



Conservation des céréales par le froid avec GRANIFRIGOR™

par Ralph E. Kolb

www.frigortec.com



1 GRANIFRIGOR™ système de réfrigération des silos en acier pour le stockage des céréales

Conservation des céréales par le froid avec GRANIFRIGOR™

Les céréales sont un de nos principaux aliments. Leur culture et leur récolte font l'objet du plus grand soin. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), plus de 20% des céréales récoltées dans le monde entier sont perdues chaque année par avarie. Ces pertes sont principalement dues à l'action des insectes et au développement de champignons. Le procédé de conservation par le froid de GRANIFRIGOR™ constitue un remède efficace contre ces dégâts. Dans le monde entier, cette technologie permet de conserver plusieurs millions de tonnes de céréales, de semences oléagineuses, de riz, de maïs et d'autres grains (fig. 1).



Pourquoi conserver par le froid

Les pertes par avarie sont dues à la respiration propre des céréales fraîchement récoltées ainsi qu'à l'échauffement spontané qui en résulte. Ce processus dépend de l'humidité et de la température des céréales. Si la température et l'humidité des céréales augmentent, la respiration s'intensifie. Les conséquences de cet échauffement spontané sont des pertes en matière et le développement d'insectes et de moisissures. Dans les zones climatiques tempérées, durant les saisons froides, les pertes de stockage sont beaucoup moins importantes qu'en été. La conservation par le froid permet de reproduire les avantages des conditions climatiques hivernales dès la période d'après-récolte. Dans les zones tropicales, le risque de pertes dues au climat chaud et humide est encore plus grand. La conservation par le froid joue là un rôle particulièrement important.

De par leur structure, la texture de leur surface et leur faible conductibilité calorifique, les graines céréalières

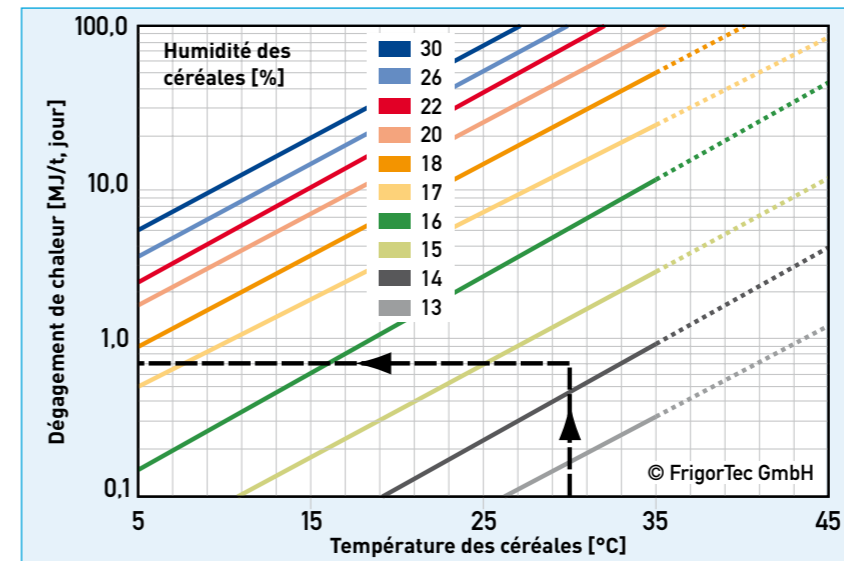
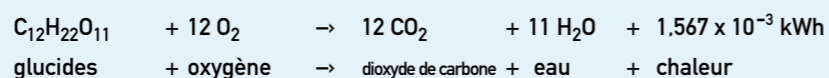
présentent des caractéristiques idéales pour en obtenir leur refroidissement. Une fois refroidies, les céréales restent froides durant une longue période. La conservation par le froid selon le procédé de GRANIFRIGOR™ présente de nombreux avantages (réf. 1). L'utilisateur peut en tirer un grand profit, comme vont le montrer les explications fournies ci-dessous.

Réduction des pertes en matière sèche

Les céréales atteignent leur stade maximal de développement lors de la récolte. Cependant, elles continuent à vivre après la récolte: elles respirent. Lors de la respiration, l'oxygène est absorbé et les glucides sont transformés en dioxyde de carbone, en eau et en chaleur. Une conséquence en est la perte en matière sèche. La formule élémentaire du processus chimique est indiquée ci-dessous.

La figure 2 représente le dégagement de chaleur en fonction de la température et de l'humidité des céréales. Ce procédé permet de déterminer dans la pratique les pertes en matière sèche sur la récolte stockée.

La respiration du grain – formule élémentaire du processus chimique:



2 Dégagement de chaleur lors du stockage des céréales, modifié d'après Jouin (réf. 2)

Exemple de calcul des pertes dues à la respiration – perte en matière sèche

Données	
Type de céréales	Blé
Humidité des céréales	14,5 %
Température des céréales	30 °C *
Prix des céréales	200 euros/t
Durée de stockage	4 mois
Quantité stockée	10.000 t

Formule

$$\text{Perte en matière sèche (t)} = \frac{\text{dégagement de chaleur [MJ/t, jour]} \times \text{durée de stockage [jour]} \times \text{quantité stockée [t]}}{15.000 \text{ [MJ/t]}}$$

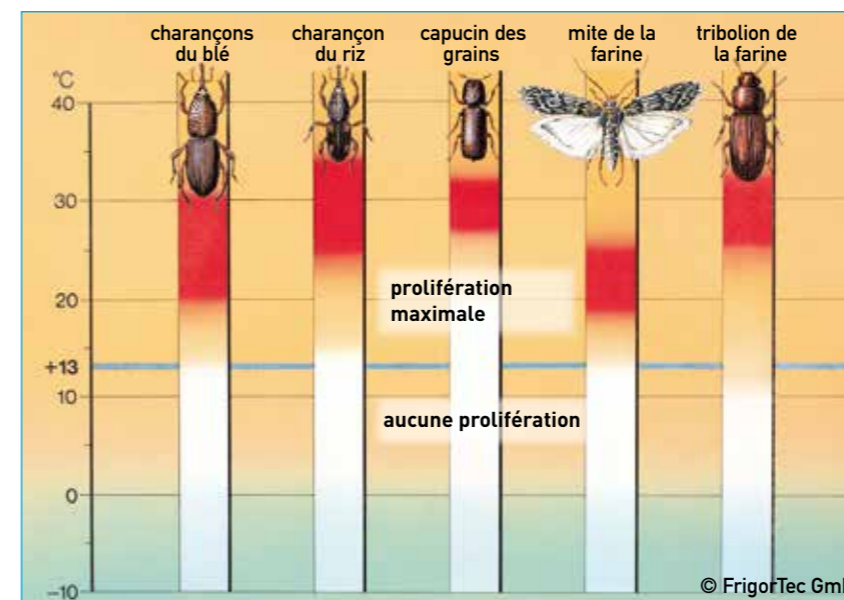
Résultat

	Perte en matière sèche [t]	Pertes/Côut [EUR]
sans refroidissement, température de 30 °C **	64	12.800
sans refroidissement, température de 25 °C	32	6.400
avec refroidissement, température de 10 °C	faible (≤ 1)	1.800 consommation d'électricité***

* Après le séchage ou en été, provenant directement du champ

** voir fig. 2

*** Hypothèse: Consommation électrique de 4,5 kWh/t; Base: 0,04 EUR/kWh



3 Prolifération des espèces d'insectes nuisibles aux céréales en fonction de la température

Éviter les pertes en masse et en terme de qualité dues aux insectes

Initialement, la conservation par le froid a été développée pour conserver les céréales humides avant leur séchage. De nos jours, on refroidit en plus grande quantité les céréales sèches que celles humides – principalement pour les protéger des dommages causés par les insectes et leur prolifération. La figure 3 offre un aperçu des conditions optimales de vie et de prolifération de quelques espèces parmi les insectes nuisibles les plus répandus. Certains parasites se développent de préférence dans les zones climatiques tempérées, d'autres dans les zones tropicales.

Les pertes dues aux insectes peuvent être efficacement évitées lorsque le grain est stocké à une température inférieure à 13°C. Par des températures aussi basses que celle-ci, les insectes sont plongés dans un état de hibernation et ne causent plus aucun dégât sur la marchandise stockée.

Si les conditions de température et d'humidité sont au contraire optimales, les pertes causées par les attaques et les excréments des insectes sont énormes. Le problème est en l'occurrence d'autant plus grave que dans ces conditions, les insectes se reproduisent dans des proportions dramatiques (fig. 4). Le temps de développement de la plupart des espèces de coléoptères est extrêmement court. Dans des conditions idéales, un cycle de renouvellement de génération ne dure, chez le charançon du blé, que 25 jours.

Refroidir sans avoir recours à des mesures de protection chimique

Les traitements chimiques des céréales sont actuellement sujets à de très lourdes charges administratives. La fumigation a un coût de revient élevé à cause des substances chimiques utilisées ainsi que du procédé impliquant de nombreuses contraintes. En outre, il faut ici rappeler que dans un grand nombre de pays, le méthylbromure, fréquemment employé dans la fumigation, sera interdit à partir de 2005.

Éviter les moisissures

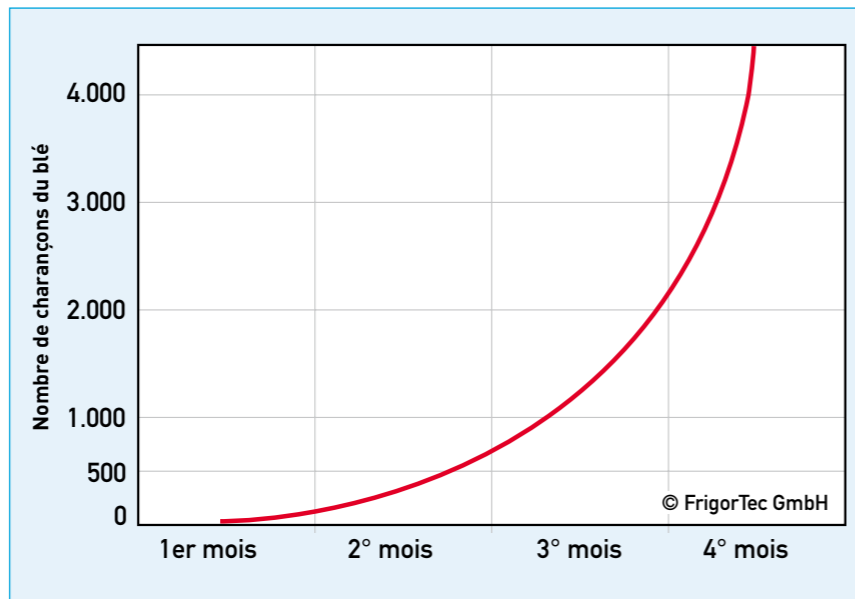
En fonction des conditions atmosphériques et de la succession des cultures, une infection fongique – du type de la fusariose – peut avoir des répercussions variables au niveau régional (réf. 4). Outre les lourdes pertes financières, une conséquence grave en est le risque de formation de mycotoxines. Les mycotoxines ont un effet toxique sur les êtres humains et les animaux. Les porcs, par exemple, sont très sensibles au déoxynivalénol DON et au zéaralénone ZEA. Les conséquences en sont une perte d'appétit de l'animal, une croissance réduite ou des troubles de la fécondité.

Le développement des moisissures et de leurs mycotoxines, comme par exemple l'aflatoxine, est en outre favorisé par la chaleur. Cette prolifération peut être évitée en refroidissant les céréales grâce au système GRANIFRIGOR™ (fig. 5).

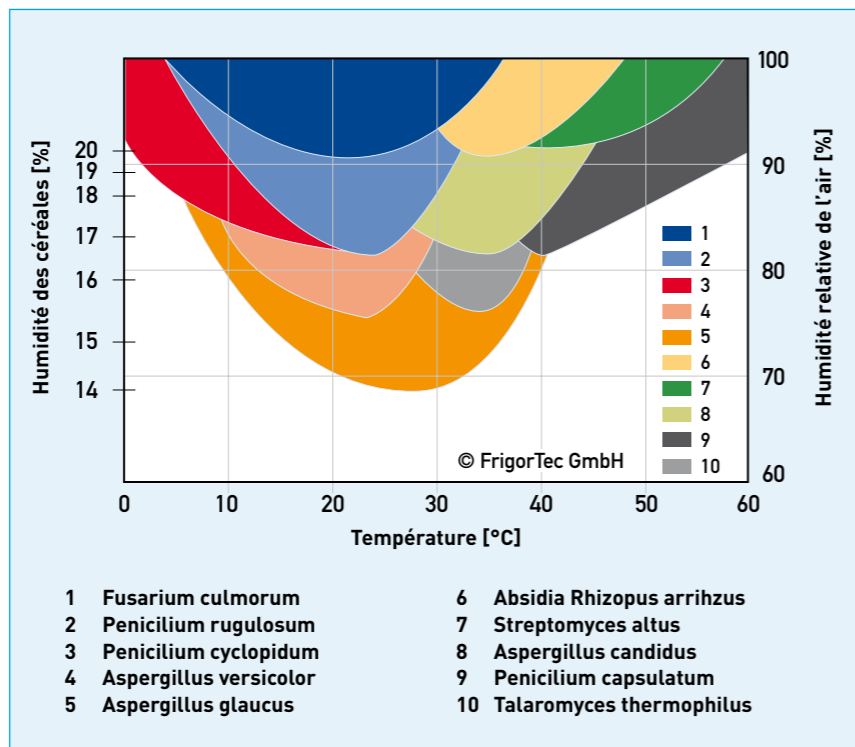
Économiser les frais de séchage

Selon sa future utilisation, le blé est récolté humide avec une teneur en humidité de 14–16%. En Allemagne, il est séché dans la plupart des cas à 15% (réf. 6). Pour cela, l'air ambiant est réchauffé dans une installation de séchage spéciale. Cet air chaud évacue l'humidité des céréales et l'entraîne vers l'extérieur. La teneur en humidité optimale pour le maïs, le riz ou les semences oléagineuses est inférieure à celle du blé.

La conservation par le froid permet d'économiser ces frais en vertu des trois facteurs suivants:



4 Reproduction des charançons du blé par rapport au temps et en présence de conditions optimales (réf. 3)



5 Développement de différents organismes par rapport à l'humidité et la température (réf. 5)

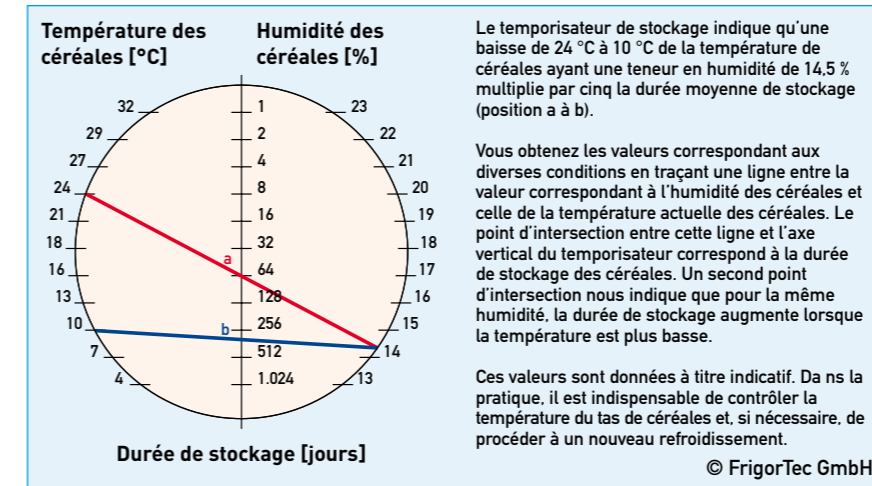
- Chaque procédé de refroidissement a un effet de séchage supplémentaire. Celui-ci réduit la teneur en humidité de 0,5–1,5% supplémentaire pour chaque 20K de refroidissement de la marchandise stockée. L'effet de séchage supplémentaire est intensifié lorsque la teneur en humidité des céréales est plus importante (> 18% d'humidité). Si, en revanche, les céréales sont sèches (< 14% d'humidité), l'effet sera plus faible.
- En optimisant de manière appropriée le séchage et le refroidissement, il est possible de réduire le temps de séjour dans le dessiccateur. Cela permet d'économiser de l'énergie et d'augmenter le rendement du séchage.
- Étant donné que la contrainte énergétique exercée sur les céréales est beaucoup plus faible, le séchage est plus respectueux des grains. Les fissures de contraintes sont alors bien moins nombreuses.

Tab. 1: Durée de stockage des céréales refroidies en fonction de la zone climatique et de la teneur en humidité

Humidité [%]	Zone climatique	Tempérée*	Tropicale**
12 – 15		8 – 12	6 – 8
15 – 17		6 – 10	3 – 5
17 – 19		4 – 6	1 – 2
19 – 21		1 – 4	0,5 – 1

* Premier refroidissement à 10 °C, en Europe

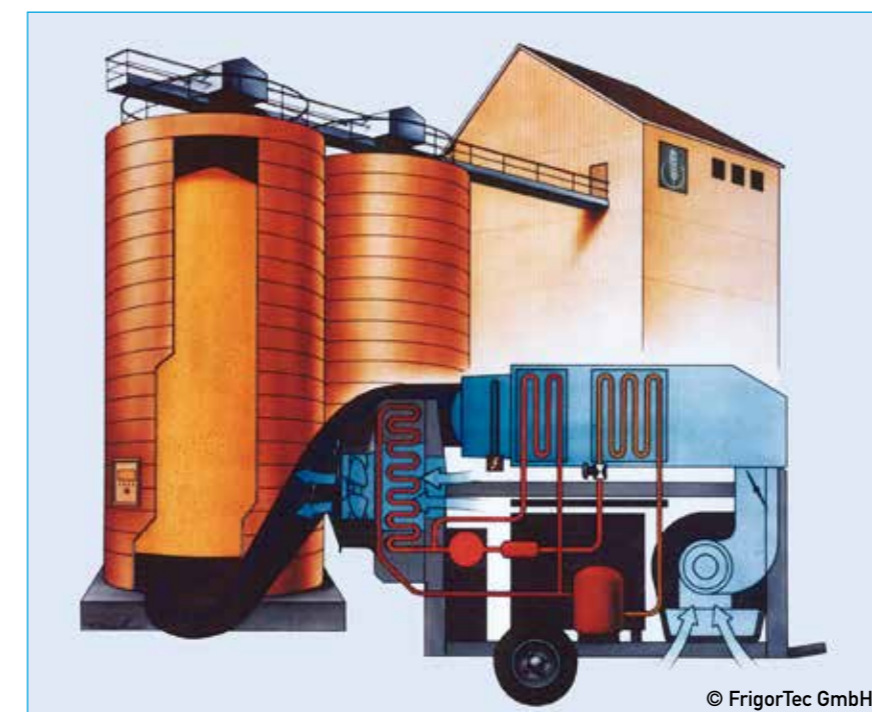
** Premier refroidissement à 15 °C, pour l'Amérique latine ou l'Asie par ex.



6 Temporisateur pour le stockage des céréales

Tab. 2: Énergie requise lors du refroidissement des céréales et des semences oléagineuses.

Temp. moyenne. [°C]	10	15
Région	Europe	Amérique latine/Asie
Zone climatique	Tempérée	Tropical
Consommation d'électricité en kWh/t	2–4	6–8



7 Principe de fonctionnement de l'unité de réfrigération de grains GRANIFRIGOR™

Aucune perte de transfert

Les techniques traditionnelles de stockage sans refroidissement nécessitent bien souvent un transfert des céréales. Le mélange, qui provoque un contact intensif à l'air, est censé éliminer les nids de chaleur. Cela implique plusieurs inconvénients: un lieu de stockage (silo) doit toujours rester libre et, en outre, les frictions dues au transfert provoquent des pertes du volume total de l'ordre de 0,03%. À cela vient s'ajouter la consommation d'énergie des dispositifs de transport qui peut s'élever de 1 jusqu'à 3 kWh par tonne de céréales. Les céréales refroidies grâce à GRANIFRIGOR™ ne nécessitent aucun transfert.

Un refroidissement à long terme

Un tas de céréales au repos absorbe l'énergie très lentement. Cela est dû à l'effet isolant de l'air situé dans l'espace entre les grains, ainsi qu'à la faible surface de contact des céréales. C'est également la raison pour laquelle les céréales chaudes le restent longtemps, même en cas de basses températures extérieures. C'est cet effet qui permet également aux céréales refroidies de rester froides longtemps. Le tableau 1 représente les durées de stockage des céréales refroidies par rapport à la teneur en humidité. La figure 6 présente le calcul des durées de stockage.

Coûts de la conservation par le froid

Les nombreux avantages de la conservation par le froid impliquent cependant certains coûts. À l'investissement dans l'appareil de réfrigération vient s'ajouter le courant électrique destiné au moteur. La consommation d'énergie dépend de la température extérieure, de l'humidité de l'air ambiant, de l'humidité des céréales et de la température des céréales.

Le tableau 2 offre un aperçu des valeurs empiriques relatives à l'énergie requise lors du refroidissement des céréales et des semences oléagineuses.

Le procédé

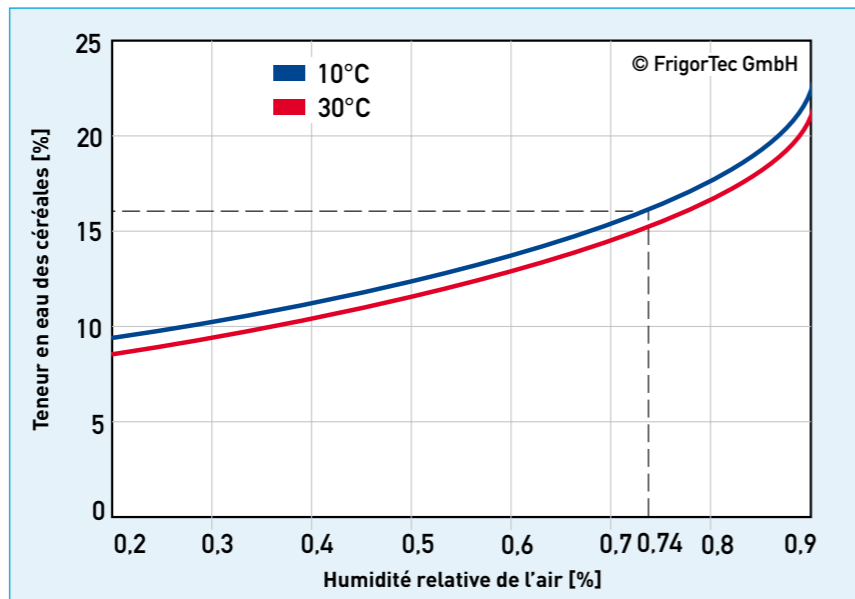
Le ventilateur du refroidisseur de grain GRANIFRIGOR™ aspire l'air ambiant (fig. 7). Cet air est ensuite refroidi dans un refroidisseur (l'évaporateur) jusqu'à ce que la température souhaitée soit atteinte, puis il subit une déshumidification. L'eau en est extraite. L'unité HYGROTHERM™ située en aval réchauffe l'air froid et humide. De ce fait, l'humidité relative est réduite. L'unité HYGROTHERM™ puise l'énergie requise pour le réchauffement dans le circuit frigorifique, ce qui a pour avantage de ne causer aucun coût supplémentaire d'énergie. L'air déshumidifié et refroidi est évacué par une tuyauterie vers le circuit de distribution d'air, puis chassé à travers le grain. Cette méthode peut être utilisée pour des unités de stockages horizontales ou des silos verticaux. L'air sortant s'échappe à l'extérieur par des orifices. Il évacue ainsi la chaleur et l'humidité absorbées hors des céréales.

Risques en cas d'aération avec de l'air extérieur non conditionné

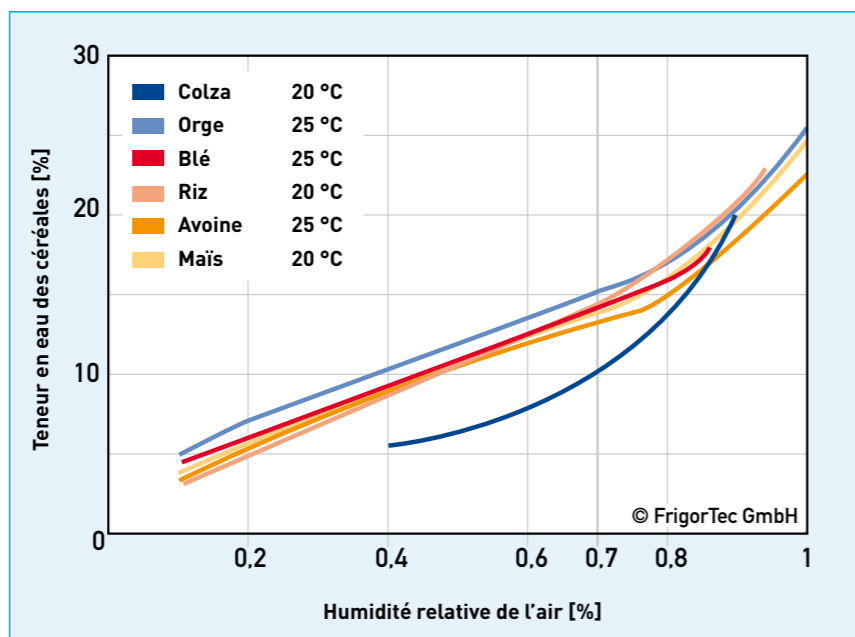
Un équilibre s'établit entre la teneur en eau du grain et l'humidité relative de l'air ambiant, en fonction de la température. L'isotherme de sorption permet de décrire ce rapport. Les grains de céréales sont hygroscopiques. Si de l'air humide entre en contact avec des grains secs, ces derniers se couvrent d'humidité. Ils moisissent. L'aération effectuée au moyen de l'air ambiant non réfrigéré n'est donc possible qu'en présence de certaines conditions atmosphériques. Le procédé GRANIFRIGOR™ fonctionne indépendamment des conditions atmosphériques. L'utilisation de l'appareil en cas de pluie ou de brouillard ne présente aucun risque d'humidification du grain.

Équilibre de la teneur en humidité entre les céréales et l'air

La figure 8 représente les isothermes de sorption du blé pour différentes températures de grain. L'exemple cité indique que pour une humidité du produit de 16 %, l'humidité relative de l'air entre les grains s'élève à environ a_w 0,74. Si dans le cas présent, l'air insufflé avait



8 Isothermes de sorption du blé pour différentes températures de grain



9 Isothermes de sorption de différentes sortes de céréales et du colza

une humidité supérieure, le grain serait humidifié. Ceci aurait inévitablement pour conséquence d'avarier la marchandise entreposée. Si en outre, la température de l'air devait être supérieure à la température des céréales, l'humidification n'en serait qu'accentuée.

Pour cette raison:

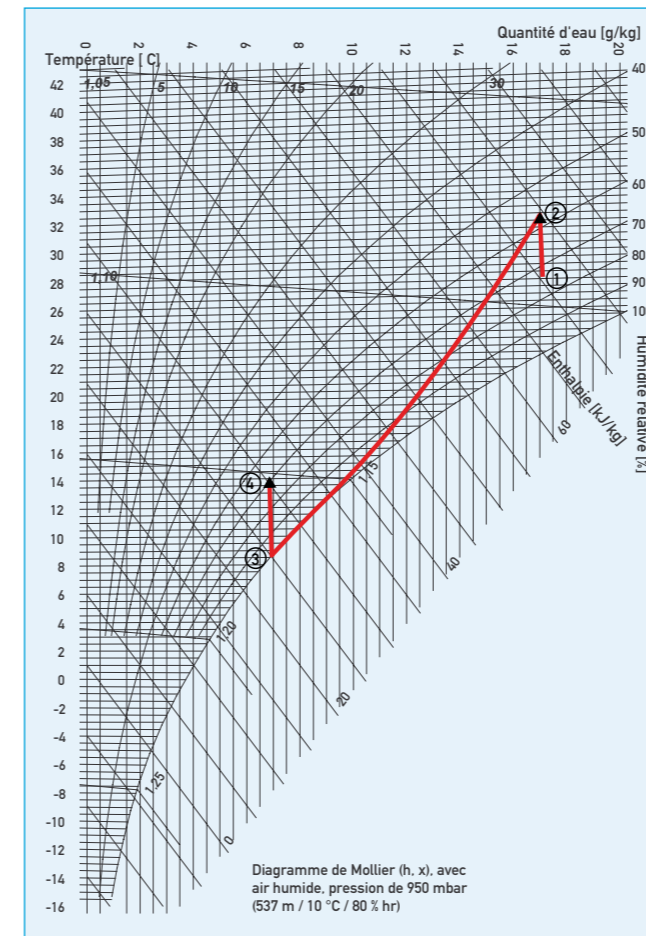
Ne mettez jamais de l'air humide en contact avec les grains!

Ne mettez jamais en contact avec les grains de l'air dont la température serait supérieure à la leur!

Ces indications s'appliquent au même titre à toutes les sortes de grains. La figure 9 offre un aperçu des isothermes de sorption de plusieurs sortes de céréales.

Le refroidissement et la déshumidification de l'air grâce à GRANIFRIGOR™

Le processus de refroidissement de l'air est représenté de manière schématique dans le diagramme h-x (de Mollier, fig. 10). Le ventilateur du refroidisseur de grain GRANIFRIGOR™ aspire l'air ambiant (fig. 10, point 1). Le ventilateur réchauffe ensuite l'air ainsi aspiré (fig. 10, point 2). Cet air est ensuite refroidi dans un



10 Principe du refroidissement des grains selon le diagramme h, x (de Mollier, réf. 7)

Tableau 3: Critères de contrôle de la rentabilité d'un GRANIFRIGOR™

Critère de refroidissement	Modèles conventionnels	Avantages de GRANIFRIGOR™
Perte de matière sèche (selon Jouin)	élevé	faible
Investissement appareil de réfrigération	–	amortissement
Cons. d'énergie du refroidissement (moyenne)	–	3 – 5 kWh/t (8 – 10 kWh/t sous les tropiques)
Cons. d'énergie du séchage	élevé	basse, en utilisant l'effet de séchage
Transfert/Transport	0,03% de perte	non
Cons. énergie de transport	oui	non
Traitement chimique	si nécessaire	non
Fissures de contrainte dans le grain	réduction de qualité	non
Qualité/Fraîcheur de la récolte	abattement de prix	pas d'abattement
Oxydation des oléagineux (soy beans, sesame, corn, rapeseed)	abattement de prix	pas d'abattement
Pouvoir germinatif des semences/du houblon	réduit	élevé
Rice yield (whole rice kernels)	faible	importante
Jaunissement du riz	Diminution de la qualité	non

refroidisseur (l'évaporateur) jusqu'à ce que la température souhaitée soit atteinte (fig. 10, point 3), puis il subit une déshumidification. De l'eau en est donc extraite. Bien que la teneur en eau baisse, l'humidité relative de l'air augmente et atteint presque 100%. L'unité HYGROTHERM™ située en aval réchauffe une nouvelle fois

l'air froid et humide (fig. 10, point 4) dans le but d'abaisser l'humidité relative et d'éviter toute humidification de la marchandise stockée. Ce nouvel échauffement utilise l'énergie dégagée par le procédé de refroidissement et n'implique donc aucun coût énergétique supplémentaire.

Température idéale de stockage

Les céréales doivent être refroidies à moins de 13°C dès leur stockage. Le froid fait tomber les insectes éventuels en hibernation. Ils sont donc incapables de se développer et de se reproduire. Les dégâts qu'ils provoquent habituellement sont ainsi évités. De même, la baisse de la température de stockage empêche efficacement le développement des moisissures.

Une rentabilité maximale grâce à GRANIFRIGOR™

Le refroidissement des céréales avec GRANIFRIGOR™ permet de réduire au minimum les pertes de matière sèche et empêche l'action néfaste des insectes et le développement de la moisissure: la qualité du grain est conservée. GRANIFRIGOR™ permet de minimiser les besoins énergétiques de séchage, ainsi que le temps d'occupation du séchoir. De plus, il n'y a aucun besoin de conserver chimiquement les réserves. Une étude précise de rentabilité montre que dans la grande majorité des cas la durée de l'amortissement varie entre un et deux ans. Investir dans GRANIFRIGOR™ est donc une opération très rentable. Le tableau 3 liste les critères de contrôle de la rentabilité pris en compte.

Domaine d'utilisation

La conservation par le froid s'utilise de la même manière dans un silo vertical que dans une installation de stockage à plat. Tout dépend de la manière dont l'air est distribué. Avec GRANIFRIGOR™, vous pouvez refroidir différents types de produits agricoles, comme par exemple le blé, le houblon, le colza, le maïs, le riz, le riz paddy, les germes de soja, les graines de tournesol, les arachides, les graines de coton, les pellets, le sorgho, le sésame, les graines de lin, les légumineuses, les pommes de terre, les semences de prairie, les fèves de cacao, les grains de café, les noix, le seigle, l'épeautre et bien d'autres encore.

Les applications de la conservation par le froid

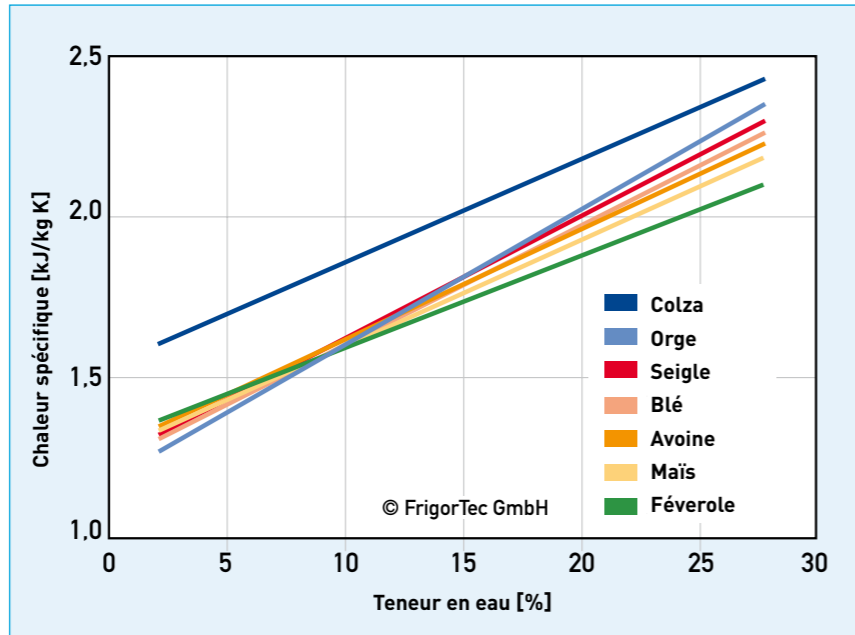
En raison de la multitude des produits agricoles, nous ne procéderons dans ce qui suit qu'à une description rapide des applications les plus importantes.

Riz/Riz non décortiqué (paddy)

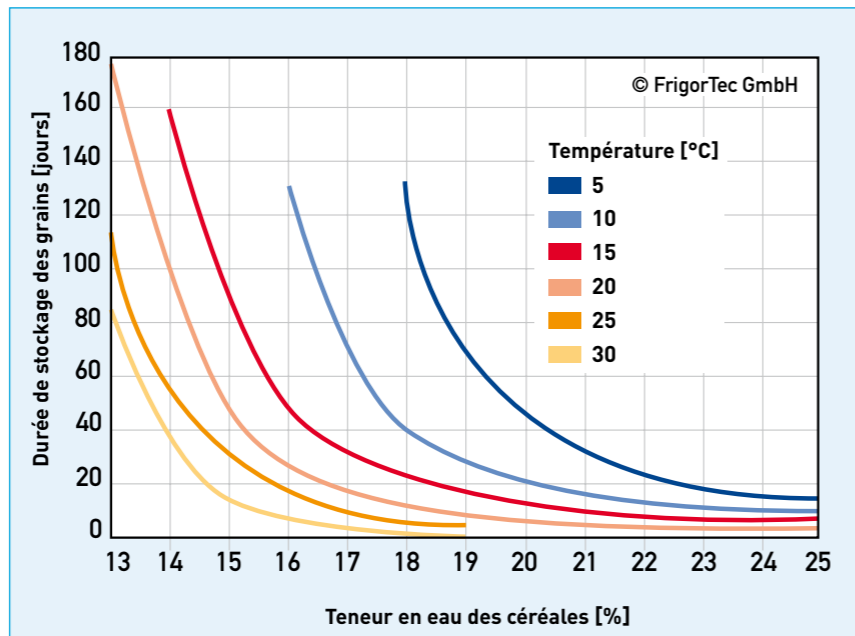
Le riz constitue le principal aliment de millions d'individus. On recense au niveau mondial 8.000 sortes de riz biologiquement différentes (réf. 8). Celles-ci sont classées en trois catégories: Riz long, moyen et court. Leur point commun est leur sensibilité. Le riz doit être séché avec précaution et, de préférence, en plusieurs étapes. En combinant les cycles de séchage et de refroidissement, il est même possible d'économiser jusqu'à trois processus de séchage (réf. 9). Outre les avantages généraux que nous avons décrits précédemment, la conservation par le froid apporte d'autres points positifs pour les applications particulières au riz. Plusieurs études menées en Amérique centrale et en Asie ont clairement montré que le jaunissement disparaît presque complètement lorsque le riz a été refroidi (réf. 10). De plus, le riz et le riz paddy refroidis présentent beaucoup moins de fissures. Avec la conservation par le froid, vous gagnez 3 % de grains de riz entiers (head rice) par rapport à une conservation sans refroidissement. Lorsqu'il est stocké un certain temps dans des entrepôt traditionnels, le riz a tendance à dégager une odeur de moisi-humide. Ceci n'est pas le cas du riz conservé par le froid. Tous ces avantages constituent des arguments importants en ce qui concerne la qualité assurée ainsi que le prix de vente de la marchandise.

Graines de colza (colza)

Le stockage du colza présente en soi certaines difficultés (réf. 11), même lorsque la teneur en humidité (env. 9%) est basse. Dans le colza récolté, on trouve une grande quantité de fragments de péricarpes et de tigelles, ainsi que des graines de diverses herbes. Durant le battage, les graines de colza peuvent subir une légère humidification si elles entrent en contact avec des parties humides de la plante. Au moment de la récolte, il se produit fréquemment des contaminations dues à des micro-organismes. Il suffit parfois d'une nuit pour que les parties se réchauffent de manière sensible et qu'elles dégagent l'odeur de moisi-humide caractéristique d'une activité microbienne. Ce milieu rassemble les conditions idéales au développement des moisissures. Pour éviter cela, le colza est soumis à un nettoyage préalable



11 Dégagement de chaleur lors du stockage du colza



12 Durée de stockage admissible des graines, selon Agena (réf. 13)

intensif. Étant donné que ceci ne suffit pas nécessairement à empêcher la formation de moisissures, il est fortement conseillé de refroidir le colza à 10 °C. Vous réduisez ainsi nettement la prolifération des champignons. Durant le stockage, le colza doit maintenir sa caractéristique oléagineuse. Si la température et l'humidité dans le lieu de stockage augmentent, il se forme des acides gras libres qui provoquent une dissociation des huiles. L'eau résultant de cette transformation ainsi que la chaleur qui se libère doivent être évacuées le plus rapidement possible. Ces facteurs montrent qu'il est indispensable de

surveiller et de refroidir les stocks de colza. La densité du colza stocké est plus importante que celle du blé par exemple, ceci de par la petite taille des grains. Par conséquent, un stock de colza a une perte de pression de l'air y circulant plus importante que celle d'autres céréales. Il est nécessaire d'en tenir compte lors de l'installation de l'appareil de réfrigération.

De par sa haute teneur en lipides, le colza ne retient pas autant l'eau que les autres sortes de céréales (réf. 12). La perte de masse sèche due à la respiration n'est pour le colza que de 70% par rapport aux pertes enregistrées

sur les autres céréales; il se dégage en revanche 33 % de chaleur supplémentaire. La figure 11 montre clairement qu'il est nécessaire de prendre en compte le réchauffement propre du colza lors de son stockage. Les stocks de colza doivent être de préférence maintenus à une température inférieure à 15 °C.

Si le colza a une teneur en acides gras libres trop élevée, dépassant la norme de 1 % des problèmes se posent pour le broyer. Le développement des acides gras se produit lorsqu'il est stocké à une température trop élevée.

Semences oléagineuses

La teneur en huile et en graisse des graines de tournesol, des arachides, des graines de coton, des germes de soja, du maïs etc. intensifie le dégagement de chaleur résultant des réactions d'oxydation. Les conséquences en sont des pertes de qualité considérables ainsi que des agglutinations de la marchandise. En outre, l'augmentation des acides gras libres entraîne à son tour une baisse de la qualité et de la masse. La conservation par le froid permet en revanche de maintenir une teneur en humidité supérieure de 1 à 3 % environ à celle obtenue avec les méthodes traditionnelles de stockage.

Semences/houblon

Un des aspects primordiaux du stockage des semences et du houblon est le maintien de leur pouvoir de germination. Les semences, étant conservées par le froid et ayant une teneur en humidité de 15 à 16 %, ont, en moyenne, un pouvoir de germination nettement supérieure à celui des graines stockées dans un endroit sec et chaud.

La figure 12 représente la durée de stockage admissible des graines en fonction de la température et de l'humidité. Les résultats sont calculés à partir du pouvoir germinatif initial et s'appliquent donc aussi bien aux graines céréalières qu'au houblon. En protégeant le houblon ou les grains suffisamment tôt à une température de 10 à 12 °C environ, il est possible de prolonger nettement la durée de stockage et de réduire ainsi la „dormance“.

Maïs

Le maïs en grains tend à s'échauffer rapidement à cause de sa teneur en graisse. Ceci vaut également pour le maïs qui, pour des raisons de sécurité, est parfois asséché jusqu'à ce qu'il atteigne une teneur en eau de 12 à 13 %. La conservation par le froid du maïs rend superflue cette méthode traditionnelle qui implique de lourdes contraintes financières



et énergétiques, ainsi que des pertes de qualité et de masse. Des études effectuées par l'université d'Hohenheim en Allemagne et par celle de l'État du Michigan aux États-Unis, par exemple, ont démontré que les pertes les plus importantes surviennent lorsque le maïs en grains est séché à l'air chaud et que sa teneur en humidité est inférieure à 17 % (réf. 14). Ces problèmes peuvent être efficacement évités grâce à la conservation par le froid.

Pellets

Les pellets sont refroidis dans des refroidisseurs pour pellets au moyen d'air non conditionné. Les pellets, en particulier ceux ayant un diamètre plus important, ne sont pas refroidis jusqu'au centre. Des fissures de contrainte apparaissent, accompagnées de pertes considérables de qualité dues à une proportion plus grande de farine et de fragments non utilisables. GRANIFRIGOR™ permet de refroidir les stocks de pellets uniformément jusqu'à leur centre. Ils deviennent extrêmement durs et sont moins sujets aux fissures. Il en résulte de meilleures caractéristiques d'écoulement lors du transfert.



Distribution de l'air

Le refroidissement dans les silos

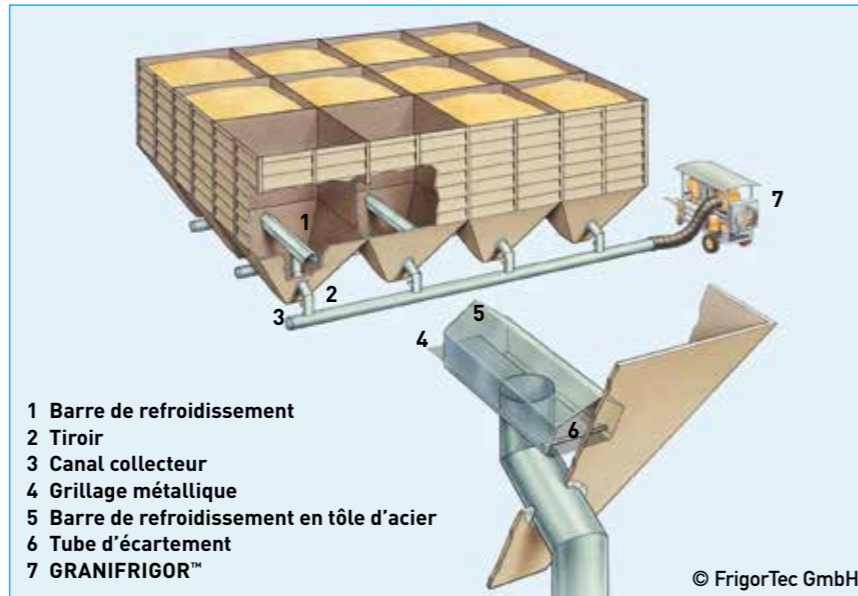
La bonne distribution de l'air est un facteur essentiel au refroidissement des marchandises entreposées. Dans le cas de silos à base plate, le plancher perforé a fait ses preuves. Dans les silos à cône de sortie, on utilise des barres de refroidissement en tôle d'acier à arêtes vives. La partie inférieure des barres de refroidissement est ouverte et équipée d'un grillage métallique. Ce dernier sert à empêcher le tourbillonnement des grains. GRANIFRIGOR™ achemine l'air froid par un système de tuyauterie jusqu'aux barres de refroidissement. L'air froid est envoyé dans le tas de céréales à travers l'ouverture orientée vers le bas qui se trouve sur la partie inférieure de la barre (fig. 13).

Le tas de céréales oppose une résistance à l'air. De ce fait, l'air froid est distribué sur toute la largeur du tas et le traverse jusqu'en haut. La partie située sous le toit du silo doit être pourvue d'un nombre suffisant d'ouvertures pour que l'air chaud soit correctement évacué hors du tas. En automne, les conditions atmosphériques peuvent favoriser la formation de condensation. Pour en empêcher la formation, il est conseillé d'isoler le toit du silo ou d'installer un ventilateur d'extraction d'air. Dans la plupart des cas, ce ventilateur est la solution la plus appropriée. Il doit aspirer de l'air en quantité suffisante dans des conditions de faible pression.

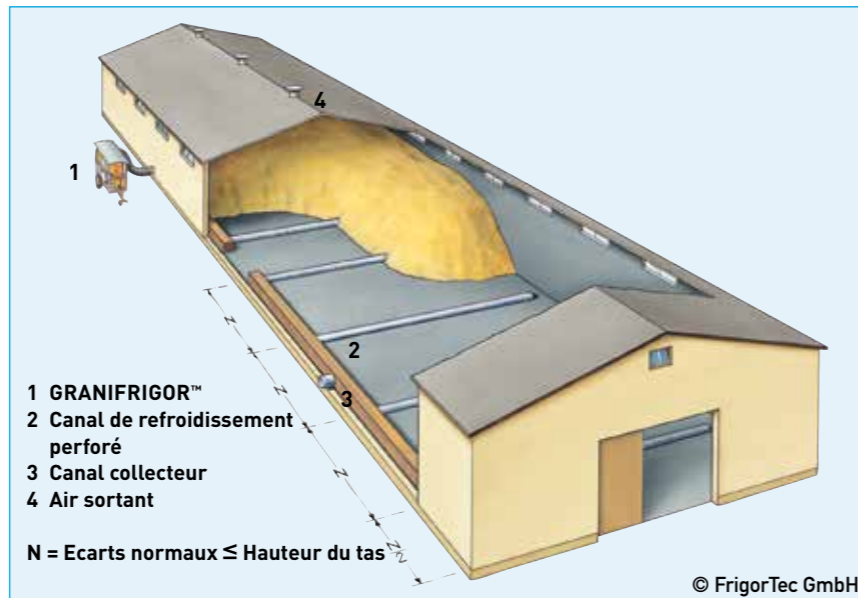
Dans les installations de silos verticaux, il est important de prendre en compte la chute de pression de l'air qui traverse la marchandise et qui résulte de la hauteur de déchargement admissible. Il est donc indispensable de régler le ventilateur de l'appareil de réfrigération ou bien de prendre les dispositions nécessaires en fonction du domaine pour lequel il est utilisé. Pour le colza par exemple, il est impératif de prendre en considération la perte de pression de l'air en circulation qui est de trois à quatre fois plus importante que pour le blé.

Le refroidissement dans les installations de stockage à plat/les entrepôts

Dans les installations de stockage à plat, la solution habituelle est d'installer au sol des canaux de refroidissement en tôle d'acier perforée et de forme semi-monocoque. Si les can-



13 Cheminement des barres de refroidissement à l'exemple d'une installation de silo à cellules



14 Principe de distribution de l'air dans une installation de stockage à plat

aux sont installés en sous-sol, ils doivent être recouverts de tôles perforées. Il est important, dans ce cas, que l'accès en soit aisé pour faciliter le nettoyage. Il est indispensable d'éviter au maximum la formation de niches et l'accumulation de la saleté. L'installation des canaux en sous-sol présente l'avantage de permettre la circulation des véhicules dans l'entrepôt. Cela peut s'avérer être un atout considérable lors du déstockage. Les différents canaux de dérivation peuvent être ou bien rassemblés dans un canal collecteur situé à l'extérieur ou à l'intérieur du bâtiment, ou bien conduits indépendamment vers l'extérieur. Il est conseillé, dans la mesure du possible, de ne pas installer de conduites d'air trop longues.

Il est également important de les isoler contre la chaleur. La distance séparant les canaux de refroidissement ne doit en aucun cas être supérieure à la hauteur maximale de déchargement. L'écart maximum entre les canaux et le mur doit correspondre à la moitié de la hauteur de déchargement. Si des cônes d'éboulement se forment sur les tas de céréales, il est possible de les compenser à l'aide de perforations variables sur les conduites d'air ou en recouvrant la surface des tas. Dans le cas contraire, l'air froid circulerait là où il rencontre le moins de résistance et le sommet du cône d'éboulement ne serait pas refroidi. Le cas idéal serait d'éviter la formation de cônes d'éboulement en répartissant convenablement la marchandise stockée.

En résumé, GRANIFRIGOR™ offre de nombreux avantages qui jouent un rôle prépondérant en terme de rentabilité:

- stockage long sans aucun risque de perte de qualité
- prévention des attaques et de la multiplication des insectes
- protection contre les champignons et les mycotoxines
- inutilité d'un traitement chimique
- minimisation des pertes causées par la respiration
- aucun transfert requis
- frais de séchage réduits
- maintien de la fraîcheur de la récolte
- maintien du pouvoir germinatif
- aucun jaunissement du riz
- proportion plus importante de grains de riz intacts
- aucune fissure de contrainte
- aucune oxydation des oléagineux
- refroidissement indépendant des conditions atmosphériques



Références bibliographiques

- 1 Brunner H (1989) Getreidepflege durch Kühlkonservierung, Technische Rundschau Sulzer, Heft 4, Gebrüder Sulzer AG Winterthur, Suisse
- 2 Jouin C (1964) Grundlegende Kalkulationen für die Belüftung des Getreides, Getreide und Mehl, Band 14, Heft 6, Beilage der Zeitschrift „Die Mühle“, Verlag Moritz Schäfer, Detmold
- 3 Kolb RE (2001) Kühle Getreidelagerung, Mühle + Mischfutter, Heft 17, Verlag Moritz Schäfer, Detmold
- 4 Anonymus (2002) Gefahr erhöhter Mykotoxinbildung im Getreide, Mühle + Mischfutter, Heft 19, Verlag Moritz Schäfer, Detmold
- 5 Lacey J, Hill ST, Edwards MA (1980) Micro-organisms in stored grains; their enumeration and significance, Tropical stored product information 39
- 6 Getreide Jahrbuch 2002/2003, Verlag Moritz Schäfer, Detmold
- 7 Mollier R (1923/1929) Das i. x-Diagramm für Dampf- und Luftgemische, Zeitschrift VDI, 67
- 8 Kunde K-H (1987) Reis - seine Bedeutung und Bearbeitung, Die Mühle + Mischfuttertechnik, 124. Jahrgang, Heft 32/33, Verlag Moritz Schäfer, Detmold
- 9 Barth F (1995) Cold storage of Paddy - the solution to your storage problems, World Grain, July 1, Sosland Publishing Co, Kansas City/USA
- 10 Vasilenko E, Sosedov N et al. (1976) Die Gelbfärbung von Reis, Übersetzung der russischen Mukomol'no erschienen in Die Mühle + Mischfuttertechnik, 113. Jahrgang, Heft 17, Verlag Moritz Schäfer, Detmold
- 11 Eimer M (1998) Konservierung und Lagerung von Raps, Raps, 16. Jahrgang, Heft 7, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen
- 12 Humpisch G (2002) Gesunderhaltung von Rapssaat, Raps, 20. Jahrgang, Heft 3, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen
- 13 Agena MU (1961) Untersuchungen über die Kälteeinwirkung auf lagernde Getreidefrüchte mit verschiedenen Wassergehalten, Dissertation Universität Bonn
- 14 Bakker-Arkema FW, Maier DE, Mühlbauer W, Brunner H (1990) Grain-chilling in the U.S.A. to maintain grain-quality, World Grain, January 1, Sosland Publishing Co, Kansas City/USA

La série GRANIFRIGOR™ - appareils de réfrigération des céréales



GC 40 Europe



GC 60 Tropic / 80 Europe



GC 140 Europe



GC 180 Europe



GC 220 Tropic / 240 Europe / 240 Subtropic



GC 310 Tropic / 320 Europe / 320 Subtropic



GC 460 Tropic / 500 Europe / 500 Subtropic



GC 560 Tropic

© FrigorTec GmbH

**FrigorTec (anciennement secteur climatisation
d'Axima et Sulzer Escher Wyss) – le spécialiste
des climatiseurs et des pompes à chaleur:**



SERVICE – Partout dans le monde,
notre service après-vente assure la
maintenance des appareils et l'approvi-
sionnement en pièces de rechange.

Appareils de réfrigération des
céréales GRANIFRIGOR™

Climatiseurs pour grues
CRANEFRIGOR™

Appareils de refroidissement
standard STANDARDFRIGOR

Solutions spéciales
SHELTERFRIGOR

Désinsectisation par la
chaleur DEBUGGER

Séchage de foin
AGRIFRIGOR™

Distributeur:

FRIGOR TEC
Cooling to the point

FrigorTec GmbH • Hummelau 1
88279 Amtzell / Germany
Tel.: +497520 / 91482-0
Fax: +497520 / 91482-22
info@frigortec.de
www.frigortec.com