

Norme internationale



6322/1

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Stockage des céréales et des légumineuses — Partie 1 : Considérations générales sur la conservation des céréales

Storage of cereals and pulses — Part 1 : General considerations in keeping cereals

Première édition — 1981-05-15

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6322-1:1981

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0facea85-09ed-4121-a3f5-5c40f32ee909/iso-6322-1-1981>

CDU 633.1 + 635.65 : 664.821

Réf. n° : ISO 6322/1-1981 (F)

Descripteurs : produit agricole, céréale en grain, entreposage, généralités, conditions générales, conservation.

Prix basé sur 8 pages

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme internationale ISO 6322/1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 34, *Produits agricoles alimentaires*, et a été soumise aux comités membres en février 1979.

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée :

ISO 6322-1:1981		
Afrique du Sud, Rép. d'	Espagne	Philippines
Allemagne, R.F.	Éthiopie	Pologne
Australie	France	Portugal
Autriche	Hongrie	Roumanie
Brésil	Inde	Royaume-Uni
Bulgarie	Israël	Tchécoslovaquie
Canada	Jamahiriya arabe libyenne	Thaïlande
Chili	Kenya	Turquie
Chypre	Malaisie	Yougoslavie
Corée, Rép. de	Mexique	
Égypte, Rép. arabe d'	Nouvelle-Zélande	

Aucun comité membre ne l'a désapprouvée.

Stockage des céréales et des légumineuses — Partie 1 : Considérations générales sur la conservation des céréales

0 Introduction

Le caractère saisonnier de la production des céréales, joint aux besoins de la conservation répartis sur toute l'année, a, de tout temps, obligé à stocker les céréales récoltées pendant des durées plus ou moins longues.

Mais le caryopse des céréales, comme tout matériel biologique à l'état de vie ralentie, 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 préjudiciables et dont la nature et l'intensité sont fonction de l'environnement.

Ces diverses altérations se traduisent par des pertes qualitatives et quantitatives extrêmement importantes à l'échelle mondiale.

On estime que les pertes dues au stockage représentent en moyenne 5 %, ce chiffre pouvant atteindre et même dépasser 30 %, en particulier dans les pays à climats favorables au développement rapide des agents de dégradation et dans lesquels les techniques de stockage sont peu développées, tels que les pays en voie de développement de la zone tropicale humide. Les causes principales des pertes quantitatives et qualitatives sont les changements métaboliques du grain et l'action des micro-organismes (bactéries et moisissures) et des animaux vertébrés et invertébrés.

L'importance de ces chiffres montre bien l'intérêt de promouvoir dans le monde l'amélioration rapide des techniques de conservation.

1 Objet et domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6322 présente des considérations générales relatives aux problèmes de conservation des céréales. D'autres aspects du stockage des céréales et des légumineuses sont traités dans l'ISO 6322/2 et l'ISO 6322/3.

2 Références

ISO 712, *Céréales et produits céréaliers — Détermination de la teneur en eau (Méthode de référence pratique)*.

ISO 6322/2, *Stockage des céréales et des légumineuses — Partie 2 : Principales conditions requises*.

ISO 6322/3, *Stockage des céréales et des légumineuses — Partie 3 : Contrôle de l'attaque par les animaux vertébrés et invertébrés*.

3 Niveaux du problème

3.1 Facteurs d'ordre technique

Le problème de la conservation des céréales se pose à deux stades différents.

3.1.1 Aussitôt après la récolte, les céréales restent humides, dans certains cas, durant des périodes de temps allant de quelques heures à plusieurs mois. Bien que le produit à conserver soit particulièrement fragile, c'est en général à ce stade que les conditions de stockage sont les moins bonnes. Il s'agit souvent d'un préstockage à la ferme, ou dans des silos de petite taille plus ou moins bien équipés, en attendant les traitements appropriés.

3.1.2 Au stade de la commercialisation internationale, les céréales ayant une teneur réduite en eau (dont la valeur est fixée dans chaque pays) sont entreposées pendant des durées pouvant aller de quelques mois à quelques années. Ce stockage peut être fait de préférence au niveau d'organismes stockeurs très importants, possédant des silos modernes et bien équipés. Selon le type de stockage envisagé, ses conditions et le lieu, la nature même des problèmes qui se posent est différente.

3.2 Facteurs du milieu et d'ordre socio-économique

Les problèmes de conservation varient beaucoup d'un pays à l'autre en fonction des facteurs répertoriés ci-après.

3.2.1 Conditions climatiques

Les conditions climatiques sont, sans aucun doute, l'un des facteurs les plus importants; il joue à tous les stades de l'évolution du grain, depuis sa formation dans l'épi, jusqu'à sa transformation et sa consommation par l'homme ou l'animal.

On peut schématiquement distinguer des zones géographiques :

— à climat tropical chaud et humide, où l'altération des céréales peut être rapide;

— à climat chaud et sec, où les céréales sont récoltées naturellement sèches et où, de ce fait, le problème est le plus simple (par exemple le Sud des USA et le Moyen-Orient); cependant, dans ces régions, le grain peut rester chaud durant de longues périodes après la moisson, ce qui accentue les problèmes d'infestation par les insectes;

- à climat tempéré, où une partie au moins des céréales est récoltée humide (par exemple l'Europe);
- présentant des régions très froides et où se posent des problèmes très particuliers, tels que la conservation de céréales ayant séjourné sous la neige.

Il est à noter que les zones climatiques les plus défavorables coïncident souvent avec des pays en voie de développement, donc mal équipés pour lutter contre l'altération des céréales.

3.2.2 Activité importatrice ou exportatrice du pays

Tous les pays producteurs de céréales ont des problèmes de stockage au niveau de la ferme. Ceux qui importent et exportent des grains ont des problèmes de stockage plus importants. Ces pays exportateurs, en particulier, doivent mettre en œuvre des structures de stockage permettant de livrer des céréales répondant aux normes souvent très sévères des pays importateurs (en particulier en ce qui concerne les micro-organismes et les insectes). Toutefois, on rappellera que, dans beaucoup de pays exportateurs, il est important d'utiliser un équipement de faible coût.

3.2.3 Degré d'évolution technique

Certains pays en voie de développement ont une connaissance imparfaite des problèmes et sont souvent mal équipés pour les résoudre. Par ailleurs, le développement de techniques modernes de récolte (par exemple l'utilisation de la moissonneuse-batteuse) modifie beaucoup la physionomie du premier stade du stockage (3.1.1) en raison de l'afflux énorme de grains plus ou moins humides.

L'organisation et la structure du stockage sont très importantes en raison des différences dans les dimensions des silos utilisés; la présence de masses très importantes de grains pose en effet des problèmes spécifiques.

Actuellement, des types variés de systèmes de stockage plus ou moins évolués (en vrac ou en sac) coexistent dans le monde et souvent dans un même pays.

Il est préférable de séparer les lots de grains lors de leur arrivée à l'installation de stockage en vrac, suivant leur humidité, pour éviter de mélanger des grains secs et des grains humides.

3.3 Facteurs d'ordre qualitatif

La notion de céréale apte ou non à la consommation varie essentiellement en fonction de l'utilisation ultérieure de la céréale, c'est-à-dire consommation humaine ou animale, directe ou après transformation industrielle, ou encore transformation industrielle non alimentaire.

Le facteur qualité est généralement codifié sous forme de règles qui fixent, selon chaque pays, les critères de qualité, par exemple qualités du grain lui-même et quantités de substances étrangères tolérables (graines d'autres variétés, résidus d'insectes ou de rongeurs, résidus de pesticides, toxines).

Les exigences des pays importateurs sur les normes de qualité à respecter influent évidemment sur les problèmes de conserva-

tion qui se posent au niveau du pays exportateur. Les pays qui ont à leur disposition des méthodes de stockage peu évoluées peuvent éprouver des difficultés à se conformer à ces spécifications.

Ainsi, bien que chaque pays ait son propre problème, il y a, du fait du commerce international, des interférences très profondes, et beaucoup de problèmes sont communs aux niveaux scientifique et technique; à la lumière des connaissances actuelles, il est possible d'indiquer des procédés assurant une bonne conservation des céréales.

4 Caractéristiques spécifiques des céréales en tant que matériel à conserver

4.1 Grain de céréale en tant qu'organisme vivant

Le grain est un caryopse qui comporte des parties vivantes, essentiellement le germe et l'assise protéique, mais se trouvant à l'état de vie ralentie et 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, lipides) qui alimenteront les processus vitaux quand ceux-ci commenceront.

Les manifestations vitales essentielles des grains sont, rappelons-le, de deux ordres, comme suit.

4.1.1 La respiration, qui affecte principalement les glucides et les lipides, se produit en aérobiose si l'humidité et la température du grain sont suffisamment élevées; la respiration produit du dioxyde de carbone, de la vapeur d'eau et beaucoup de chaleur (2 830 kJ par mole de glucose oxydé).

En anaérobiose, il apparaît une fermentation intracellulaire, produisant moins de chaleur (92 kJ par mole de glucose). Le grain fermenté a une odeur typique aigre-douce d'alcool et a subi d'autres transformations qui le rendent impropre à la consommation humaine, bien qu'il puisse servir à l'alimentation animale.

Les phénomènes d'oxydation sont normaux dans les grains stockés, mais ils resteront lents si le grain est sec; on doit veiller à ce qu'il ne se produise pas d'accélération notable, car cela indiquerait que les grains ne peuvent être stockés plus longtemps.

4.1.2 La germination des grains, qui est l'aboutissement normal de leur activité vitale en présence d'oxygène et dans des conditions optimales d'humidité et de température, se produit en plusieurs étapes successives: inhibition, activation des mécanismes enzymatiques, multiplication cellulaire active, bientôt accompagnée par la croissance cellulaire, et 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 est surtout connue pour se produire en années pluvieuses, sur le champ, la céréale

étant encore sur pied. Elle a deux conséquences pratiques importantes :

- la modification chimique des substances de réserve;
- l'augmentation des activités enzymatiques : le blé hyper-amylasique, récolté en Europe du Nord dans les années humides en est une illustration bien connue.

Souvent les céréales ainsi altérées sont impropres à l'alimentation humaine.

L'aptitude à germer, qui mesure la viabilité des grains, doit, en général, être soigneusement préservée.

4.2 Microflore

Le grain vit en permanence avec une microflore considérable; la plupart de ces micro-organismes sont cosmopolites et en majorité sans danger, mais certains produisent des sous-produits toxiques. La microflore présente sur les grains fraîchement récoltés comprend de nombreux genres de bactéries, moisissures et levures.

Lorsque le grain mûrit et que sa teneur en eau diminue, le nombre de micro-organismes, principalement de bactéries, diminue. Lorsque le grain est récolté, il est envahi par les micro-organismes de stockage et la microflore du terrain disparaît. Si la teneur en eau est inférieure à 18 % (m/m), la microflore ne se multiplie pas, ce qu'elle fait rapidement au-dessus de 18 % (m/m).

Par conséquent, au moment de la moisson, la composition qualitative et quantitative de la microflore dépend plus de facteurs écologiques que de la variété de céréale considérée.

La microflore s'enrichit de micro-organismes pendant le transport et les opérations de stockage. Les micro-organismes présents sur le grain à la récolte tendent à mourir pendant le stockage et sont remplacés par des micro-organismes adaptés aux conditions de stockage.

4.3 Graines étrangères et autres matières étrangères

La plupart des lots commerciaux qui n'ont pas été nettoyés par tamisage ou aspiration, contiennent une certaine quantité de grains d'autres céréales, de graines étrangères, d'enveloppes, de pailles, de pierres, de sable, etc. Les matériaux végétaux peuvent avoir des propriétés physiques et biologiques qui diffèrent de celles du constituant principal et peuvent, en conséquence, affecter le comportement au stockage.

4.4 Propriétés physiques importantes pour la conservation

Les propriétés physiques les plus remarquables pour la conservation sont l'humidité et la température.

4.4.1 Une masse de céréales présente, entre les grains, un volume considérable d'air intersticiel; par exemple, pour le blé tendre, environ 40 % du volume total est constitué par de l'air.

La propriété d'écoulement fluide du grain est telle que celui-ci peut être chargé dans des trémies ou des conduits, et qu'il peut être approprié au séchage par refoulement (ou aspiration) d'air sec.

4.4.2 La conductivité thermique très faible des grains [0,125 à 0,167 W/(m·K)] fait que la chaleur dégagée par les phénomènes vitaux, en l'absence de ventilation, s'accumule sur place en provoquant des augmentations de température spectaculaires, d'autant que la capacité thermique massique des grains est relativement faible (environ 1,88 kJ/(kg·K) pour le blé à 15 % de teneur en eau); elle est cependant fonction croissante de leur teneur en eau. À la chaleur inhérente à l'activité métabolique peut s'ajouter la chaleur produite par l'activité des micro-organismes, des insectes et des acariens.

4.4.3 Le grain est hygroscopique, cédant ou absorbant de l'eau de manière à maintenir un équilibre entre son humidité propre et l'humidité de l'air ambiant. Cette relation peut s'exprimer par une courbe sigmoïde, qui peut être assimilée à une droite dans la plupart des cas, c'est-à-dire de 40 à 80 % d'humidité relative. Il y a quelque variation dans la relation entre l'humidité du grain (exprimée, en général, en pourcentage de masse humide) et celle de l'air (exprimée, en général, en pourcentage d'humidité relative) suivant la température, de sorte que l'humidité relative à l'équilibre est plus haute, pour une humidité donnée, lorsque la température s'élève. Il y a également une différence entre le grain dont l'humidité augmente et le grain dont l'humidité diminue, c'est-à-dire qu'il y a un phénomène d'hystérésis entre l'humidité du grain et l'humidité relative de l'atmosphère intergranulaire.

Les variations périodiques de l'humidité relative de l'atmosphère affectent seulement les couches superficielles de la masse de grains stockés, l'humidité relative de l'air intersticiel situé entre les grains, en dessous de la surface, dépendant surtout de l'humidité d'origine et de la température. Des gradients d'équilibre humidité relative et teneur en eau du grain peuvent s'établir en raison de différences persistantes de température entre la surface et l'intérieur de la masse de grain, causées par des variations de la température extérieure ou par une augmentation de température à l'intérieur de la masse de grain. L'humidité diminue la température et les gradients de pression de vapeur dans la partie la plus froide du grain et y augmente la teneur en eau.

4.4.4 Les termes de «sec», «humide» et «à l'abri de l'altération» sont appliqués au stockage des grains. «Sec» ou «à l'abri de l'altération» indique que le grain a une teneur en eau pour laquelle, étant donné la zone probable de température prévue pendant le stockage et le transport, il n'y a aucun risque d'activité métabolique appréciable du grain, ou d'attaque par les moisissures et autres micro-organismes. «Humide» signifie que la teneur en eau est au-dessus de ce niveau. La zone de teneur en eau du grain «à l'abri de l'altération» varie avec la récolte en fonction de la température (en incluant des moyens artificiels de réduction de la température) et de la période de stockage. En règle générale, une teneur en eau du grain «à l'abri de l'altération» ne dépasse pas celle qui est en équilibre avec une humidité relative de 65 %.

4.5 Préservation des qualités du grain

Il est essentiel de maintenir certaines qualités des grains indispensables à leur utilisation, dans l'alimentation humaine ou ani-

male, ou à leur utilisation en brasserie, ou à leur emploi en tant que semences :

- un certain niveau d'activité enzymatique, en particulier alpha-amylasique, dans le cas des céréales panifiables;
- l'intégrité des diverses protéines constitutives puisque celles-ci déterminent les propriétés rhéologiques de la pâte;
- le taux de germination et l'énergie germinative doivent être maintenus très élevés pour les semences et l'orge de brasserie.

Ces impératifs excluent tout traitement thermique intense, tel que la stérilisation thermique qui dénature les protéines.

Du point de vue de l'utilisation dans l'alimentation, tant humaine qu'animale, il est évidemment indispensable de maintenir la valeur alimentaire du produit (appétence, éléments nutritifs, efficacité alimentaire) à un niveau aussi élevé que possible; il faut de plus veiller à l'hygiène du produit, tant du point de vue des substances toxiques susceptibles d'apparaître (toxines) que du point de vue des substances ajoutées (résidus de pesticides).

5 Altération des grains de céréales

Le mécanisme des processus d'altération peut se décomposer en deux éléments distincts :

- les causes immédiates d'altération;
- les facteurs du milieu qui conditionnent ces causes.

5.1 Causes d'altération

5.1.1 Altérations enzymatiques

Les altérations enzymatiques dues aux enzymes propres aux grains se manifestent de nombreuses manières. De telles altérations de protéines, de glucides et de lipides peuvent se produire pendant le stockage, mais elles sont peu importantes, à moins que le grain ne soit humide.

Cependant, quelques enzymes, tels que les lipases, peuvent agir sur le grain sec.

5.1.2 Autres altérations d'origines biochimique et chimique

Par leur nature même les réactions d'origines biochimique et chimique sont variées. Ces réactions exigent généralement des températures assez élevées, telles que celles que l'on peut rencontrer pendant le séchage ou lorsque des insectes, moisissures ou d'autres micro-organismes provoquent, par leur activité, une élévation de température :

- les réactions de Maillard, qui produisent de nombreux composés intermédiaires dont l'activité physiologique a été démontrée, conduisent finalement à un brunissement non enzymatique;

- la détérioration de la structure des granules d'amidon qui entraîne de substantiels changements, par exemple des dommages aux granules et la formation de dextrans au moment du séchage;

- la dénaturation des protéines qui conduit à la perte des propriétés spécifiques : solubilité, propriétés rhéologiques à l'état hydraté, activité enzymatique;

- la diminution de la quantité de lysine disponible;

- la destruction des vitamines (B₁, E et caroténoïdes).

Quelques réactions, en particulier l'oxydation non enzymatique des lipides, peuvent se produire à des températures de stockage normales.

5.1.3 Causes externes : êtres vivants

Des organismes vivants, c'est-à-dire animaux vertébrés, invertébrés et micro-organismes, peuvent causer des détériorations. Bien que les effets directs de l'attaque par les êtres vivants soient importants, certains effets indirects peuvent être beaucoup plus sérieux, en particulier le dégagement de chaleur dû à l'activité d'insectes et de micro-organismes et la libération de sous-produits toxiques par quelques-uns de ces derniers.

Les organismes infestants produisent du dioxyde de carbone et de l'humidité, mais peuvent également libérer des enzymes et, de ce fait, augmenter considérablement les détériorations; cependant, les moisissures sont actives seulement dans des conditions aérobies.

5.1.3.1 Animaux nuisibles : rongeurs, oiseaux, insectes et acariens (voir ISO 6322/3)

En consommant des grains, les animaux nuisibles provoquent des dégâts, des souillures et des contaminations et provoquent une altération des grains. Le dégagement de chaleur causé par l'activité d'insectes dans la masse de grains établit un gradient de température qui a pour conséquence un déplacement de l'humidité qui provoque des dégâts dus au développement de micro-organismes et même la germination dans les zones très humides.

5.1.3.2 Micro-organismes : moisissures, levures, bactéries

La nature des dégradations causées par les micro-organismes dépend de l'action des éléments dominants de la microflore; il est souvent difficile, cependant, de séparer les effets de l'attaque par les micro-organismes des changements liés au grain lui-même, ces deux causes étant renforcées par des facteurs externes similaires.

Les principaux effets de l'attaque par les micro-organismes sont la décomposition du grain, l'élévation de température et ses effets secondaires, et la production de toxines; il faut également mentionner les allergies qui se produisent chez les hommes et les animaux qui ont été en contact avec des grains contaminés par certaines espèces de micro-organismes.

5.1.4 Causes externes au cours de l'entreposage

Les grains peuvent être brisés ou érodés pendant la moisson, le transport et le stockage.

Les grains récoltés à la moissonneuse-batteuse présentent plus de brisures que ceux récoltés à la moissonneuse-lieuse. La proportion de grains brisés est également une caractéristique variétale.

Les grains brisés, y compris ceux qui présentent des fissures internes, sont plus facilement attaqués par les moisissures et les autres micro-organismes que les grains entiers, et ils sont sujets aux attaques d'un plus grand nombre d'insectes et d'acariens.

Les grains brisés sont indésirables en raison des altérations enzymatiques et chimiques plus fréquentes.

Les grains, tels que l'orge et l'avoine dont l'enveloppe a été enlevée, sont privés de protection et, dans le cas de l'avoine, sont plus exposés au rancissement et à l'altération par la chaleur pendant le séchage.

Les grains d'autres céréales, les graines étrangères et tout autre matériau d'origine végétale peuvent également être à l'origine d'une attaque plus importante que celle due aux grains sains de la céréale principale.

5.2 Facteurs du milieu agissant sur les causes d'altération

La température, l'humidité relative et la composition de l'atmosphère règlent les transformations chimiques et biologiques qui interviennent pendant le stockage; leurs effets dépendent de la durée et du mode de stockage. Les problèmes de transport et de stockage sont traités dans l'ISO 6322/2.

5.2.1 Facteurs jouant un rôle dans l'altération

5.2.1.1 Temps

Les vitesses de réaction et de développement des différents facteurs d'altération doivent être connues pour prévoir la durée maximale probable de stockage, compte tenu des différentes causes en jeu.

En étudiant les facteurs en relation avec la température et l'humidité, on doit insister sur le fait qu'en raison des propriétés physiques des masses de grains, les changements de température et d'humidité se produisent en général lentement. Il est important de mesurer les conditions réelles de la masse de grains.

5.2.1.2 Température

La température influe sur pratiquement toutes les réactions chimiques et biochimiques selon une loi sensiblement exponentielle; c'est ce qui explique l'extrême importance de ce facteur. Cependant, l'activité biologique, en particulier celle des insectes,

des acariens et des micro-organismes, tend à être limitée de manière sensible à l'intérieur d'un domaine spécifique de température. Ainsi, le dégagement de chaleur dû à l'activité des insectes seuls entraîne rarement une température supérieure à 40 °C; dans le cas des micro-organismes, la température dépasse rarement 65 °C. Les réactions d'oxydation peuvent causer des élévations de température atteignant le point d'inflammation pour quelques produits, mais toutes les céréales ne sont pas pour autant soumises à des phénomènes de combustion spontanée.

5.2.1.3 Humidité relative

Le facteur humidité relative est peut être le plus important à envisager. Une humidité relative faible ou forte peut provoquer l'altération du grain à une température donnée, l'humidité relative à laquelle apparaît cette détérioration dépend de la température.

5.2.1.4 Composition atmosphérique

Les proportions relatives d'oxygène et de dioxyde de carbone dans l'air intergranulaire affectent la nature du métabolisme de chaque type de micro-organisme et de parasite animal, ainsi que le métabolisme des cellules vivantes du grain. Elles influent également sur les oxydations non enzymatiques et certaines réactions enzymatiques.

5.2.2 Actions combinées des facteurs du milieu sur les diverses causes de changement

Si, en théorie, il est facile de les isoler, en pratique les différents facteurs ont des actions interdépendantes, presque liées, ce qui rend leur étude complexe. On examine ci-après quelques exemples relatifs aux actions combinées de tels facteurs agissant comme causes d'altération.

5.2.2.1 Vertébrés

Les oiseaux, les rongeurs, peuvent vivre et se multiplier à la surface ou à l'intérieur des céréales stockées dans des conditions aérobies conventionnelles. La teneur en eau du grain n'est pas importante.

5.2.2.2 Invertébrés

La plupart des insectes qui parasitent les grains stockés ne peuvent pas décrire 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, le minimum est environ de 15 °C et le développement est faible en dessous de 20 °C. Les grains qui ont moins de 9 % de teneur en eau ne risquent généralement pas d'attaques, sauf de la part de *Trogoderma granarium* Everts (Dermeste des grains), qui se reproduit à une humidité relative de 3 %. Pour chaque espèce d'insecte ou d'acarien existe un domaine particulièrement favorable de température et d'humidité : *Acarus siro* Linnaeus (Tyroglyphe de la farine), par exemple, se reproduit à des températures inférieures à 3 °C.

Le sujet de l'attaque par les parasites vertébrés et invertébrés est traité dans l'ISO 6322/3.

5.2.2.3 Micro-organismes : conditions aérobies

Les micro-organismes, en particulier les moisissures, ne se développent généralement pas en dessous de 65 % d'humidité relative¹⁾, l'équivalent pour le blé tendre étant d'environ 14 % (*m/m*) de teneur en eau à 25 °C. Cependant, la relation entre la teneur en eau et l'humidité relative change avec la température de sorte que plus la température est élevée, plus l'humidité relative correspondant à une teneur en eau donnée du grain est élevée. À des humidités relatives supérieures à 65 %, les moisissures continuent de se développer même à de basses températures; cela est particulièrement un problème avec des maïs humides.

Comme les insectes, les moisissures se développent d'autant plus rapidement que la température s'élève et que l'humidité des grains et l'humidité relative de l'atmosphère augmentent. Elles peuvent également provoquer une élévation de la température des grains, jusqu'à 65 °C. Une succession de différentes espèces de micro-organismes est engagée dans ce processus.

Lorsque le grain a été exposé à des spores de moisissures, un stockage sans altération exige d'empêcher ou de retarder leur germination et leur développement.

Pour un stockage de durée non définie et pour un transport sans altération, la teneur en eau en tout point du lot ne doit pas dépasser l'équivalent de 65 % d'humidité relative à la température du grain à l'instant où il est prélevé dans le dépôt ou au commencement du transport.

Cependant, le grain peut avoir une humidité plus grande si l'on abaisse la température, par ventilation par l'air atmosphérique ou par réfrigération, à un niveau pour lequel les moisissures ne se développent presque pas pendant la durée normale de conservation ou de transport.

5.2.2.4 Micro-organismes : stockage à l'abri de l'air

En règle générale, la population bactérienne totale diminue pendant le stockage, sauf dans le cas de grains très humides où cette diminution est précédée d'une augmentation du nombre de bactéries, en particulier des bacilles lactiques.

Le stockage à l'abri de l'air empêche la croissance des moisissures dans les grains très humides, mais certaines levures peuvent se développer. Les changements de qualité qui interviennent lorsque la teneur en eau des grains est supérieure à 18 % (*m/m*) rendent les grains inutilisables pour des emplois autres que l'alimentation animale et des emplois industriels.

Normalement, les conditions de faible teneur en oxygène sont produites par l'activité des micro-organismes. Ces conditions peuvent également être créées artificiellement, par exemple par le vide, l'addition de dioxyde de carbone ou d'azote.

5.2.2.5 Réactions enzymatiques

La plupart des réactions enzymatiques du grain qui exigent de l'eau en phase liquide se produisent pour la teneur en eau à laquelle le grain commence normalement à germer.

Certaines réactions enzymatiques peuvent intervenir pendant le séchage du grain, leur nature dépendant des températures maximales atteintes pendant l'opération et de sa durée.

5.2.2.6 Dénaturation des protéines

La température critique à laquelle cela se produit pendant le séchage à chaud dépend de la teneur en eau du grain et de la durée des conditions de températures élevées.

5.2.2.7 Réactions de Maillard (voir 5.1.2)

En général, les réactions de Maillard exigent une température assez élevée, mais elles peuvent également se produire à des températures légèrement supérieures à 20 °C durant des périodes de stockage prolongé. Les réactions sont inhibées par des teneurs en eau dans le grain trop élevées ou trop faibles et sont plus rapides dans des conditions de faible humidité; les vitesses de réaction présentent un optimum pour un équilibre d'humidité relative de 60 à 70 %.

5.2.2.8 Oxydations non enzymatiques

Les réactions d'oxydation limitée par l'humidité se produisent surtout pour des humidités relatives d'équilibre inférieures à 20 %.

6 Critères de l'appréciation de l'état des grains

Dans la mesure où de nombreuses altérations peuvent apparaître, il importe de disposer de tests permettant de les détecter et d'apprécier l'état sanitaire d'un lot de grains; il sera alors possible d'envisager des moyens de prévision des durées de stockage compatibles avec la conservation de la valeur technologique et nutritionnelle des grains.

6.1 Définition de l'aptitude au stockage

L'état général d'un lot de grains présente deux aspects principaux.

6.1.1 L'état actuel résulte des changements qui se sont déjà produits. Il indique la valeur potentielle d'utilisation immédiate des grains dans un but donné.

1) Cependant, certaines moisissures importantes, par exemple *Aspergillus restrictus*, sont capables de se développer à des humidités relatives plus basses.

6.1.2 L'état prévisible représente le risque potentiel d'altération du lot, pour une période de stockage donnée et compte tenu de son utilisation future. Il dépend de l'état actuel des grains, des facteurs de changement existant dans les grains et des facteurs du milieu.

6.2 Critères d'acceptation

Les critères d'acceptation, et les méthodes analytiques correspondantes, peuvent se classer de la façon suivante.

6.2.1 Tests directement liés à une utilisation industrielle ou nutritionnelle ou à une utilisation en brasserie ou en tant que semences

Ces tests sont destinés à établir si le grain convient à l'utilisation prévue. Ils peuvent donner des informations sur la durée maximale de conservation du grain.

6.2.2 Tests indirectement liés à l'utilisation

Ces tests traduisent l'état général du grain en intégrant les effets de multiples causes de changements; on peut classer dans cette catégorie les méthodes suivantes.

6.2.2.1 Méthodes d'évaluation de la viabilité des grains

De telles méthodes comportent le mesurage du taux de germination et de l'énergie germinative.

6.2.2.2 Méthodes de numération globale de la microflore fongique ou bactérienne

Actuellement, on s'oriente vers la mise au point de méthodes rapides d'évaluation de la contamination microbienne globale.

6.2.3 Tests mettant en évidence un aspect particulier du changement

Parmi de tels tests, on peut mentionner les suivants.

6.2.3.1 Détermination de la teneur en eau¹⁾

Le facteur isolé le plus important pour indiquer l'aptitude à la conservation ou à l'utilisation immédiate est la teneur en eau. Il est essentiel de pouvoir réaliser une détermination rapide et précise pour chaque lot.

6.2.3.2 Méthodes microbiologiques particulières

Le dénombrement et l'identification des espèces prédominantes sur les grains, et la caractérisation et le dosage des mycotoxines, constituent des tests très importants de l'aptitude des grains à l'emploi en alimentation humaine ou animale.

6.2.3.3 Mesurage d'une activité enzymatique extractible des grains

Ceci comprend, par exemple, l'activité de l'acide glutamique décarboxylase et de la ribonucléase.

6.2.3.4 Mesurage du résultat d'une action enzymatique dans les grains

Ceci comprend, par exemple :

- présence d'acides gras;
- dégradation des lipides complexes;
- présence de substances organiques volatiles;
- dégradation des protéines;
- dégradation des glucides.

6.2.3.5 Mesurage de l'infestation apparente et cachée par les insectes et les acariens

Des populations d'insectes et d'acariens adultes, et surtout les larves cachées à l'intérieur des grains, peuvent rendre des lots de grains inaptes à certaines utilisations immédiates et à la conservation.

Des méthodes de détermination de l'infestation cachée sont en cours d'élaboration; ces méthodes comprennent une méthode de référence par «développement des larves» et des méthodes pratiques par utilisation des rayons X, par mesurage du dégagement de dioxyde de carbone, par l'emploi de la ninhydrine et par flottation.

6.2.3.6 Altérations mécaniques

Ceci implique le mesurage de l'importance des dommages d'origine mécanique (grains brisés, etc.).

Le mesurage du besatz est en cours d'étude.

6.3 Prospective du stockage

Afin de conduire correctement et avec une sécurité suffisante un stockage de grains, il est nécessaire de pouvoir calculer les durées probables maximales de conservation, compte tenu des éléments suivants :

- les conditions de stockage réalisables;
- l'état actuel du lot de grains;
- l'utilisation ultérieure des grains et les spécifications de qualité exigées.

1) Méthode spécifiée dans l'ISO 712.