

Bulletin

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



2003-5

*Abstracts and News
Analyses et Informations*

Article de synthèse
**Evolution du froid
domestique et du
comportement des
consommateurs**

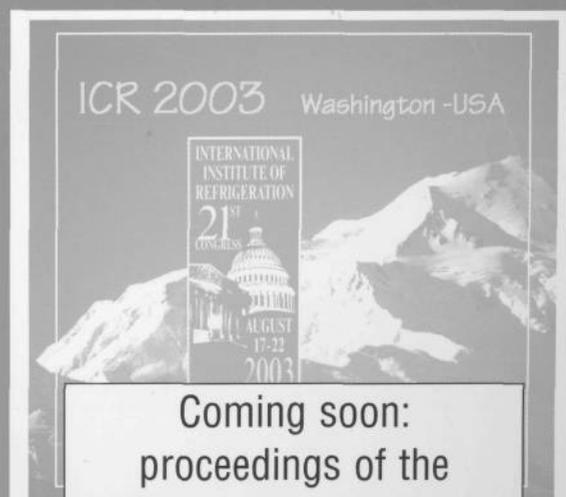
Stephen J. James

Les comptes rendus du
Congrès de Washington
seront bientôt disponibles

Review Article

**Developments in domestic
refrigeration and
consumer attitudes**

Stephen J. James



**Coming soon:
proceedings of the
Washington Congress**

VOLUME LXXXIII
BIMESTRIEL / PUBLISHED BI-MONTHLY
ISSN - 0020 69-70

M. Stephen James est directeur du Food Réfrigération and Process Engineering Research Centre (FRPERC) à l'Université de Bristol. Il a été l'un des membres fondateurs du Meat Research Institute en 1967 et a effectué des recherches sur le refroidissement de la viande et d'autres produits alimentaires jusqu'à la fermeture de l'Institut en 1990, année de création du FRPERC. Il est l'auteur de 300 publications traitant de tous les aspects du froid alimentaire : réfrigération, surgélation, décongélation, mise en température, entreposage, transport, commercialisation, comportement des consommateurs vis-à-vis des produits alimentaires, performances des réfrigérateurs domestiques.

Steve James est membre associé de l'IIF et membre de la Commission C2 depuis de nombreuses années. En 2001, le FRPERC a organisé une conférence de l'HF, intitulée « Réfrigération rapide des produits alimentaires - au-dessus et en dessous de zéro degré Celsius » qui a eu un grand succès (pour obtenir le compte rendu sur CD-ROM, voir le site Web de l'HF : www.iifir.org). Le FRPERC effectue un large éventail de recherches et de travaux d'expertises sur l'ensemble de la chaîne du froid, non seulement pour les produits alimentaires mais aussi de plus en plus souvent pour d'autres produits. Autres spécialités du FRPERC : le cycle frigorifique à air, les systèmes de décontamination thermique et les traitements utilisant les micro-ondes. Pour de plus amples informations, consulter le site Web du FRPERC : www.frperc.bris.ac.uk

Evolution du froid domestique et du comportement des consommateurs

par

Stephen J. James

Food Réfrigération and Process Engineering Research Centre (FRPERC), University of Bristol, Royaume-Uni
Stevejames@bristol.ac.uk

INTRODUCTION

Les réfrigérateurs et les congélateurs sont les deux principaux appareils frigorifiques à vocation domestique. Il y a environ 1 milliard de réfrigérateurs et de congélateurs domestiques dans le monde.¹ Cependant, les ventes d'appareils frigorifiques de petite taille, tels que les sorbetières, les machines à glaçons, les distributeurs d'eau fraîche et les réfrigérateurs à boissons, sont en hausse. En dehors du conditionnement d'air, l'utilisation principale des systèmes frigorifiques domestiques est dédiée à la conservation des aliments.

Au cours des dernières décennies, la réglementation s'est considérablement étendue en termes de températures maximales à respecter lors de la production, de la distribution et de la vente au détail des produits réfrigérés. Cependant, une fois que le produit a été acheté par le consommateur, les exigences réglementaires ne s'appliquent plus. Les intoxications alimentaires sont de plus en plus liées à une mauvaise manipulation des aliments par les consommateurs; le facteur de déclenchement de la maladie le plus fréquent est le manque de froid. Sur les 1562 cas d'intoxication alimentaire recensés au Royaume-Uni entre 1986 et 1988, 970 cas (62%) étaient d'origine domestique. La manipulation des produits par le consommateur peut ne pas être celle prévue ou envisagée par le fabricant. Les consommateurs achètent souvent des produits réfrigérés pour leur « image fraîcheur », puis les congèlent.

Le produit réfrigéré ou congelé, une fois sorti d'un meuble frigorifique de vente, n'est plus protégé par un environnement sous régime de froid lorsqu'il est transporté dans et hors du magasin jusqu'au domicile. Chez le consommateur, le produit est soit laissé à température ambiante, soit conservé dans le réfrigérateur/congélateur jusqu'à utilisation. A ce jour, il n'existe que peu de données sur les performances du froid domestique et sur le comportement des consommateurs vis-à-vis des produits réfrigérés.

I. ETUDES SCIENTIFIQUES

Cette première partie dresse un bilan succinct des études scientifiques menées récemment dans le domaine du froid domestique et permet d'illustrer l'étendue des thèmes concernés. La plupart de ces travaux concernent les systèmes frigorifiques, leur utilisation et leur capacité à réfrigérer les produits alimentaires. Certains étudient la performance en termes de température ainsi que le comportement et l'attitude des consommateurs.

Systemes frigorifiques

Radermacher et Kim² ont publié une synthèse sur le froid domestique en 1996. Ce document présente de manière complète l'histoire et l'évolution des réfrigérateurs et congélateurs domestiques du point de vue du génie frigorifique. Dans la dernière partie, les auteurs avancent que « les préoccupations récentes liées à l'environnement ont considérablement relancé



la recherche, tout particulièrement sur (i) les frigorigènes respectueux de l'environnement, et (ii) la réduction de la consommation énergétique ». D'une manière générale, ces deux aspects dominant encore les efforts de recherche.

L'utilisation de pompes à chaleur pour le conditionnement d'air et la production d'eau chaude sanitaire est à l'étude depuis de nombreuses années. Ji et al.³ ont étudié un nouveau système de conditionnement d'air permettant l'intégration de multiples fonctions et une meilleure performance énergétique. Les résultats obtenus ont montré qu'en incorporant un chauffe-eau dans l'unité extérieure d'un conditionneur d'air de type split, il était possible de refroidir l'espace et de chauffer l'eau simultanément, ce qui permettait d'augmenter considérablement la performance énergétique.

Inan et al.⁴ ont utilisé un système à rayons X pour étudier le comportement d'un réfrigérateur en régime transitoire. Les expériences ont été menées sur un congélateur vertical à deux portes, d'une capacité de 435 litres et muni d'un dispositif de dégivrage automatique. Des vidéos radiologiques du circuit frigorifique ont été enregistrées en temps réel pendant les cycles de mise en température et pendant un cycle à régulation normal. Puis, des images radiologiques ont été prises au niveau du déshydrateur, de la sortie du tube capillaire, de l'entrée de l'évaporateur et de la bouteille tampon. En associant les images vidéo et les relevés de température, on a pu expliquer les régimes d'écoulement, l'inventaire des charges, le fonctionnement de la bouteille tampon et le degré de sous-refroidissement à l'entrée du déshydrateur. Ces données ont également permis d'identifier comment les écoulements engendrent du bruit.

Le contrôle du bruit des réfrigérateurs domestiques était également le thème traité dans un article de synthèse rédigé par Suzuki.⁵ Dans cet article, l'auteur explique qu'il est difficile de réduire le bruit de manière significative par une régulation active du bruit dans les basses fréquences. Même s'il est possible de réduire le bruit en isolant un compresseur, il est bien plus difficile d'en faire autant lorsque le compresseur est incorporé dans un réfrigérateur. Cependant, le bruit a pu être réduit grâce à un panneau d'isolation acoustique muni d'une bouche d'évacuation thermique. Cette bouche d'évacuation thermique comprenait un microphone de mesure du bruit. Le niveau du bruit a été réduit grâce à l'utilisation d'une isolation acoustique et d'un matériau d'absorption acoustique

dans l'enceinte de l'appareil. L'application d'une régulation sonore active au niveau de l'évacuation s'est avérée être très efficace pour le contrôle du bruit dans un large éventail de fréquences, chose difficile à réaliser dans le passé.

Actuellement, l'utilisation des hydrocarbures est sans doute le thème de recherche le plus fréquent en froid domestique. Hammad et Alsaad⁶ ont étudié quatre mélanges différents de propane, butane et isobutane pour évaluer leur aptitude à remplacer le R12. Les paramètres étudiés étaient la puissance frigorifique de l'évaporateur, la puissance absorbée du compresseur, le coefficient de performance (COP) et la vitesse de refroidissement. Leurs travaux ont démontré qu'un mélange contenant 50% de propane, 38,3% de butane et 11,7% d'isobutane était le mélange le plus adapté parmi les mélanges d'hydrocarbures étudiés. Avec ce mélange d'hydrocarbures, la température de l'évaporateur atteignait -16°C avec un COP de 3,7 tandis que le frigorigène traditionnel R12 avait un COP de 3,6 pour des températures identiques. Le réfrigérateur fonctionnait de manière satisfaisante avec le frigorigène de remplacement proposé, sans qu'aucun changement ou ajustement ne soit nécessaire. Akash et Said⁷ ont trouvé que, dans un réfrigérateur domestique, la performance du gaz de pétrole liquéfié (GPL) était comparable à celle du R12. Pour des températures de l'évaporateur inférieures à -15°C, le COP était plus élevé quelle que soit la charge. Dans l'ensemble, une charge de 80 g de GPL s'est avérée être la meilleure solution, les puissances frigorifiques pouvant être trois à quatre fois supérieures aux valeurs constatées avec du R12. Tashtoush et al.⁸ ont démontré que le mélange butane/propane/R134a avait d'excellentes performances par rapport au R12 et qu'il n'était pas nécessaire de changer de lubrifiant. De même, Jung et al.⁹ ont avancé qu'à long terme, le mélange propane/isobutène semblait être un bon candidat pour remplacer le R12 et le R134a du point de vue des économies d'énergie, et ne nécessiterait que des modifications minimales sur les réfrigérateurs existants.

Enfin, Bansal et Martin¹⁰ ont étudié la performance des réfrigérateurs domestiques dont les systèmes de refroidissement n'utilisent pas de frigorigènes qui appauvrissent la couche d'ozone. Ils ont étudié les systèmes thermoélectriques et à absorption, en les comparant aux systèmes traditionnels à compression de vapeur. Trois réfrigérateurs de capacités similaires (environ 50 l) ont été comparés en termes d'efficacité énergétique, de bruit et de coût (achat et fonctionnement) pour une utilisation dans l'industrie



hôtelière. Les résultats ont montré que le réfrigérateur à compression de vapeur consommait le moins d'énergie, était le moins coûteux mais était le plus bruyant. Le réfrigérateur à absorption était le moins bruyant des trois mais il était le moins performant sur le plan énergétique ainsi que le plus coûteux du point de vue du coût global. Le réfrigérateur thermoélectrique était le plus cher à l'achat, et presque aussi bruyant que le système à compression de vapeur, mais légèrement plus performant que le réfrigérateur à absorption d'un point de vue énergétique.

Températures des produits alimentaires et utilisation par les consommateurs

Il est inutile de rappeler que les produits alimentaires réfrigérés non protégés se réchauffent lors du trajet jusqu'au domicile. Des résultats d'enquêtes¹¹ ont montré que les consommateurs prenaient en moyenne 43 minutes pour transporter viandes, poissons et produits laitiers du magasin à leur domicile et pour les ranger dans le réfrigérateur. Des sacs et caisses isothermes sont vendus dans de nombreux magasins, mais seul un faible pourcentage de consommateurs (12,7%) les utilise pour transporter les produits périssables. La grande majorité des consommateurs (87,3%) n'utilise aucun moyen de protection pour éviter une hausse de la température des produits alimentaires

pendant le transport. La température de certains échantillons de produits carnés placés dans le coffre d'une voiture a atteint environ 30°C au cours d'un trajet d'une heure, tandis que la température de la plupart des échantillons placés dans une caisse isotherme a baissé pendant le trajet, sauf pour quelques échantillons situés en haut de la caisse, qui sont restés à la température initiale. La température des produits congelés (température initiale de -25°C) placés dans une caisse isotherme ou laissés à température ambiante pendant un trajet d'une heure a augmenté dans les deux cas. Des poulets et des tourtes à la viande placés à température ambiante ont atteint des températures approchant +10°C. La température des produits carnés congelés placés dans une caisse isotherme est restée inférieure à -10°C pendant toute la durée du trajet.

Au cours de cette dernière décennie, au moins 8 études ont été menées sur la température des réfrigérateurs domestiques. Les résultats sont très semblables (Tableau 1) avec des températures moyennes globales comprises entre 4,5 et 6,6°C et des températures maximales comprises entre 11 et 14°C. Ces résultats sont très inquiétants car ils signifient qu'au moins 50% des réfrigérateurs domestiques fonctionnent à des températures supérieures à 4,5°C. Si l'on examine le pourcentage des températures mesurées qui

Tableau 1. Températures mesurées lors de 8 études sur des réfrigérateurs domestiques

Référence	Pays	Nombre d'échantillons	Appareil de mesure	T _{min}	T _{moje}	T _{max}	% >x°C
Flynn et al. ¹⁴	Irlande du Nord	150	Thermomètre (3 niveaux : T, M, B)	0,8	6,5	12,6	71%>5°C
James et Evans ¹⁵	Royaume-Uni	252	Enregistreur de températures (3 niveaux : T, M, B)	0,9	6,0	11,4	23%>7°C
Victoria ¹⁶	France	102	Thermomètre (3 niveaux : T, M, B)			14	70%>6°C
Lezenne Coulander ¹⁷	Pays-Bas	125	Thermomètre				70%>5°C
O'Brien ¹⁸	Nouvelle-Zélande	50	Thermomètre (2 niveaux : T, B)	0	4,9	11	60%>4°C
Sergelidis étal. ¹³	Grèce	136	Thermomètre				50%>9°C
Laguerre et al. ¹²	France	119	Enregistreur de températures (3 niveaux : T, M, B)	0,9	6,6	11,4	80%>5°C
Jackson ¹⁹	Irlande du Nord	30	Enregistreur de températures (1 niveau : M)	-5	4,5	13,0	53%>5°C

sont supérieures à certaines valeurs, alors les résultats sont encore plus inquiétants. D'après la dernière étude française¹², 80% des températures étaient supérieures à 5°C et d'après l'étude grecque¹³, 50% étaient supérieures à 9°C.

D'après les résultats de Jackson¹⁹, seuls 17% des appareils ont fonctionné à moins de 5°C pendant toute la durée de l'expérience, soit une semaine.

Dans l'étude menée par Laguerre et al¹², une analyse bidimensionnelle (tableau croisé) a été appliquée afin de vérifier la relation entre paramètres (caractéristiques du réfrigérateur, conditions d'utilisation et caractéristiques des participants), et la relation entre chacun des paramètres et la température globale. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de relation directe entre les paramètres, particulièrement en termes de réglages de la température et de températures du réfrigérateur. Sept pour cent des réfrigérateurs dont le réglage de la température était élevé avaient tout de même une température basse (< 2,5°C), tandis que 6% des réfrigérateurs dont le réglage de la température était bas avaient une température élevée (>10°C). Une étude des réfrigérateurs situés à proximité de sources de chaleur n'a pas permis de démontrer un impact éventuel sur la température, car l'éventail des températures enregistrées était très large. Cependant, aucun réfrigérateur encastré n'avait une température inférieure à 2,5°C.

L'étude a montré que, statistiquement, il n'y a pas de relation entre les températures mesurées à l'aide d'un thermomètre à un moment donné et celles indiquées par un enregistreur de températures sur une période de 7 jours. De plus en plus de réfrigérateurs sont vendus avec un afficheur de température unique, mais les auteurs affirment que « les températures mesurées à l'aide d'un thermomètre ne représentent pas les vraies conditions de fonctionnement du réfrigérateur ».

Même lorsque les températures des réfrigérateurs domestiques sont élevées, elles ne sont pas en rapport direct avec les intoxications alimentaires. Parry et al²⁰ ont mené une étude auprès de 99 foyers du sud-est du Pays de Galles (Royaume-Uni) en 1997-1998 afin d'établir une corrélation entre des cas d'intoxication alimentaire sporadiques par salmonelle, les habitudes alimentaires, les pratiques de manipulation des produits alimentaires, la possibilité de contamination croisée et la régulation de la température des réfrigérateurs. D'après les analyses univariées, les personnes contaminées avaient

plus de chances que le groupe témoin d'avoir consommé des œufs de poules élevées en plein air, plus de chances d'avoir été en contact avec un poulet entier congelé au cours de la semaine précédente et plus de chances d'avoir manipulé des portions de poulet cru au moins une fois par semaine. Pour les analyses à variables multiples, seules la consommation d'œufs crus et la manipulation d'œufs de poules élevées en plein air étaient des facteurs de risque importants, indépendamment de l'âge des membres de la famille et de la saison. La régulation de la température du réfrigérateur n'était pas un facteur significatif.

Dans l'ensemble, les consommateurs ne semblent pas se soucier des températures de conservation des produits alimentaires. Lors des études menées au Royaume-Uni¹¹, on a demandé aux consommateurs à quelle température ils faisaient fonctionner leur réfrigérateur. Très peu de participants étaient capables de citer une température précise; la plupart a donné des réponses en rapport avec leur manière de régler le thermostat. Beaucoup d'entre eux (32,8%) ajustaient leur réfrigérateur en fonction des conditions climatiques, en réglant à une température plus basse en été. Il est intéressant de noter que même si 38 participants avaient un thermomètre dans leur réfrigérateur, seuls 30 d'entre eux l'utilisaient pour régler la température du réfrigérateur.

Marrakchi et al²¹ ont étudié la perception de l'hygiène domestique par les Françaises. Une enquête téléphonique a été menée auprès de 500 femmes âgées de 18 ans et plus du 22 au 28 novembre 2000. Les femmes étaient sélectionnées selon les techniques habituelles de sondage d'opinion (quotas selon l'âge, la condition sociale, le type de logement, la région, etc.), et les réponses étaient surpondérées pour les mères d'enfants en bas âge. Les résultats étaient très révélateurs. Spontanément, le mot « hygiène » évoquait la propreté (46%), ou le ménage (20%), mais l'hygiène alimentaire et l'hygiène personnelle n'ont été citées que par 3% des femmes. Les trois endroits de la maison les plus cités comme nécessitant une hygiène rigoureuse étaient la cuisine (83%), la salle de bains (78%) et les toilettes (67%). Le réfrigérateur n'a été cité spontanément que par 4% des femmes interrogées, mais 82% de ces mêmes femmes ont estimé qu'il se situait à 9 sur une échelle de 1 à 10 en termes de risque. Les trois facteurs perçus par plus de 30% des femmes comme favorisant le développement des bactéries étaient l'humidité, le manque d'hygiène et la poussière. La mauvaise conservation des produits alimentaires

n'a été citée que par 8% des femmes interrogées, au même niveau de risque que la présence d'animaux domestiques. Les mots *Listeria* (ou listériose), *Salmonella* (ou salmonellose) et staphylocoque n'étaient présents à l'esprit que de 22%, 18% et 13% des femmes respectivement. L'hygiène domestique est de plus en plus évoquée par les médias, à l'occasion d'épidémies. Cependant, en France, de manière générale, les connaissances du grand public en la matière restent limitées et un effort d'information et d'éducation semble indispensable.

La mauvaise connaissance des procédures de manipulation des denrées alimentaires n'est pas limitée à l'Europe. Jay et al.²² ont mené une enquête téléphonique sur la sécurité alimentaire auprès de 1203 foyers australiens sélectionnés de manière aléatoire. Les personnes interrogées étaient toutes âgées de 18 ans et plus, étaient les acheteurs principaux du foyer pour l'alimentation, achetaient de la viande rouge au moins une fois par mois et faisaient régulièrement la cuisine. Parmi les personnes interrogées, beaucoup avaient de nombreuses lacunes dans leurs connaissances en terme de sécurité alimentaire. Quarante pour cent des personnes interrogées décongelaient la viande crue à température ambiante, 85% attendaient que les aliments cuits refroidissent à température ambiante avant de les mettre au réfrigérateur et près de 70% ne savaient pas à quelle température conserver les denrées périssables. Près de 25% des personnes interrogées n'ont pas répondu qu'il était important de se laver les mains avant de manipuler les produits alimentaires afin de réduire les risques de contamination croisée et d'intoxication d'origine alimentaire. Les résultats de cette enquête sont préoccupants en termes de pratiques de manipulation des denrées alimentaires dans les foyers australiens et des connaissances relatives à la sécurité alimentaire dans la population en général.

II. DEVELOPPEMENTS COMMERCIAUX

La plupart des avancées récentes dans le secteur du froid domestique ont été engendrées par le renforcement de la réglementation sur l'énergie. De nombreux pays de l'Union Européenne ont mis en œuvre la Directive 96/57/CE (concernant les exigences en matière de rendement énergétique des réfrigérateurs, congélateurs et appareils combinés électriques à usage ménager) avant fin 1999. La précédente directive (Directive 94/2/CE portant modalités d'application de la Directive 92/75/CEE du Conseil en ce qui concerne l'indication de la consommation

d'énergie des réfrigérateurs, des congélateurs et des appareils combinés électriques) exigeait déjà que les appareils frigorifiques domestiques comportent une étiquette spécifiant leur consommation énergétique. L'impact de cette nouvelle réglementation sera de supprimer la plupart des appareils classés de D à G (classes fortes consommatrices d'énergie), tandis que les appareils classés de A à C (classes faibles consommatrices d'énergie) seront autorisés. Les congélateurs coffres constituent une exception car les appareils classés de A à E seront autorisés.

La consommation électrique des appareils frigorifiques domestiques représente environ 24% de la consommation électrique de l'ensemble des appareils électriques ménagers, soit la même consommation que l'éclairage. Il y a un grand potentiel technique pour améliorer l'efficacité énergétique des appareils en retirant du marché les produits les moins efficaces, en encourageant les consommateurs à privilégier les produits les plus efficaces et en encourageant les fabricants à commercialiser des appareils plus performants. En établissant des normes d'efficacité minimale, la Commission Européenne espère atteindre une réduction de 15% de la consommation électrique totale des appareils frigorifiques par rapport à celle enregistrée dans la Communauté Européenne en 1992.

LG Electronics a développé un compresseur linéaire à piston libre qui fait preuve d'une grande efficacité énergétique et réduit la consommation énergétique des réfrigérateurs ménagers de plus de 20%.

Les avantages annoncés du compresseur linéaire sont les suivants :

- En l'absence d'un vilebrequin, les pertes par frottement et les problèmes d'usure du compresseur peuvent être réduits.
- La robinetterie du compresseur linéaire est plus efficace que celle d'un compresseur à piston en raison de la réduction du transfert de chaleur et de la perte de résistance à l'écoulement.
- Le moteur linéaire est plus efficace que l'actuel moteur à induction.
- La méthode de régulation du compresseur linéaire est simple et efficace.

Les fabricants affirment qu'il est possible d'utiliser un compresseur linéaire à la place d'un compresseur à piston en ne changeant aucun autre composant. Le remplacement du compresseur à piston par un compresseur linéaire permet de réduire de plus de 20% la consommation



énergétique d'un réfrigérateur à deux portes verticales de 0,6 m³. Le niveau sonore du réfrigérateur à moteur linéaire est comparable à celui du réfrigérateur traditionnel.

Marchés de niche

Comme cela a déjà été mentionné, la régulation de la température n'est généralement pas un argument de vente pour les réfrigérateurs domestiques. Cependant, il y a des niches où une bonne régulation de la température peut créer un marché. Le réfrigérateur à kimchi en est un exemple.

Réfrigérateur à kimchi

Le kimchi est le plat d'accompagnement le plus populaire en Corée. C'est un produit fermenté dont la maturation et la conservation dépendent de la production d'acide lactique à basse température. Il est assaisonné avec du piment rouge en poudre, de l'ail, du gingembre, des oignons verts, des radis, etc. Une excellente régulation de la température est nécessaire pour que les consommateurs puissent conserver le kimchi frais pendant 2 à 3 mois. Le kimchi contient 3 à 5% de sel et sa structure se détériore s'il est conservé à une température inférieure à -2°C. Si la température dépasse 1,5°C, la durée de conservation est considérablement réduite.

Aujourd'hui, des réfrigérateurs sont spécialement conçus pour la conservation du kimchi ; ces appareils maintiennent une température moyenne du produit comprise entre -1 et -0,5°C,

avec une température maximale du compartiment de 1,5°C. Actuellement, ces réfrigérateurs coûtent 50% plus cher que les appareils traditionnels et ne sont vendus qu'en Corée. Malgré ces restrictions, en 2003, on estime que le marché va atteindre 1,5 millions d'appareils, soit 1,3 milliards de dollars US. Actuellement, 30% des foyers coréens sont équipés d'un réfrigérateur à kimchi en plus d'un réfrigérateur traditionnel. Les principaux fabricants, LG, Samsung et Mando, proposent des versions premium, coffre et à tiroirs.

/Autres produits spécialisés

Un autre marché en pleine croissance dans le secteur du froid domestique est le marché des produits spécialisés. Dans les pays développés, de plus en plus de personnes ayant une bonne situation cherchent comment dépenser leur argent et les ventes des produits spécialisés de grande marque sont donc en hausse.

Sur le marché du froid domestique, les gadgets les plus répandus sont les refroidisseurs de vin, les machines à glaçons, les sorbetières et les réfrigérateurs à boissons. Le marché n'étant pas sensible au prix, des systèmes frigorifiques alternatifs tels que le système Peltier sont souvent utilisés.

III. PISTES DE REFLEXION POUR L'AVENIR

Les réfrigérateurs et congélateurs domestiques ont très peu changé au cours des quarante dernières années. Ce sont fondamentalement des

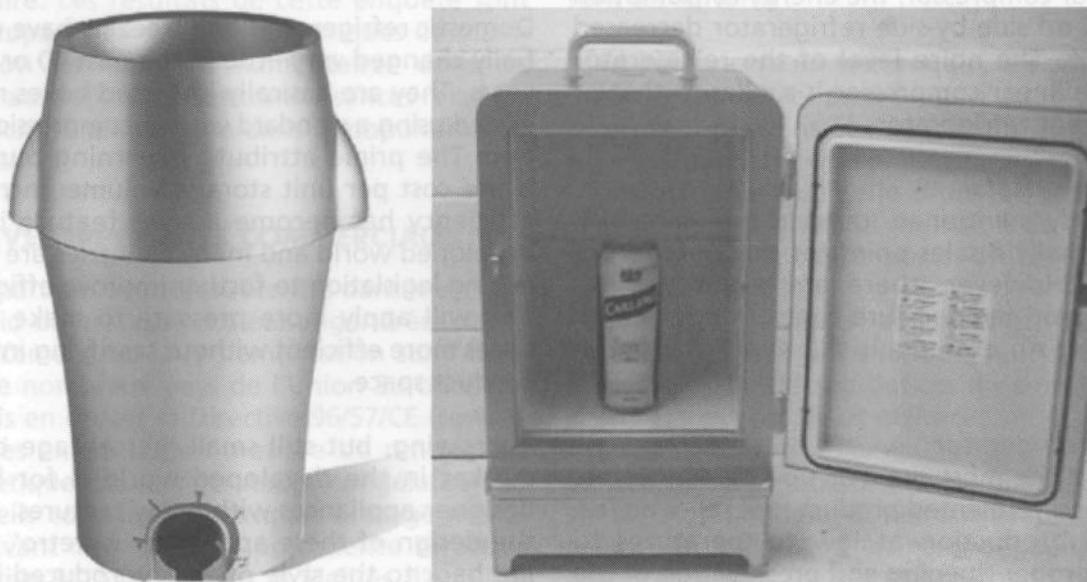


Figure 1. Wine chiller and Peltier refrigerator for drink cans
 Refroidisseur de vin réfrigérateur à boissons de type Peltier

caisses isothermes refroidies par un système à compression de vapeur traditionnel. Le principal critère d'achat est le coût par unité de volume d'entreposage. Une meilleure efficacité énergétique du système est devenue un argument de vente dans les pays développés et de nombreux pays préparent actuellement une réglementation relative à une amélioration plus poussée de l'efficacité énergétique. Ces mesures encourageront la conception d'appareils ménagers plus efficaces sans pour autant affecter l'espace d'entreposage des produits alimentaires.

Dans les pays développés, une part croissante du marché, même si elle demeure limitée, est occupée par les grands appareils de marque ayant de nombreuses fonctions. Ces appareils ont souvent un style « rétro », ressemblant aux réfrigérateurs qui étaient produits aux États-Unis dans les années 1950 et 1960. Ils comportent souvent un distributeur de glaçons et de glace pilée, un refroidisseur de bouteilles et de canettes, des compartiments accessibles directement par une ouverture dans la porte, de nombreux rangements dans la porte et des compartiments fermés pour chaque type de produit alimentaire. Une meilleure régulation de la température des denrées alimentaires n'est pas un argument de vente.

Y aura-t-il des percées technologiques en froid domestique ?

1. Existera-t-il des réfrigérateurs capables de conserver les denrées à des températures optimales garantissant qualité et sécurité ?

Cette technologie existe déjà et de nombreux fabricants d'appareils ménagers sont prêts à produire de tels réfrigérateurs. La demande accrue pour les boissons glacées pourrait servir de catalyseur. Il serait ironique que la demande des consommateurs pour des boissons gazeuses fraîches soit à l'origine de réfrigérateurs capables de maintenir les denrées alimentaires à haut risque à une température adaptée.

2. Le système à compression de vapeur sera-t-il remplacé ?

Bon nombre de systèmes pourraient remplacer le cycle à compression de vapeur traditionnel, parmi lesquels le système à adsorption, le système thermoélectrique Peltier, le refroidissement thermoélectronique, les tubes vortex, le cycle à air, le refroidissement magnétique, le cycle Stirling, le système frigorifique de Malone, le refroidissement acoustique, le tube à pulsion et le cycle à eau. Les réfrigérateurs domestiques fonctionnant grâce à un système à adsorption occupent une petite place sur le marché depuis de nombreuses années. Les systèmes Peltier sont solidement installés sur le marché des appareils portatifs et d'autres produits spécialisés. Cependant, aucun d'eux ne semble prêt à rejoindre le marché de masse.

Parmi tous ces systèmes, le refroidissement thermoélectronique a le plus grand potentiel pour révolutionner le marché du froid domestique. Cool Chips Ltd., leader dans le domaine du développement, affirme que le réfrigérateur thermoélectronique :

- permettra une réduction de la consommation annuelle moyenne de plus de 30% par rapport au meilleur compresseur Embraco 115V ;
- permettra une réduction de 53% du coût de production du système de refroidissement utilisé dans un réfrigérateur/congélateur de 0,4 m³ conforme à la réglementation énergétique US DOE 2001 ;
- sera plus silencieux, plus spacieux et plus léger en raison de l'absence d'un compresseur ;
- nécessitera moins de cycles, grâce à une meilleure régulation de la température.

Cependant, il reste à apporter des preuves fiables qu'une puce thermoélectronique est capable de produire suffisamment de froid. Il va donc peut-être falloir attendre un certain temps avant qu'il y ait une réelle avancée en froid domestique.

