

Bulletin de l'Institut International du Froid of the International Institute of Refrigeration



2005-2

*Abstracts and News
Analyses et Informations*

**3e Note d'Information sur le
froid et l'alimentation**

**Indicateurs de température
et intégrateurs
temps-température**

Nouveau CD-ROM

Compressors 2004

**5e Conférence
internationale de l'IIF sur
les compresseurs et les
frigorigènes**

Casta Papiernicka

**3rd Informatory Note on
Refrigeration and Food**

**Temperature Indicators and
Time-Temperature
Integrators**

New CD-ROM

Compressors 2004

**5th IIR International
Conference on
Compressors
& Coolants**

Casta Papiernicka

[Le respect de la chaîne du froid est une exigence connue depuis longtemps, mais qui ne peut que s'accentuer. Les effets des ruptures de la chaîne du froid sur la santé des consommateurs ne seront jamais assez rares. Le contrôle de la température du produit et de son environnement concerne tous les acteurs, depuis le producteur jusqu'au consommateur. Même si le consommateur est ensuite souvent celui qui respecte le moins le niveau de froid exigé, il est droit, tout comme les autorités gouvernementales, d'avoir les garanties nécessaires sur la qualité des produits vendus. Les indicateurs de température et intégrateurs temps-température seront de plus en plus utilisés pour assurer la traçabilité des produits à chaque maillon de la chaîne du froid.]

Didier Coulomb

3e Note d'Information sur le froid et l'alimentation

Indicateurs de température et intégrateurs temps-température

La qualité et la sécurité d'un grand nombre de produits sont fortement influencées par la température. C'est le cas en particulier des denrées réfrigérées ou congelées, de certains produits médicaux et pharmaceutiques ainsi que des fleurs coupées. C'est la raison pour laquelle la chaîne du froid doit être ininterrompue du producteur au consommateur. Les deux facteurs principaux contribuant aux pertes de qualités sanitaires, nutritionnelles et sensorielles des produits périssables sont le temps et la température.

Les Indicateurs de Température (IT) indiquent si la température du produit a franchi ou non un certain seuil fixé. Les Intégrateurs Temps-Température (ITT) mesurent à la fois le temps et la température et intègrent ces données en un seul résultat visible. Ainsi, ils fournissent l'historique cumulé « temps-température » des produits auxquels ils sont associés. Les IT et ITT sont des appareils simples et peu coûteux, qui se présentent généralement sous forme de pastilles autoadhésives attachées aux produits.

Le contrôle et le suivi de la température sont très importants durant la transformation, la manutention, l'entreposage et la distribution des produits alimentaires. La traçabilité — c'est-à-dire l'aptitude à reconstituer l'historique de la température d'un produit en utilisant des dispositifs de contrôle continu — est devenue une exigence essentielle.

La température d'un produit doit être maintenue au niveau préconisé et vérifiée à intervalles réguliers, à chaque point critique de la chaîne de distribution. La méthode des points de contrôle critiques pour l'analyse des risques (méthode HACCP) constitue, à cet égard, un outil important de contrôle de la sécurité et de la qualité des produits alimentaires. La lecture manuelle des informations prend du temps et nécessite des connaissances spécifiques et un

matériel adapté. De ce fait, le coût engendré conduit souvent à espacer de tels contrôles.

Une des premières applications, pendant la seconde guerre mondiale, consistait à placer un cube de glace dans les paquets de produits congelés. Si la glace fondait, cela signifiait que le produit avait été exposé à des températures trop élevées.

Plusieurs tentatives ont été faites pour développer des IT — afin de contrôler la température des produits — et des ITT — pour surveiller celle-ci en continu. Plus de 100 brevets ont été délivrés pour des IT et ITT, mais, jusqu'à présent, très peu ont été commercialisés.

FONCTION

Le principe de fonctionnement des indicateurs et intégrateurs fait appel à un processus sensible à la température, pouvant être mécanique, physique, chimique, biochimique ou électrochimique. Les conséquences de ce processus sont irréversibles, mesurables et se traduisent souvent par un changement visible, par exemple un changement de couleur. Le processus utilisé peut être sélectionné pour qu'il reproduise les relations temps-température de différents produits réfrigérés et congelés; les IT et ITT peuvent donc être conçus pour s'adapter aux caractéristiques de qualité et de sécurité de produits spécifiques à condition toutefois que les données sur les tolérances temps-température (TTT) relatives à ces produits soient connues. La non-connaissance ou l'imprécision des données TTT est un problème couramment rencontré.

Un IT confère une présomption de preuve de respect de la chaîne du froid dès lors que le seuil de température fixé n'a pas été dépassé. Cependant, il ne donne ni l'amplitude ni la durée du dépassement de température éventuel.



L'étiquette présente sur les bouteilles de bière pour montrer si le produit a été correctement maintenu au froid est un exemple couramment rencontré. Les pastilles permettant de visualiser la montée en température correcte d'un produit en phase de cuisson en constituent un autre exemple.

Un ITT (également appelé indicateur temps-température) réagit à l'historique cumulé du temps et de la température du produit. Il permet une simulation des réactions chimiques, biochimiques et physiques qui ont lieu pendant la manutention et la distribution; le signal produit indique l'effet cumulatif du temps et de la température à tout moment. Le développement de micro-organismes dans le produit peut aussi être simulé, mais selon un processus plus complexe. Si un ITT réagit uniquement au temps pendant lequel la température fixée a été dépassée, il peut être appelé « intégrateur critique » ou « intégrateur à historique partiel ».

Dans cette note, le nom « d'indicateurs » désigne ces deux familles de dispositifs.

Bien que l'évolution du temps et de la température d'un produit alimentaire périssable exerce une grande influence sur la qualité et la sécurité finales du produit, d'autres facteurs, tels que la qualité des matières premières, la transformation et l'emballage, sont également importants. Ceci, combiné avec les variations qui se produisent pour n'importe quel produit donné, fait qu'il est impossible de juger de la qualité du produit en se basant uniquement sur l'historique temps-température. Par conséquent, les ITT ne devraient pas être employés pour mesurer directement la qualité du produit. Ils permettent cependant de surveiller le respect de la chaîne du froid et les conditions environnementales subies par le produit et donner une indication de sa durée de conservation résiduelle à tout point de la chaîne de distribution. Le consommateur dispose alors d'une information supplémentaire par rapport à la date limite de consommation.

CONDITIONS À RESPECTER PAR LES IT ET ITT

Les IT et ITT doivent remplir les conditions suivantes :

- réagir aux fluctuations de température sur une large gamme de températures,
- avoir une précision et une reproductibilité élevées,
- être faciles à activer, avec un point d'activation stable déterminé,

- pouvoir être entreposés avant utilisation, sans qu'une réaction soit initiée,
- résister aux contraintes d'origine physique, chimique et mécanique,
- délivrer un signal facile à lire et à interpréter,
- suivre la température du produit aussi étroitement que possible,
- être indélébiles, scellés et impossibles à retirer du produit.

De plus, la réaction et le processus de l'ITT doivent pouvoir être sélectionnés pour correspondre aux caractéristiques du produit (données TTT).

AVANTAGES POTENTIELS LIÉS À L'UTILISATION DES IT ET ITT

- Concernant la sécurité et la qualité des produits, les indicateurs permettent un meilleur respect de la chaîne du froid sans augmenter les coûts si l'on tient compte du plus grand nombre de mesures nécessaires par les méthodes traditionnelles. Les changements d'infrastructure actuels, qui se traduisent par des installations de transformation et de distribution moins nombreuses mais de plus grande taille et des transports de plus longue durée, amplifient cet avantage.
- Dans certains cas, la lecture et l'enregistrement de la réponse de l'indicateur en tant qu'élément du système de contrôle peuvent être automatisés. Des systèmes de lecture automatisés seraient utiles pour de futures applications industrielles.
- Les indicateurs augmentent la sécurité des produits alimentaires réfrigérés puisqu'ils sensibilisent davantage les utilisateurs à l'importance des facteurs temps et température à chaque étape de la chaîne du froid.
- Les indicateurs de l'historique temps-température d'un produit alimentaire pendant la distribution, de la production jusqu'à la vente au détail ou à la restauration, fournissent au vendeur ou au restaurateur des retours d'informations très utiles, permettent de supposer que les produits sont sûrs et de bonne qualité, et réduisent les pertes de produit ainsi que les pertes financières.
- A l'avenir, la vente des produits pourrait s'appuyer sur la durée de conservation résiduelle indiquée plutôt qu'exclusivement sur le temps passé à une température donnée, comme c'est le cas avec les dates limites de consommation.
- Selon la conception et la fonction des indicateurs, l'utilisation de ces dispositifs est susceptible de réduire le coût des opérations de contrôle tout au long de la chaîne de distribution.



DIFFICULTÉS ÉVENTUELLES LIÉES AUX IT ET in

- Le placement des indicateurs en surface, pour faciliter leur lecture, entraîne une réaction aux changements de température ambiante, qui sont généralement plus marqués que ceux se produisant à l'intérieur du produit. La relation entre la température de surface et celle à l'intérieur du produit varie d'un produit à l'autre, selon le matériel d'emballage, les propriétés physiques du produit, l'espace libre, etc. De ce fait, il est difficile d'ajuster les résultats des indicateurs afin qu'ils reproduisent les conditions exactes du produit.
- La notion de IT et de ITT n'est généralement pas encore très bien appréhendée ni par les distributeurs, ni par les consommateurs. L'utilisation de tels indicateurs pourrait être limitée aux emballages principaux, permettant un suivi de la distribution depuis le producteur jusqu'au vendeur ou au restaurateur. Leur utilisation pour les emballages présentés aux consommateurs ne sera probablement pas généralisée à court terme.
- Le coût d'un seul IT ou ITT peut quelquefois être élevé par rapport à la valeur de certains produits lorsqu'ils sont utilisés sur les emballages présentés au consommateur.
- Des divergences peuvent survenir entre les indications des IT et ITT et les dates limites de consommation qui sont exigées dans certains pays. Tant que les ITT ne seront pas certifiés en tant que moyens de mesure de la durée de conservation résiduelle, les autorités et la législation continueront à utiliser les dates limites de consommation. Par conséquent, l'utilisation des IT et ITT ne peut pas complètement éliminer les mesures de températures habituelles.
- La standardisation des ITT est difficile. La relation temps-température entre l'historique de la température et la durée de conservation n'est pas la même pour tous les produits alimentaires. En conséquence, il est nécessaire d'avoir un certain nombre d'ITT différents.
- La performance des ITT s'est avérée acceptable dans un certain nombre de cas en termes de précision de la reproduction de la perte de qualité du produit en fonction de la réponse temps-température. Cependant, des normes indiquant les niveaux acceptables de précision n'ayant pas encore été définies et adoptées, il est difficile de faire une comparaison objective des dispositifs et des fabricants.

EXEMPLES DE TECHNOLOGIES DISPONIBLES DANS LE COMMERCE

Pendant de nombreuses années, le marché a été dominé par trois fabricants, mais depuis peu

au moins dix systèmes différents ont été développés. Actuellement, seuls quelques-uns sont disponibles dans le commerce, mais ceci devrait changer. Les principales technologies utilisées pour les IT et ITT disponibles dans le commerce sont présentées ci-dessous :

- Changement de couleur

Certains systèmes sont basés sur l'hydrolyse enzymatique contrôlée d'un substrat lipidique, se traduisant par une diminution du pH provoquant un changement de couleur (souvent du vert au jaune). D'autres sont basés sur la polymérisation de monomères de diacétylène, qui produit un polymère coloré. Ceux-ci associent souvent un indicateur chimique et des codes barres. Les changements de réflectivité provoqués par l'influence du temps et de la température ainsi que l'information fournie par les codes barres, sont enregistrés par un lecteur optique et l'information est alors stockée et analysée à partir d'un logiciel. Ces systèmes, conçus pour être utilisés par les consommateurs, présentent l'élément actif à côté d'une référence imprimée afin que la réponse de l'indicateur puisse facilement être vue, lue et comprise. Ces indicateurs doivent souvent être maintenus congelés jusqu'à leur utilisation en raison de la présence d'enzymes et de produits chimiques.

- Diffusion

D'autres systèmes sont basés sur la diffusion ; du papier buvard est recouvert d'une substance chimique, le plus généralement un ester, avec un point de fusion spécifique. Une fois activée, la substance chimique est mise en contact avec une règle graduée le long de laquelle le produit chimique coloré se déplace. La vitesse de diffusion dépendant de la température, la distance parcourue par la substance fournit une mesure de l'historique cumulé temps-température. La gamme de température à laquelle l'indicateur devrait fonctionner est définie par le choix de la substance chimique et de sa concentration. Récemment, un indicateur à base de polymères visqueux élastiques qui se déplacent également dans une matrice poreuse réfléchissant la lumière, a été développé.

- Fréquence radio

Beaucoup de systèmes sont maintenant basés sur la fréquence radio. Un indicateur basé sur un système d'enzymes incorporé dans un circuit passif de fréquence radio a été récemment développé. L'enzyme agit en tant que bio-détecteur qui réagit au temps et à la température, augmentant la force du signal électrique. Le signal est enregistré par un scanner et transféré à un



logiciel, qui restitue l'historique cumulé temps-température. A l'avenir, les codes barres pourraient être remplacés par des dispositifs d'identification par fréquence radio (RFID — Radio Frequency Identification Device). De tels dispositifs permettent d'enregistrer l'historique entier temps-température pour chaque paquet. Ces informations peuvent être transférées, via un scanner, à un ordinateur, qui calcule et affiche la durée de conservation. Il serait même possible de changer en conséquence la date limite de consommation inscrite sur les paquets.

CONCLUSION

En raison de la grande diversité du matériel biologique, des processus de transformation et d'emballage etc., il est difficile, en utilisant les indicateurs temps-température, de quantifier directement la qualité et la sécurité réelles de tout produit alimentaire. Cependant, la qualité de la manutention, au regard du temps et de la température, peut être mesurée et suivie, de même que les dépassements de température. La qualité de certains produits alimentaires très homogènes et de produits médicaux et pharmaceutiques peut être mesurée et surveillée en utilisant ces dispositifs.

Les avantages des indicateurs, tels que la possibilité de contrôler et suivre dans le temps les flux de produits et le coût comparativement peu élevé permettant des vérifications plus fréquentes des températures pendant la manutention et la distribution des produits alimentaires, devraient susciter un intérêt accru et une utilisation plus large de ces appareils dans un proche avenir. De plus, les ITT fournissent une illustration de la durée de conservation résiduelle du produit alimentaire et de ce fait, indirectement, de la qualité du produit.

L'utilisation des IT et ITT pourrait améliorer considérablement l'efficacité des systèmes de contrôle utilisés dans la distribution des produits alimentaires périssables et d'autres produits. Les systèmes disponibles sur le marché devraient à cet effet être testés et normalisés en

tenant compte des préconisations et exigences exposées ci-dessus.

RECOMMANDATIONS DE L'IIF

Le contrôle du maintien de la température du produit et de celle de son environnement à des niveaux suffisamment bas est essentiel pour garantir au consommateur des produits alimentaires sûrs et de grande qualité.

L'utilisation des IT et ITT doit être encouragée afin d'améliorer le contrôle et le suivi de la chaîne du froid et, par voie de conséquence, de fournir au consommateur une qualité plus élevée et plus homogène. Toutefois, dans un avenir proche, le contrôle traditionnel des températures restera nécessaire.

Les IT et ITT devraient contribuer à sensibiliser les consommateurs et tous les acteurs de la chaîne du froid aux conséquences des dépassements de température et à l'importance des contrôles.

Davantage d'informations sur la réponse temps-température de chaque ITT doivent être mises à disposition de toutes les entreprises envisageant l'utilisation de ces dispositifs.

La recherche devrait se concentrer sur la façon de prendre en compte d'autres facteurs tels que l'humidité ou la fréquence des variations de température.

Enfin, des normes portant sur la précision des ITT devraient être élaborées afin d'offrir de plus grandes garanties à l'utilisation de ces appareils dans le cadre de la conservation à basse température des produits périssables.

Cette Note d'Information a été préparée par Leif Bøgh-Sørensen, ancien président de la Commission C2 « Sciences et ingénierie alimentaire » de l'UF, et Göran Löndahl, membre de la Commission C2. Elle a fait l'objet d'une relecture par des experts de l'UF du monde entier. (Novembre 2004.)

