

NORME
INTERNATIONALE

ISO
6322-1

Deuxième édition
1996-11-01

**Stockage des céréales et des
légumineuses —**

Partie 1:

Recommandations générales pour la
conservation des céréales

[ISO 6322-1:1996](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-4721867b575a/iso-6322-1-1996)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-4721867b575a/iso-6322-1-1996)

[4721867b575a/iso-6322-1-1996](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-4721867b575a/iso-6322-1-1996) —

Part 1: General recommendations for the keeping of cereals



Numéro de référence
ISO 6322-1:1996(F)

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 en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 6322-1 a été élaborée conjointement par le comité technique ISO/TC 34, *Produits agricoles alimentaires*, sous-comité SC 4, *Céréales et légumineuses*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 6322-1:1981), dont elle constitue une révision technique.

L'ISO 6322 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Stockage des céréales et des légumineuses*:

- *Partie 1: Recommandations générales pour la conservation des céréales*
- *Partie 2: Principales conditions requises*
- *Partie 3: Contrôle de l'attaque par les déprédateurs*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO 6322 sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1996

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

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 pour 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 (levée de dormance, amélioration de la valeur boulangère, valeur de préparation des pâtes, caractéristiques de cuisson), mais qui tend vers un vieillissement et, après un certain temps, vers des altérations préjudiciables et de nature et d'intensité qui sont fonction de l'environnement de stockage.

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

(Les pertes dues au stockage) sont estimées en moyenne à 5 %, ce chiffre pouvant parfois atteindre 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 microorganismes (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.

Page blanche

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6322-1:1996

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-d2218fef5b5a/iso-6322-1-1996>

Stockage des céréales et des légumineuses —

Partie 1:

Recommandations générales pour la conservation des céréales

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6322 décrit des lignes directrices 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.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

2 Référence normative

La norme suivante contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 6322. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 6322 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de la norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 5527:1995, *Céréales — Vocabulaire*.

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 6322, les définitions données dans l'ISO 5527 et la définition suivante s'appliquent.

3.1 humidité relative: Rapport entre la pression de vapeur d'un échantillon d'air humide et la pression de vapeur saturante en considérant l'eau à la même température.

4 Aspects du problème

4.1 Facteurs d'ordre technique

Le problème de la conservation des céréales se pose à deux stades différents présentés en 4.1.1 et 4.1.2.

4.1.1 Aussitôt après la récolte, les céréales peuvent rester humides, pendant des durées allant de quelques heures à plusieurs mois. Le produit est particulièrement fragile et 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 ou entrepôts de petite taille plus ou moins bien équipés dans l'attente de traitements appropriés.

4.1.2 Jusqu'à la commercialisation internationale et durant celle-ci, les céréales ayant une humidité réduite (dont la valeur est fixée dans chaque pays) sont entreposées pendant des durées allant de quelques mois à plusieurs années. Ce stockage peut être réalisé par des organismes de stockage très importants possédant des silos modernes et bien équipés, ou d'autres types d'équipement pour le stockage en vrac. Le type de problème qui se pose varie selon le type d'entrepôt, les conditions et le lieu de stockage, ainsi que la durée supposée de celui-ci.

4.2 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 en 4.2.1 à 4.2.3.

4.2.1 Conditions climatiques

Les conditions climatiques sont, sans aucun doute, l'un des facteurs les plus importants affectant la qualité du grain depuis sa culture au champ jusqu'à sa consommation finale par l'homme ou l'animal.

On peut schématiquement distinguer des zones géographiques:

- a) à climat tropical chaud et humide, où l'altération des céréales peut être très rapide;
- b) 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 États-Unis 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;
- c) à climat tempéré, où une partie de la récolte peut être humide (par exemple Europe);
- d) 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.

4.2.2 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. Les pays exportateurs, en particulier, doivent mettre en œuvre des structures de stockage permettant de livrer des céréales répondant aux normes souvent très sévères des organisations officielles de ces pays, aussi bien que des pays importateurs (en particulier en ce qui concerne les microorganismes et les insectes). Toutefois, on rappellera que, dans beaucoup de pays exportateurs, il est important d'utiliser un équipement de faible coût.

4.2.3 Degré d'évolution technique

Certains pays en voie de développement ont une connaissance imparfaite des problèmes et sont souvent mal équipés pour les résoudre. D'un autre côté, le développement de techniques modernes de récolte (par exemple l'utilisation de la moissonneuse-batteuse) modifie beaucoup la physionomie du premier stade du stockage (4.1.1) en raison de l'afflux potentiel de grains plus ou moins humides.

L'organisation du système de stockage est très importante en raison notamment des différentes tailles de silos pouvant être utilisés; les masses de grains très importantes peuvent poser des problèmes pratiques et logistiques.

Actuellement, divers types 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, en fonction de leur humidité, pour éviter de mélanger des grains secs et des grains humides.

4.3 Facteurs qualitatifs

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.

Les facteurs de qualité sont généralement codifiés sous forme de règles qui fixent, selon chaque pays, les critères de qualité, par exemple qualités propres au grain et quantités de substances étrangères tolérables (graines d'autres variétés, résidus d'insectes ou de rongeurs, résidus de pesticides ou toxines).

Les exigences des pays importateurs sur les normes de qualité à respecter influent évidemment sur les problèmes de stockage 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 qu'il y ait des problèmes spécifiques à chaque pays, le commerce international est la cause d'imbrications très profondes générant des problèmes similaires aux niveaux scientifique et technique; à la lumière des connaissances actuelles, il est possible d'indiquer des procédés assurant une bonne conservation des céréales.

5 Caractéristiques spécifiques des céréales en tant que produits à conserver

5.1 Grain de céréale en tant qu'organisme vivant

Le grain est un caryopse qui comporte des parties vivantes, 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'endosperme sont essentiellement remplies de substances de réserve (glucides, protéines et, en moindre quantité, lipides) qui alimenteront les processus vitaux quand ceux-ci démarreront.

Les manifestations vitales essentielles des grains sont de deux ordres, comme indiqué en 5.1.1 et 5.1.2.

5.1.1 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 convienne à l'alimentation animale.

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

5.1.2 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 se produit surtout en années pluvieuses, au champ, la céréale étant encore sur pied. Elle a deux conséquences pratiques importantes:

- a) la modification chimique des substances de réserve;
- b) l'augmentation des activités enzymatiques; le blé à fort taux d' α -amylase, récolté en Europe du Nord dans les années humides, en est une illustration bien connue.

Souvent les céréales ainsi altérées sont impropres à la consommation humaine.

L'aptitude à germer, qui mesure la viabilité des grains en général, doit être préservée si le grain est utilisé en brasserie ou en tant que semence.

5.2 Microflore

Le grain vit en permanence avec une microflore considérable; la plupart de ces microorganismes sont cosmopolites et 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 son humidité diminue, le nombre de microorganismes, principalement de bactéries, diminue. Lorsque le grain est récolté, il est envahi par les microorganismes de stockage et la microflore du terrain disparaît graduellement. Si la teneur en eau est inférieure à 14 % en masse sur base humide, la microflore ne se multiplie pas, ce qu'elle fait rapidement au-dessus de 14 % en masse sur base humide. Cependant la limite de teneur en eau dépend de la température (voir 7.3).

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

La microflore s'enrichit de microorganismes pendant le transport et les opérations de stockage.

5.3 Graines étrangères et autres matières étrangères

La plupart des lots commerciaux de grains, 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.

5.4 Propriétés physiques importantes pour le stockage

Les propriétés physiques les plus importantes (pour le stockage) sont l'humidité et la température du grain.

5.4.1 Un lot de céréales présente, entre les grains, un volume considérable d'air intersticiel; par exemple, pour le blé tendre, environ 40 % du volume total apparent 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 ou au refroidissement par refoulement (ou aspiration) d'air sec.

5.4.2 La conductivité thermique très faible des grains [0,125 W/(m·K) 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 microorganismes et des insectes.

5.4.3 Le grain est hygroscopique, cédant ou absorbant de l'eau de manière à maintenir un équilibre avec 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 entre 20 % et 80 % d'humidité relative. Il y a quelque variation dans la relation entre l'humidité du grain (exprimée, en général, en pourcentage en masse sur base humide) et celle de l'air (exprimée, en général, en pourcentage d'humidité relative) suivant la température. Pour une humidité relative constante, l'humidité du grain est plus basse lorsque la température augmente. 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 de la relation entre l'humidité du grain et l'humidité relative de l'atmosphère intergranulaire. Quelques exemples d'isothermes d'adsorption-désorption sont donnés à l'annexe A.

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 entre 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.

5.4.4 Les termes «sec», «humide» et «à l'abri de l'altération» peuvent être 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 lui-même ou d'attaque par les moisissures et autres microorganismes.

«Humide» signifie que la teneur en eau est au-dessus de ce niveau. La zone de teneur en eau de grain «à l'abri de l'altération» varie avec la récolte et est 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 de grain «à l'abri de l'altération» ne dépasse pas celle qui est en équilibre avec une humidité relative de 65 %.

5.5 Maintien de la qualité des grains

Il est essentiel de maintenir certaines propriétés des grains indispensables à leur utilisation dans l'alimentation humaine ou animale ou à leur utilisation en brasserie ou à leur emploi en tant que semences:

- a) un certain niveau d'activité enzymatique, en particulier de l' α -amylase, dans le cas des céréales panifiables;
- b) l'intégrité des diverses protéines constitutives puisque celles-ci déterminent les propriétés rhéologiques de la pâte;
- c) le taux de germination et l'énergie germinative qu'il convient de maintenir très élevés pour les semences et l'orge de brasserie.

Ces exigences excluent tout traitement thermique intense, tel que la stérilisation thermique qui dénature les protéines, et limitent l'emploi de systèmes de séchage à haute température.

Pour l'utilisation dans l'alimentation (tant humaine qu'animale) il est évidemment indispensable de maintenir la valeur alimentaire du produit (flaveur, éléments nutritifs, efficacité alimentaire) à un niveau aussi élevé que possible. Il est aussi nécessaire de préserver la qualité hygiénique du produit vis-à-vis de toutes substances toxiques possibles (toxines) et des résidus de pesticides.

[ISO 6322-1:1996](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-d2218fef5b5a/iso-6322-1-1996)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-d2218fef5b5a/iso-6322-1-1996>

6 Altération des grains

Les causes d'altérations qui apparaissent au cours du stockage peuvent être divisées en deux catégories assez distinctes:

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

6.1 Causes d'altération

6.1.1 Altérations enzymatiques

Les altérations enzymatiques au sein des 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 à long terme agir sur le grain sec.

6.1.2 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 microorganismes provoquent, par leur activité, une élévation de température:

- a) les réactions de Maillard, qui produisent de nombreux composés intermédiaires dont l'activité physiologique a été démontrée, conduisent finalement à un brunissement non enzymatique;
- b) la détérioration de la structure des granules d'amidon qui entraîne de substantiels changements, par exemple des dommages aux granules et la formation de dextrines au moment du séchage;
- c) la dénaturation des protéines qui conduit à la perte des propriétés spécifiques telles que la solubilité, les propriétés rhéologiques à l'état hydraté et l'activité enzymatique;
- d) la diminution de la quantité de lysine disponible;
- e) 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.

6.1.3 Causes externes: Êtres vivants

Des organismes vivants, c'est-à-dire animaux vertébrés, invertébrés et microorganismes, peuvent causer des altérations. 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 microorganismes 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, augmentent considérablement les altérations du grain. Cependant, les moisissures et animaux ne sont actifs que dans des conditions aérobies.

6.1.3.1 Animaux nuisibles: Rongeurs, oiseaux, insectes et acariens

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 peut avoir pour conséquence un déplacement de l'humidité qui provoque des dégâts dus au développement de microorganismes et même dans des cas extrêmes, la germination (en général à la surface des grains en vrac ou sur la couche supérieure des sacs empilés).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-c50c32504870>

6.1.3.2 Microorganismes: Moisissures, levures et bactéries

La nature des altérations causées par les microorganismes dépend de l'action des éléments dominants de la microflore; il est souvent difficile, cependant, de séparer les effets de l'attaque par les microorganismes 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 microorganismes sont la décomposition du grain, l'élévation de température et ses effets secondaires, la production de toxines, l'inhibition et la perte de viabilité. 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 microorganismes.

6.1.4 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 microorganismes 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, et sont très exposés à l'attaque par les insectes.

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.

6.2 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 stockage et de transport sont traités dans l'ISO 6322-2.

6.2.1 Facteurs jouant un rôle dans l'altération

6.2.1.1 Temps

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

En étudiant les facteurs en relation avec la température et l'humidité, il convient d'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. L'infestation par des insectes et des microflores peut causer une élévation très rapide, peut-être localisée, de la température et de l'humidité. Il est important de mesurer les conditions réelles de la masse de grains.

6.2.1.2 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 microorganismes, tend à être limitée de manière sensible à l'intérieur d'un domaine spécifique de températures. Ainsi, le dégagement de chaleur dû à l'activité des insectes seuls entraîne rarement une température supérieure à 40 °C; dans le cas des microorganismes, 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.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/490cc930-42dd-45be-8fab-d2218fef5b5a/iso-6322-1-1996>

6.2.1.3 Humidité relative

L'humidité relative est peut-être le facteur le plus important à prendre en compte. Des humidités relatives extrêmes (faibles ou fortes) peuvent provoquer l'altération du grain à une température donnée. L'humidité relative exacte à laquelle apparaît cette altération dépend de la température.

6.2.1.4 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 microorganisme et d'animal nuisible, ainsi que le métabolisme des cellules vivantes du grain. Elles influent également sur les oxydations non enzymatiques et sur certaines réactions enzymatiques.

6.2.2 Actions combinées des facteurs du milieu sur les diverses causes d'altération

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. Quelques exemples relatifs aux actions combinées de tels facteurs agissant comme causes d'altération sont examinés en 6.2.2.1 à 6.2.2.8.

6.2.2.1 Vertébrés

Les oiseaux et les rongeurs peuvent vivre et se multiplier sur des céréales stockées dans des conditions aérobies conventionnelles. La teneur en eau du grain n'est pas importante.

6.2.2.2 Invertébrés

La plupart des invertébrés 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