventilation des grains >> dans Agricultural development paper FAO - Rome. p. 87-128.

MULTON J.L. 1982. les mécanismes d'altération des grains et graines dans l'éco-système post-récolte, les pertes qui en résultent et les stratégies de défense des stocks << conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés. Edition Lavoisier. Tech. et Doc. APRIA. Paris.

MULTON J.L., 1985. Les mécanismes physico-chimiques et biologiques exothermiques sont-ils susceptibles de provoquer ou de favoriser l'auto-inflammation et l'explosion au cours de stockage des produits alimentaires pulvérulents ou granulaires? dans Multon << Les explosions de poudres et incendies spontanés dans les industries agro-alimentaires >>. APRIA. PARIS.

MULTON J.L. 1991. La silothérométrie. Homme, terres et eau : revue Marocaine des sciences agronomiques et vétérinaire. Spécial stockage des céréales et des légumineuses 21 (82): 175-188.

MULTON J.L., 1988. Difficultés de conservation résultant des grandes dimensions des structures de stockage des grains. 8ème Congrès international des Céréales et du pain. Lausanne (Suisse).

PELHAT J. 1982. Ecologie de la microflore des grains et graines dans << conservation et stockage des grains et graines et produits dérivés. Edition Lavoisier. Tech. et Doc. APRIA. Paris.

PERSOONS E., AMORY R., 1990. Comment conserver les céréales en climat chaud. Semaine Internationale de l'Agriculture. Journées d'études des petits projets agro-industriels adaptés à l'Afrique - Bruxelles -

PETIT L., ADRIAN J., 1967. La réaction de Maillard: description et repercussions physiologiques. Cahier de Nutrition et de Dietétique, 11, n° 4, 31-38.

ROBERTS E.H., 1972. Viability of seeds. Londres. Ed. Chapman and Hall.

SHEJBAL J., 1980. Controlled atmosphere storage of grains. Ed. Elsevier.

SIMON P., MEUNIER R., 1970. Microbiologie Industrielle et Genie biochimique .Ed. Masson.

SMITH C.V., GROUCH M.C., 1990. Meteorology and grain storage. Technical note n°101. Secretariat of the world meteorological Organisation- Geneva- Switzerland.

SROUR S., 1982.Cité dans <<Structures et conditions de stockage>> Bartall H. Cours International sur les techniques de stockage des céréales. 2-23 Mai 1992 Maroc.

FIN

... **39** ...

VUES