

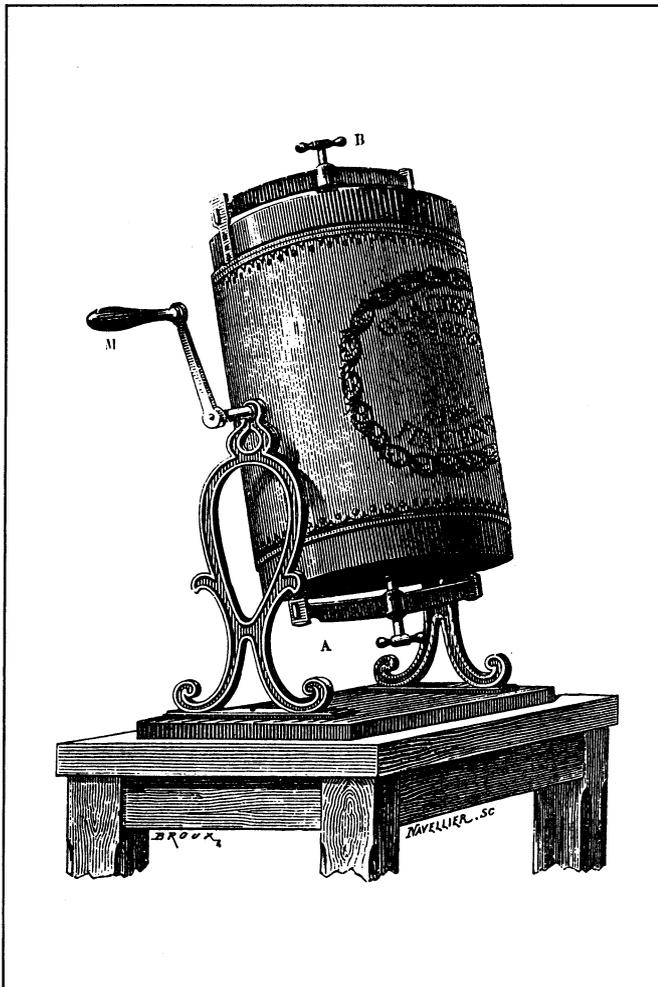
Le froid, auxiliaire déterminant de conservation des aliments*

Claude Laurent

POUR qui habite l'Europe de l'Ouest, en 1985, l'intervention du froid artificiel dans les opérations qui précèdent la consommation des aliments est un phénomène extrêmement banal. Tellement banal qu'on en oublie le caractère récent de ce recours quasi généralisé au froid, ainsi que les bouleversements que ce dernier a autorisés dans l'organisation de nos repas.

Pourtant, bon nombre de ceux d'entre nous qui sont nés avant la Seconde Guerre mondiale — et même un peu après — se souviennent sûrement des prouesses que devaient alors accomplir les ménagères pour qu'en été le beurre ne soit constamment liquéfié, ou que la viande ne soit pas d'abord un festin ou un lieu de ponte pour les mouches, ou encore pour tirer un peu d'eau fraîche d'une gargoulette ou autre alcarazas.

Il n'y a donc pas tellement longtemps que l'usage de la technique frigorifique — déjà assez ancienne — s'est généralisé permettant d'apporter dans l'alimentation non seulement confort, mais également amélioration de l'hygiène et conservation des qualités organoleptiques des produits frais. C'est pourquoi il semble intéressant d'effectuer un survol (très) rapide des moyens employés dans l'histoire de l'humanité, pour tirer parti de ces propriétés de la conservation des aliments à basse température. Ce survol nous permettra de voir que l'aspiration à se servir du froid est fort ancienne, et que des trésors d'astuce ont été



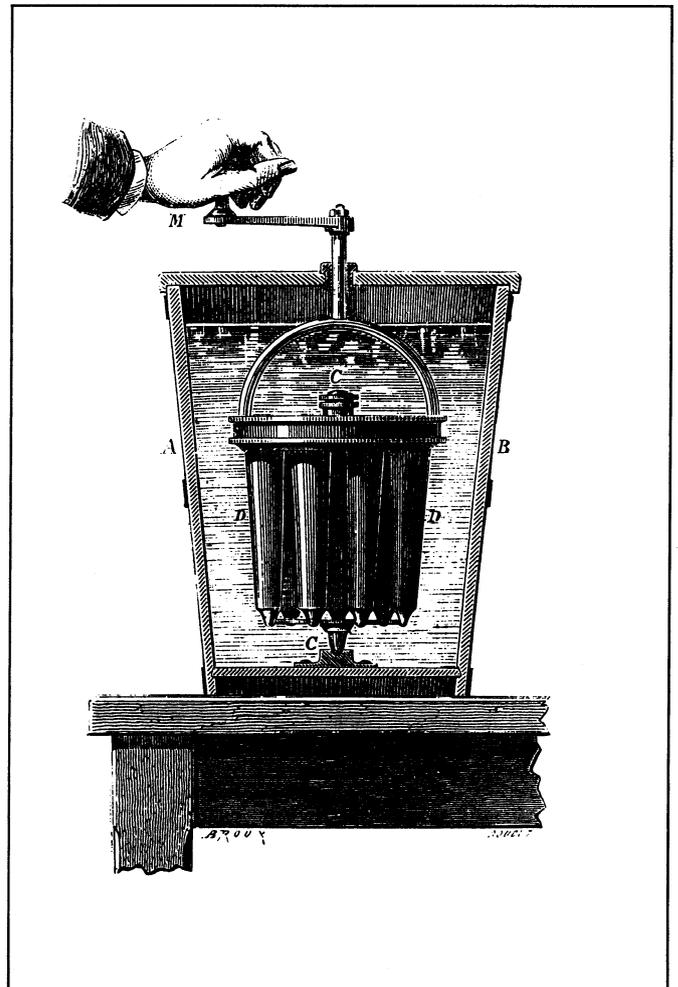
Grande glacière italienne de Toselli en 1875.

déployés pendant plusieurs millénaires pour capter des frigories naturelles, en général à un coût si élevé qu'elles profitaient seulement à quelques privilégiés. Nous verrons aussi qu'à peine cent cinquante ans se sont écoulés depuis qu'ont été mises au point des techniques d'abaissement prolongé de la température assez bon marché pour donner lieu à une exploitation industrielle. Nous verrons, enfin, que le froid artificiel figure parmi les artisans importants des transformations survenues, dans les sociétés développées, au cours de ce siècle et demi et, plus particulièrement, depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale.

I. AVANT L'INDUSTRIALISATION, L'USAGE DES ÉLÉMENTS NATURELS

De l'avis de l'historien Hugo Obermaier (1877-1946), dès le paléolithique inférieur (100 000 ans avant J.-C.), les hommes ont commencé à utiliser le froid existant dans les grottes pour conserver le gibier. Ce faisant, les chasseurs utilisaient sans doute — sans comprendre ces phénomènes — l'abaissement de température produit en partie par l'évaporation de l'eau, en partie par la détente de l'air dans les crevasses communiquant avec l'extérieur¹ (observation dans la région de Santander, Espagne).

* Cet article tire toute son information du remarquable ouvrage de Roger Thévenot : *Essai pour une histoire du froid artificiel dans le monde*, Paris, Institut international du froid, 507 p., à qui l'auteur exprime toute son admiration et sa gratitude pour l'avoir autorisé à reprendre ce qu'il a écrit. La responsabilité des commentaires n'incombe qu'à l'auteur de l'article.



Une glacière de ménage. Type général décrit dans les *Merveilles de l'Industrie* de L. Figuiet.

Beaucoup plus près de nous, vers 3 000 ans avant J.-C., les Chinois auraient su fabriquer des desserts à base de lait, d'eau, de fruits, de miel qui, mélangés à de la neige, peuvent être considérés comme les ancêtres de nos sorbets. Alexandre de Macédoine, Néron auraient été, à leur tour, amateurs de produits de ce type.

On voit donc que, très tôt, l'homme a su se servir de phénomènes naturels pour produire du froid lui permettant de stocker, ou lui procurant des satisfactions gustatives raffinées.

Ces pratiques se sont maintenues et même développées par la suite et, outre l'utilisation instantanée et sur place, on assista même à des transports à longue distance de productions naturelles frigorigènes. On raconte, par exemple, qu'au début du XI^e siècle le sultan du Caire faisait venir de la neige depuis le mont Liban (toujours les sorbets).

Le cas de l'Espagne mérite d'être développé comme exemple. Sénèque (2-66) y signale l'usage de la neige dans la production du froid et évoque le pouvoir isolant de la paille pour la conserver. Au X^e siècle, c'est le Tolédan Ibn al-Bagunis qui mentionne la neige comme « médium » réfrigérant. Au XVII^e siècle, Porras indique l'existence d'un véritable commerce de la neige, particulièrement bien organisé à Madrid, Valladolid, Séville, Tolède, Murcie. Venue soit de Guadarrama (sierra Nevada), soit des Pyrénées, elle était transportée par des bêtes de somme et conservée dans des silos spécialement aménagés (*pozos de nieve*) ; il s'agissait d'excavations de quatre mètres de profondeur, recouvertes d'un toit et isolées par de la paille ou d'autres matériaux. Vu le prix de cette denrée, un gardien, le *nevater* (on

dirait en français, « neigier »), se tenait en permanence auprès de ces dépôts. Au XVIII^e siècle, on institua même un impôt, analogue à notre gabelle sur le sel, la *renta de la nieve*. Enfin, au début du XIX^e siècle, la ville de Madrid (200 000 habitants) comptait six dépôts de neige fournissant environ 600 tonnes par an.

Mais la glace naturelle était, elle aussi, très employée, en particulier dans les pays ou régions dotés par la nature d'une rente climatique. Plusieurs pays ont même réussi à en industrialiser la collecte et le transport.

À la fin du XVIII^e siècle, des fermiers américains récoltaient, en hiver, la glace des rivières et des étangs et la conservaient ensuite dans des *ice-houses*. La ville de New York était approvisionnée par des trains de six à douze péniches de 400 t à 1 000 t, à partir du Maine ou du fleuve Hudson. Elle consommait 12 000 t en 1843, 100 000 t en 1856, un million en 1879. Quoique moins bien située, La Nouvelle-Orléans passait de 350 t en 1827 à 8 000 t en 1847 et à 24 000 t en 1860. Ces énormes quantités donnaient naissance à une mécanisation de la récolte (découpeuses tirées par un cheval, scies circulaires mécaniques) et à la rationalisation du stockage (magasin à double paroi de bois enserrant de la sciure, pouvant contenir jusqu'à 60 000 t de glace, avec des pertes de l'ordre de 10 à 25 % sur deux ans). Cette rationalisation fit même tomber les prix, de 5 à 6 cents la livre, en 1827, à 1 à 3 cents, en 1830. C'est d'ailleurs un citoyen des Etats-Unis, Frederic Tudor, qui lança, en 1806, le commerce international de la glace naturelle, allant jusqu'à desservir Rio de Janeiro à partir de 1834 et la Grande-Bretagne après 1840.

Bénéficiant de conditions naturelles particulièrement favorables, la Norvège supplanta, ensuite, les Etats-Unis sur le marché britannique : le relief et les fjords permettaient, en effet, d'acheminer souvent la glace jusqu'aux bateaux par des glissières en bois.

En France aussi, glace naturelle et neige étaient exploitées plus ou moins rationnellement dès le XVII^e siècle et cela continua également jusqu'à la fin du XIX^e : vers 1882, le département des Hautes-Alpes expédiait environ 25 000 t de glace par an, des bassins spéciaux étaient même aménagés dans le très méridional massif de la Sainte-Baume, dans les Bouches-du-Rhône, et la glace stockée dans des grandes tours en pierre.

Mais, bien entendu, le caractère saisonnier de la récolte, à un moment où le besoin était moins pressant, constituait un grave inconvénient. Aussi, la mise en pratique des découvertes des physiciens et des ingénieurs fut-elle assez spectaculaire, même si l'usage de la glace naturelle s'est poursuivi pendant un temps assez long après la mise en exploitation des procédés d'obtention de froid artificiel du début du XIX^e siècle.

II. L'ÈRE DES DÉCOUVERTES : 1830-1875

Sur le plan de la découverte, l'Écossais William Cullen a été le premier à mettre au point, en 1755, un appareil produisant de la glace, par vaporisation de l'eau sous pression réduite. Son disciple, Joseph Black, fonda ensuite la calorimétrie, préluant aux travaux des grands thermodynamiciens : Sadi Carnot, Rudolf Clausius, James Joule, Julien von Mayer et William Thomson, mieux connu comme Lord Kelvin.

Mais c'est dans le deuxième tiers du XIX^e siècle qu'apparurent les trois familles de machines productrices de froid qui régneront sur l'industrie frigorifique pendant un siècle.

Tout d'abord, en 1834, à l'âge de 68 ans, l'ingénieur américain Jacob Perkins prenait à Londres, où il habitait, un brevet pour une machine à compression d'éther éthylique à cycle

fermé ; après détente dans un évaporateur lui-même plongé dans de la saumure, cet éther produisait de la glace. Mais, comme Londres, à cette époque-là, ne ressentait pas un gros besoin de réfrigération, la machine qui en résulta demeura un prototype. L'idée du compresseur à éther éthylique devait être reprise, sans succès commercial, aux Etats-Unis par Alexander C. Twining (brevet en 1853), et, avec de bons résultats, en Australie par James Harrison (brevet en 1855, suivi de brevets britanniques en 1856 et 1857).

En 1844, le médecin John Gorrie, d'Apalachicola (Floride), « bricolait » pour ses malades une machine dans laquelle le froid résultait d'une brusque détente de l'air préalablement comprimé à deux atmosphères dans un cylindre de vingt centimètres de diamètre. Accumulé dans un réservoir où l'on introduisait de l'eau salée pendant la détente, cette machine produisait une saumure à -7°C , à partir de laquelle on fabriquait de la glace. L'usage principal : il s'agissait de soulager des malades fiévreux à cause du paludisme.

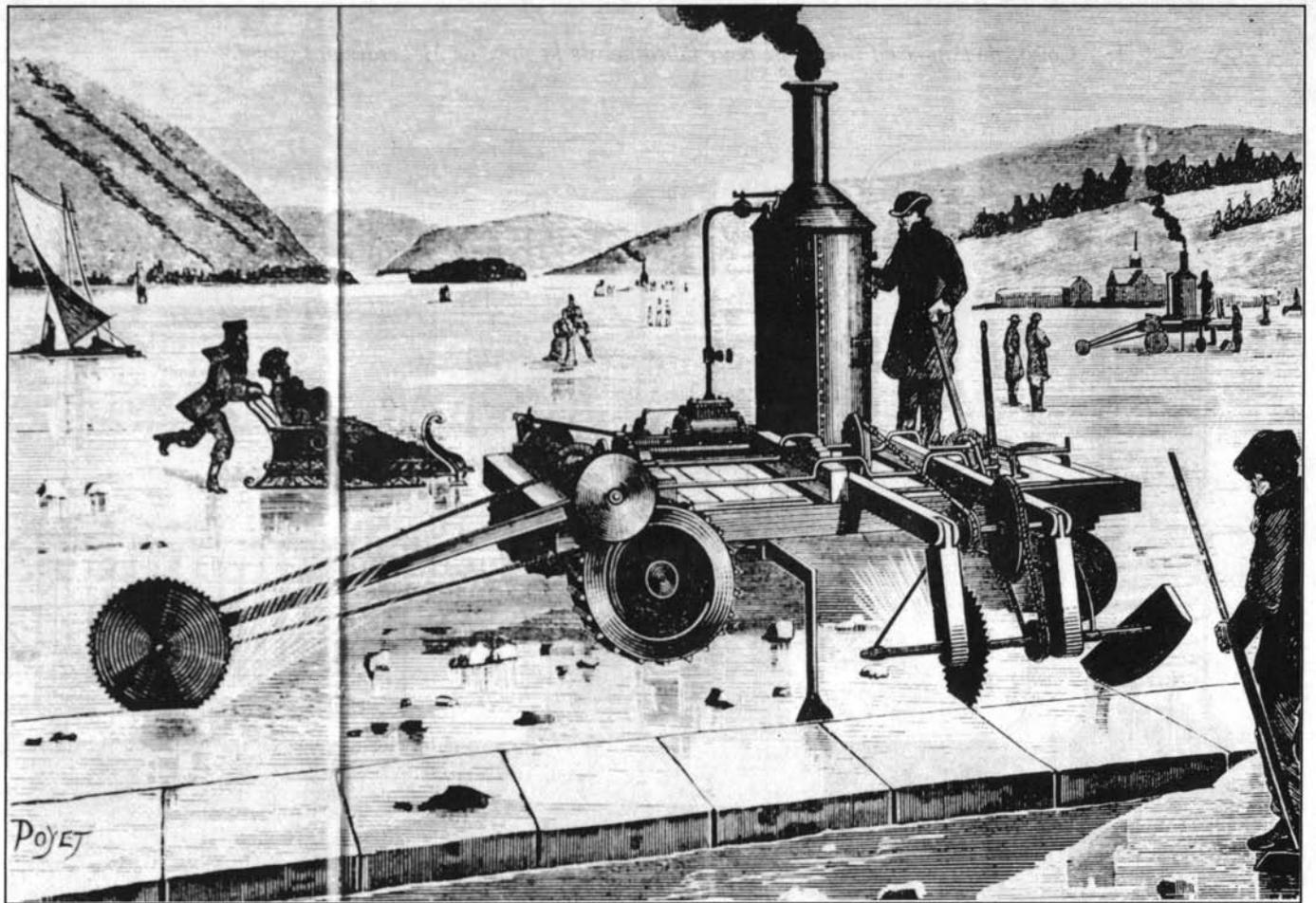
Il est d'ailleurs amusant de relever la discrétion avec laquelle Gorrie fit part de sa découverte. À cette époque, on estimait que rien ne pouvait remplacer la glace naturelle, froid du Bon Dieu. Aussi, pour éviter les critiques « religieuses » de ses concitoyens, Gorrie décrivit sa machine dans le journal local comme un appareil qu'on pourrait peut-être fabriquer. Malgré cette prudence, la réaction vint dans un grand journal new-yorkais, *The Globe*, qui notait peu après : « Il y a un excentrique, là-bas à Apalachicola, qui prétend qu'il peut, avec une machine, faire de la glace aussi bien que Dieu Tout-Puissant. » Et Gorrie n'obtint un brevet aux Etats-Unis qu'en 1851.

Enfin, en 1859, le Français Ferdinand Carré, qui avait déjà breveté divers perfectionnements de la machine à compression d'éther éthylique, prenait un brevet pour une machine à absorption utilisant l'ammoniac comme fluide frigorigène. Ce brevet entraîna la construction de deux types de machines : un appareil domestique, portable, pouvant fabriquer entre 0,5 et 2 kg de glace par opération ; une machine continue, présentant déjà presque toutes les caractéristiques des machines modernes. Elle comprenait un bouilleur (avec rectificateur pour obtenir une vapeur bien sèche), un condenseur, un robinet de détente, un serpentin évaporateur plongé dans une saumure où se congelait l'eau placée dans des mouleaux, un absorbeur où se reformait la solution riche et une pompe pour la renvoyer au bouilleur. Les cinq premiers exemplaires, construits en 1860, pouvaient fabriquer entre 12 et 100 kg de glace par heure.

La machine de Carré connut assez rapidement le succès, et fut même la première à atteindre une importance industrielle généralisée.

Plusieurs constructeurs en proposaient avant 1875, en France bien sûr, mais aussi en Allemagne, en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis où elle franchit le blocus nordiste durant la guerre de Sécession. Probablement faut-il attribuer ces bons résultats à la supériorité de l'ammoniac sur les éthers divers qui servaient de frigorigènes sur les machines à compression de l'époque. Un meilleur rendement est peut-être également en cause car, dans la machine à absorption, l'énergie motrice est directement la vapeur d'eau tandis que les compresseurs de l'époque étaient mus par des machines à vapeur, impliquant une transformation à faible rendement de chaleur en énergie mécanique.

Quant à l'appareil à vapeur d'eau de Cullen, après diverses améliorations restées au stade expérimental, il dut au propre frère de Carré, Edmond, son passage à l'utilisation commerciale en 1866. Le levier de la pompe aspirante servant à faire le vide sous une cloche agitait un mélange d'eau et d'acide sulfurique (ce qui,



d'ailleurs, rapproche le procédé de l'absorption). Comme le mouvement se faisait à bras, ceci permettait de fabriquer des petites machines utilisées dans les ménages, et surtout dans les cafés parisiens, pour frapper les carafes d'eau. Il y eut même un service de distribution à domicile de « carafes frappées ».

III. L'ÈRE DES INNOVATIONS : 1875-1914².

Ainsi, en 1875, les quatre systèmes encore employés aujourd'hui pour produire du froid étaient connus : vaporisation d'eau, compression d'un fluide, détente d'air comprimé, absorption. Les nouveautés apparues depuis sont, de nos jours, employées dans des cas très particuliers.

Pendant les dix années qui suivirent, ils se livrèrent une forte concurrence, la machine à absorption et la machine à air étant sans doute les types les plus au point. A partir de 1885, le système à compression de vapeurs liquéfiables commença à prendre le net avantage qui est devenu éclatant au cours du XX^e siècle.

Mais le phénomène le plus important de la période comprise entre 1875 et 1914 est l'entrée massive du froid industriel dans la sphère de l'agro-alimentaire. Bien entendu, les premières machines ont servi à fabriquer de la glace, notamment en saison chaude. Mais, outre qu'une proportion importante de cette glace servait à protéger des produits alimentaires contre des micro-organismes ou à rafraîchir des boissons, les nouvelles machines permettaient une intervention directe dans la conservation ou la transformation.

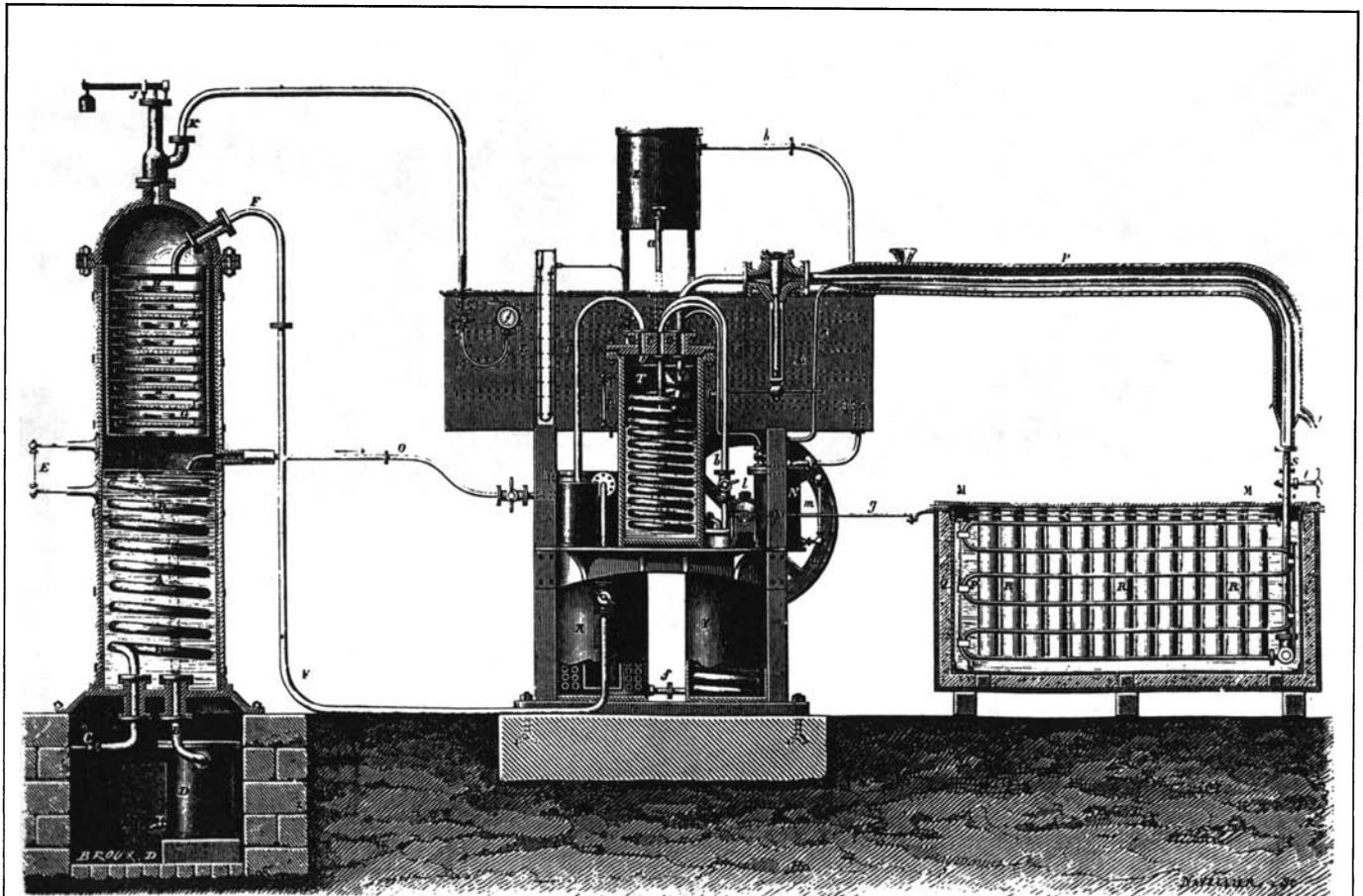
La brasserie a été un des tout premiers domaines où le froid

industriel s'est répandu. L'origine en est dans le fait que plusieurs pays, en tête desquels l'Allemagne, s'étaient mis, depuis le début du XIX^e siècle, à la « fermentation basse ». La fabrication de la bière comporte, en effet, une opération dans laquelle le mélange d'eau et de malt est porté à une température de 80° ; au cours de cette opération, on ajoute le houblon à ce « moût » ; puis on doit refroidir rapidement le moût pour permettre la fermentation. Deux techniques sont possibles : la fermentation haute qui dure quatre à cinq jours, à une température de 15 à 20 °C ; la fermentation basse, aux environs de 8 °C, qui demande huit à dix jours. On voit tout de suite les besoins en froid nettement plus importants de la fermentation basse. De plus, il faut ajouter, dans les deux cas, une fermentation complémentaire, à une température voisine de 0 °C pendant deux à trois mois dans des caves de garde.

Aussi, avec l'expansion de la fermentation basse (sauf en Grande-Bretagne où elle vint plus tard), vit-on croître les besoins des brasseries en froid. Celui-ci fut d'abord obtenu à partir de glace naturelle, employée pour refroidir l'eau circulant dans les tubulures du « baudelot³ », sur lesquelles ruisselle le moût à refroidir. Les précurseurs en matière de froid industriel furent la brasserie Velten de Marseille, qui installa en 1859 un compresseur F. Carré à éther, et une brasserie des environs de Melbourne qui employa, à partir de 1860, un compresseur à éther Harrison.

Mais c'est surtout à l'Allemand Carl von Linde, professeur à Munich, que l'on doit l'expansion du froid en brasserie sous forme de deux types de compresseur à ammoniac. Des brasseries

Découpage de la glace sur l'Hudson en 1883 à l'aide d'une machine à vapeur inventée par C. A. Sager.



LÉGENDE

- A. Chaudière contenant l'ammoniaque liquide.
 B. Serpentin parcouru par la vapeur, pour vaporiser le gaz ammoniac.
 C. Arrivée de la vapeur.
 D. Récipient de vapeur condensée.
 E. Indicateur du niveau de l'eau dans la chaudière.
 FF. Tube débouchant dans la chaudière et y ramenant le liquide saturé reconstitué au sortir du réfrigérant T.
 G. Rectificateur.
 H. Ouverture du rectificateur.
 I. Bolte placée au chevet d'entrée du liquéfacteur.
 J. Soupape de sûreté.
 K. Tuyau amenant le gaz ammoniac dans le liquéfacteur.
 L. Liquéfacteur.
 M. Réfrigérant-congélateur.
 N. Régulateur d'écoulement.
 O. Tube plongeant au fond de la chaudière et y puisant le liquide.
 P. Manchon qui renferme les deux tubes conduisant le gaz ammoniac dans le réfrigérant MM, et ramène le gaz du réfrigérant MM au second réfrigérant T.
 P'. Serpentin du réfrigérant-congélateur MM.
 Q. Enveloppe du réfrigérant-congélateur MM.
 R. Vases cylindriques contenant l'eau à congeler.
 S. Tuyau partant de la partie inférieure du serpentin P' et traversant le manchon P pour amener les vapeurs ammoniacales froides dans le condenseur T.
 T. Réservoir absorbant ou deuxième condenseur muni d'un serpentin à circulation d'eau froide.
 U. Vase plat percé de trous disposés à la partie supérieure du condenseur T.
 V. Arrivée des vapeurs ammoniacales dans le condenseur T.
 X. Cylindre échangeur de température; il renferme deux serpents et un cylindre concentrique d'un plus petit diamètre.
 Y. Cylindre échangeur de température; il communique avec le précédent et contient un seul serpentin baignant dans l'eau froide.
 Z. Réservoir distribuant l'eau froide aux différentes parties de l'appareil.
 a. Tube amenant l'eau froide du réservoir Z au serpentin du réservoir absorbant.
 b. Tube de sortie de cette eau se rendant dans le cylindre Y.
 c. Tube servant à purger d'air le réservoir absorbant.
 d. Tube se rendant dans un vase contenant de l'eau et muni d'un robinet de purge.
 e. Tube ramenant le gaz ammoniac du serpentin contenu dans le réfrigérant MM, dans le second réfrigérant, T.
 f. Tuyau par lequel la pompe refoule la solution ammoniacale dans la chaudière.
 g. Tige d'un excentrique qui communique un mouvement de va-et-vient au châssis qui supporte les vases à congélation, R, R.
 h. Tube de prise d'eau du réservoir Z allant aux vases de congélation, R, R. Cette eau traverse le manchon, L, où elle commence déjà à se refroidir.
 m. Niveau du régulateur d'écoulement.
 n. Manomètre indiquant la tension des vapeurs chaudes

encore célèbres en 1985 s'équipent : Spatenbraü à Munich, Dreher à Trieste (la première à refroidir artificiellement des caves de garde), Carlsberg et Tuborg à Copenhague, Pilsen, Busch à Saint Louis (Missouri). En 1891, la plupart des brasseries américaines sont passées de la glace naturelle au froid artificiel ; en 1904, elles ont au total huit millions de mètres cubes de caves de garde réfrigérées.

Autre illustration de ce démarrage en flèche : autour de 1900-1910, les brasseries possèdent 70 % de la puissance frigorifique installée en Suède, 60 % en Allemagne et en Autriche, 50 % aux Pays-Bas, 40 % en France et au Danemark, 30 % aux États-Unis.

Deuxième à bénéficier du froid artificiel, le secteur de la viande a été le siège d'une véritable épopée. Il ne semble pas exagéré de parler ainsi, car la réfrigération et la congélation de la viande ont été les chevilles ouvrières d'un immense développement des échanges internationaux à longue distance. On peut même aller plus loin, et dire que ces techniques ont apporté une contribution notable — bien que difficile à quantifier — à l'expansion spectaculaire du capitalisme industriel à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle.

Trois pays furent les pionniers de cette épopée. Et d'abord la Grande-Bretagne aidée au tout début par sa colonie, l'Australie. En effet, l'Angleterre victorienne, au début du XIX^e siècle, était en pleine croissance industrielle et démographique⁴. Il s'agissait, pour les industriels et pour l'État, de réussir à nourrir, au plus faible coût possible, ces masses qui constituaient, à un rythme rapide, la population ouvrière, d'autant plus que le souvenir des mauvaises récoltes de la décennie 1840 (les « hungry forties ») leur donnait à craindre que, sans cela, ne se développent grèves et affrontements, ou encore l'immigration vers les États-Unis. Dans le même temps, l'Australie sentait le besoin de diversifier son économie, basée alors sur l'or et la laine, et s'intéressait aux possibilités ouvertes par un élevage important face à une population peu nombreuse. Ceci commença par l'expédition de viandes appertisées dès 1847 ; mais, en 1880, on avait à peine atteint 7 000 tonnes.

C'est alors que le commerçant lainier anglais Thomas S. Mort s'associa, vers 1864, à l'ingénieur français Eugène Nicolle pour étudier la présentation des aliments par le froid ; ils fondèrent, en 1873, à 150 km de Sidney, un atelier de congélation de viande sur lequel Nicolle installa une machine à absorption Carré. En 1873 également, Harrison, l'inventeur des compresseurs cité plus haut, se lança dans l'aventure en affrétant un voilier qui transportait, entre autres choses, 20 t de viande congelée par un mélange de glace et de sel (une fuite de saumure fit échouer cette première tentative).

Aux États-Unis, la dimension continentale du pays posait également des problèmes de durée d'acheminement depuis les lieux de production extensive de bovins vers les zones de la première concentration démographique d'origine industrielle. Le Texan H. P. Howard réalisa ainsi, en 1869, un transport fluvial de bœuf congelé (par un mélange de glace et de sel) jusqu'au port d'Indianola (Texas), d'où la cargaison devait gagner la côte nord-est. La Nouvelle-Orléans fut également une grosse importatrice de viande congelée du Middle West.

Mais le chemin de fer devait, bien entendu, apporter sa contribution à l'acheminement des viandes vers les grandes villes de l'Est. Les troupeaux vivants avaient cheminé à pied dans les vingt premières années du siècle, puis en wagons. Toutefois, très vite, on se mit à abattre sur les lieux d'élevage et à conserver la viande par les procédés antiques de salage et fumaison. Malheureusement, ces opérations ne pouvaient être effectuées sans

dégâts qu'en hiver. Aussi, certains salaisonniers de Chicago, en 1858, se mirent-ils à employer de la glace (naturelle) pour pouvoir travailler en été. Embarrassés par la surface nécessaire au stockage de cette glace, les frères Holden montèrent la première installation frigorifique, en 1873, à Fulton (Texas). Ils furent suivis, en 1877, par Gustavus Swift, de Chicago, qui commença à expédier ses produits en wagons glacés à partir de 1881. De là sont parties les fortunes des abattoirs de Chicago et de Kansas City, et, au début du XX^e siècle, cinq grandes sociétés, commercialisant 57 % de la viande américaine, possédaient 90 % des wagons réfrigérant à viande de l'Union.

Les Américains ne restèrent d'ailleurs pas en autarcie. Dès 1873, ils commencèrent à expédier de la viande réfrigérée vers Londres (avec de la glace naturelle). En 1885, ce trafic concernait 30 000 t par an de viande « sous glace » et suscitait l'intérêt des frères Bell, bouchers en gros à Glasgow, envers la machine frigorifique à air pour améliorer les conditions de ce transport (en 1891, le froid mécanique avait remplacé totalement la glace naturelle).

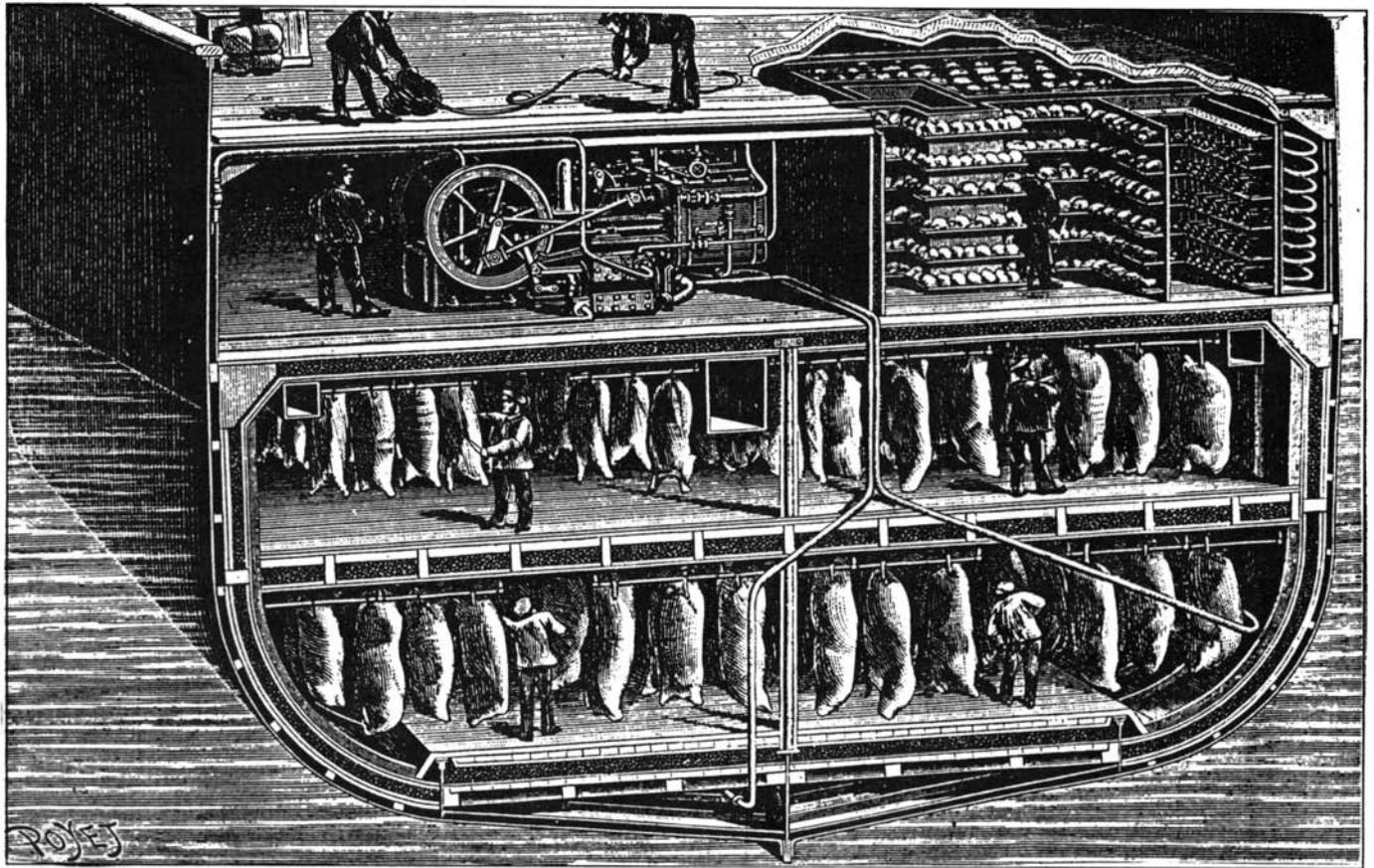
La France, enfin, innovait grâce à Charles Tellier. Il ne croyait pas à la congélation, estimant qu'en réfrigérant au voisinage de 0 °C, dans un air sec (moins de 70 %), on entravait bien le développement des micro-organismes, grâce à la dessiccation superficielle provoquée. Nanti de cette technique, qui permettait de conserver la viande pendant cent jours au prix d'une perte de masse d'environ 20 %, Tellier lança la « Course » des longs transports intercontinentaux sous froid mécanique : il s'agissait d'assurer la conservation de la viande sur des navires effectuant de longues traversées comportant le franchissement de l'équateur. La première tentative de Tellier, en 1868, sur la relation Montevideo-Londres, fut un échec par suite d'une panne de machine. Mais il réussit, en 1876-1877, à transporter 10 bœufs, 12 moutons et 2 veaux, sur un trois-mâts muni d'une machine à vapeur de 300 chevaux sur laquelle il avait monté trois machines à éther méthylique. Le voyage dura cent cinq jours de Rouen à Buenos Aires, et la viande arriva en bon état avec une déshydratation de 25 %. L'année d'après, F. Carré réussit le premier transport intercontinental de viande congelée (150 t de bœuf à -27°, -30°), inaugurant les liaisons régulières entre l'Europe et l'Argentine.

Cependant, les armateurs rechignaient à embarquer des produits volatils qui risquaient de provoquer des incendies. Aussi est-ce grâce à la mise au point de la machine à air Bell-Coleman que purent s'établir durablement les liaisons à très longue distance : en 1880 parvenait à Londres le premier chargement (34 t de bœuf et mouton congelés) de viande australienne ; ensuite, en 1882, un voilier débarquait le premier chargement (80 t) d'une série qui dure encore, celle du mouton congelé néo-zélandais bien connu (en mal) des éleveurs français.

Dans une troisième phase, le commerce international de la viande frigorifiée était organisé, d'une façon extrêmement efficace, par les Britanniques.

Un premier élément fut la construction d'abattoirs avec ateliers de congélation dans les pays expéditeurs : Nouvelle-Zélande, Australie, Argentine, puis Uruguay, Chili, Venezuela. En 1910, l'équipement donnait totale satisfaction. Les Australiens profitèrent même de l'aubaine pour se débarrasser du fléau national d'alors, les lapins (30 000 à 40 000 t par an expédiés congelés entre 1907 et 1915), imités d'ailleurs par les Néo-Zélandais.

En second lieu, la flotte de navires frigorifiques britanniques est passée de quelques unités en 1882 à 230 unités en 1913. À ces navires s'ajoutaient les bateaux des autres pays desservant



la Grande-Bretagne. Dans le même temps, la capacité unitaire des cales s'accroissait : 5 000 m³ en fin de période, et l'on profitait des progrès de la machine à vapeur, les navires mettant une quarantaine de jours d'Australie en Grande-Bretagne (environ 24 000 km, contre 12 000 km de Rouen à Buenos Aires).

Enfin, tout naturellement, l'essentiel des entrepôts frigorifiques de réception se trouva édifié en Grande-Bretagne ; le premier, aux Docks de Londres, étant équipé d'une machine frigorifique à air, comme les navires. Cette prépondérance des arrivages permettait à la Grande-Bretagne d'être à la pointe du progrès en matière de décongélation. Le plus apprécié était le système Nelson : dans une chambre munie d'un sol à caillebotis, sous lequel circulait de l'eau chaude, et de murs portant des serpents froids, à détente d'ammoniac, la température est élevée progressivement, en trois jours, de 3 °C à 14 °C dans un air de plus en plus sec.

Le résultat final de cette vaste entreprise fut que, de 1888 à 1913, la consommation annuelle de viande par habitant passa de 30 kg à 60 kg⁵, tandis que la population s'accroissait de 30 %. Là-dessus, en moyenne, 22 % était de la viande frigorifiée importée (40 % dans l'armée).

Et pendant ce temps-là, que faisait-on ailleurs ?

Tout simplement, on suivait... en fonction des données sociogéographiques du pays. Seule, la France s'était lancée dans les échanges à longue distance, et encore très peu pour son propre commerce. Et, sur le territoire, l'abattoir de la Villette, dû à un décret de Napoléon I^{er} (1810) et terminé en 1818, ne fut équipé d'un frigorifique qu'en 1891 ; encore celui-ci ne pouvait-il être utilisé qu'en cas de conflit.

L'Allemagne équipait assez vite ses abattoirs municipaux, installés sur les lieux de consommation, non sans apporter des améliorations comme les refroidisseurs d'air à saumure équipés de disques de Linde (Wiesbaden, 1883). L'Autriche-Hongrie

suivait l'exemple, ainsi que les Pays-Bas et la Suisse.

Glace, bière et viande ont donc constitué les fondations de l'édifice « froid artificiel », non seulement dans l'agro-alimentaire, mais encore vis-à-vis de tous les usages. C'est pourquoi le caractère épique de ce développement éclipse ce qui s'est fait dans d'autres domaines d'application.

Pour en rester à notre propos, ceci n'a pas empêché des réalisations spectaculaires pour la plupart des produits périssables : fruits et légumes, produits laitiers, œufs et volailles, poissons.

Les Etats-Unis ont été les premiers à pratiquer sur une grande échelle la conservation des pommes et des poires en chambre froide ; les installations mécaniques se développent après 1870. Il en fut de même pour le transport, ce qui permit notamment à la Californie de décupler sa surface en vergers entre 1880 et 1900. Les premiers transports maritimes de fruits partirent de l'Afrique du Sud (1884), bientôt suivie par l'Australie, tandis que les importations européennes de bananes commençaient à devenir régulières après 1892, en provenance essentielle des îles Canaries.

Sur les produits laitiers, ce sont naturellement les crèmes glacées qui donnèrent le ton, et toujours à partir des Etats-Unis. On raconte même que l'invention de l'« ice cream sundae » est due à un petit fabricant du Wisconsin qui, dans les années 1890, eut l'idée de pallier ses ruptures de stock dominicales en réduisant la part de crème au profit d'un nappage de chocolat ou de sirop de fruits. Ayant été critiqué par un rigoriste à propos d'un usage si profane du « jour du seigneur », il modifia l'orthographe de « Sunday » en celle qui a encore cours de nos jours.

Pour le lait à consommer liquide, les avantages de la pasteu-

Conservation de la viande par le froid grâce aux appareils Pictet en 1892. Extrait de la Science Française.

risation ont peut-être retardé l'usage du froid. On trouvait tout de même, dès 1890, des couplages pasteurisation-réfrigération en Grande-Bretagne. Mais il fallut attendre 1905 pour qu'aux Etats-Unis un nombre significatif de laiteries s'équipent en froid artificiel.

Pour le beurre, le Canada fut le premier pays à s'occuper sérieusement de la réfrigération, notamment en vue des exportations sur la Grande-Bretagne. La Russie, de son côté, bâtit le développement de son industrie du froid sur le transport, par « wagons-glacières », du beurre sibérien vers les ports de la Baltique.

Enfin, pour l'intervention du froid dans la maturation des fromages, les précurseurs furent le cheddar aux Etats-Unis (1843-1894), le roquefort en France (1881), le gorgonzola en Italie (1857).

En ce qui concerne les œufs, il faut se rappeler que les progrès en génétique, en physiologie, qui ont permis de faire disparaître la saisonnalité de la ponte, datent d'après 1945. Il était donc très important de conserver des œufs en coquille pendant de longs mois⁶, sans compter l'importance des échanges internationaux. C'est pourquoi, dès leur mise en place (1885-1890), les premiers entrepôts frigorifiques accueillirent des œufs. Quant aux volailles, l'essentiel de la consommation se faisait alors à proximité des lieux de production. Par conséquent, l'usage du froid resta très limité dans quelques pays, malgré tout exportateurs : Hongrie, Etats-Unis, Canada, Russie.

La congélation du poisson, sitôt qu'il n'est pas pêché à proximité des côtes, nous semble aujourd'hui indispensable. Pourtant, le froid artificiel est intervenu assez tard dans la pêche. Cela est certainement dû à ce que la plus grande partie du poisson était pêchée dans des mers froides et à proximité de glaces naturelles et de neiges abondantes, mais n'empêcha pas quelques expériences notamment aux Etats-Unis et en Russie. Pourtant, au début de notre siècle, la puissance frigorifique installée correspondante était encore négligeable (0,3 % de l'ensemble des Etats-Unis, en 1911).

C'est également presque à l'état de prototypes que les machines frigorifiques s'installent dans les industries alimentaires (brasserie exclue) : machine Tellier à éther méthylique à la Chocolaterie Menier de Noisiel (Seine-et-Marne) en 1868 ; margarinerie en Allemagne, aux Pays-Bas (1882), en Grande-Bretagne (1884), vieillissement artificiel des vins en Italie (vers 1900), « dégorgeant » du champagne ; boissons gazeuses, conservation du cidre doux et des jus de fruits, aux Etats-Unis principalement ; retard à la fermentation des pâtes à pain.

On ne saurait terminer sur cette période sans signaler le premier Congrès international du froid, qui eut lieu, en octobre 1908, à la Sorbonne. Réunissant 3 000 participants venus de 40 pays, il fut notamment à la base de la création d'associations nationales du froid, véritables creusets en matières de recherches et d'ingénierie. Leur action et celle de l'Association internationale du froid⁷ ont certainement été pour beaucoup dans l'essor qui marqua les années allant de la fin de la Première Guerre mondiale à la fin de la seconde.

IV. L'ESSOR : 1918-1945

Il ne fait aucun doute que la guerre de 1914-1918 n'a pas freiné le développement des installations frigorifiques. Au contraire, les belligérants ont dû accroître leurs importations de viande, d'où leur parc de wagons et d'entrepôts frigorifiques. Néanmoins, les deux décennies qui suivirent ont vu l'extension

du froid artificiel à l'ensemble du monde. Il serait compliqué (et sans doute fastidieux) de décrire ce phénomène. Fort heureusement, il a été concomitant à d'autres phénomènes, plus généraux : l'installation du froid artificiel dans les ménages, son extension dans le commerce, ses progrès dans les transports.

Sur le plan technique, pour commencer, cette période fut celle de l'hégémonie du compresseur. Sans doute, les trois autres procédés bénéficièrent-ils de perfectionnements, sans doute y eut-il de nouvelles découvertes (refroidissement thermoélectrique, effet vortex⁸) mais la prépondérance du système à compression s'affirma ; il bénéficia de deux innovations importantes : les compresseurs rotatifs, les nouveaux fluides frigorigènes bien connus sous le nom de marque de « fréons ». Par ailleurs, c'est entre 1914 et 1920 que s'assura la suprématie du moteur électrique comme moyen d'entraînement du compresseur.

Les deux innovations citées se sont, d'ailleurs, confortées mutuellement. Le problème à résoudre était d'obtenir un appareil exigeant une faible puissance, utilisant un fluide ininflammable, non nocif, d'odeur non irritante. Au sortir de la guerre, l'ammoniac dominait, suivi par le dioxyde de carbone (CO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le chlorure de méthyle (CH₃Cl).

Après avoir étudié soigneusement les propriétés thermodynamiques de l'éthylène (C₂H₄), de l'éthane (C₂H₆), du propane (C₃H₈) et de l'isobutane (C₄H₁₀), les frigoristes se fixèrent sur des hydrocarbures halogénés (c'est-à-dire contenant du fluor et du chlore, parfois du brome) qui reçurent le nom de marque de « fréons » évoqués ci-dessus. Au laboratoire de la Société Frigidaire (Dayton, Ohio), Midgley, Henne et Mac Nary furent les premiers, en 1930, à mettre en évidence l'aptitude de ces composés organiques comme frigorigènes répondant aux exigences ci-dessus. Les fréons contribuèrent donc à la miniaturisation des compresseurs environ cinquante à soixante ans après l'entrée de ces derniers dans les grandes installations. Ils ne furent pas les seuls agents de ce passage important : vers 1906 fut trouvée une garniture rotative permettant de réduire la puissance consommée antérieurement par le presse-étoupe ; entre 1910 et 1930, les Américains mirent au point, petit à petit, les éléments d'un groupe hermétique automatisé (thermostat, robinet de détente thermostatique). Le résultat de ces travaux fut qu'au début de la décennie 1930 existaient, aux Etats-Unis, plus de soixante fabricants de petites machines utilisables pour le froid ménager et commercial, tandis qu'après 1940 les moteurs devenaient plus fiables et que les matériels s'allégeaient.

Le réfrigérateur ménager mécanique avait été lancé par Kelvinator, en 1918, aux Etats-Unis. Bien entendu, les ménages n'avaient pas attendu son invention pour avoir le froid à domicile. La première armoire réfrigérante domestique utilisant de la glace avait été fabriquée en 1803, contribuant pour beaucoup au commerce de la glace, naturelle d'abord, artificielle ensuite : entre 1880 et 1914, les consommations de Chicago et de Philadelphie avaient été multipliées par cinq, celle de La Nouvelle-Orléans par treize.

Mais ces glacières étaient souvent insuffisamment isolées, ce qui faisait bien l'affaire des fabricants de glace. Aussi, l'arrivée des réfrigérateurs mécaniques fut-elle particulièrement bien accueillie par les ménagères des Etats-Unis, même si l'on y fabriqua des glacières (mieux isolées) jusqu'en 1953. En 1925, pour 26 millions de foyers, on dénombrait 75 000 réfrigérateurs mécaniques, en 1930, il y en avait 850 000, 7,2 millions en 1935 et, en 1937, 49 % des foyers étaient équipés. Ceci se passait durant la grande dépression, et certains l'expliquent par un déplacement de l'épargne de la Bourse vers l'équipement de la maison. En tout cas, cette expansion s'est faite dans un climat de

forte concurrence entre les constructeurs, comme en témoigne l'évolution des prix moyens : 600 \$ en 1920, 275 \$ en 1930, 155 \$ en 1940.

Cette évolution spectaculaire n'a pas eu lieu en Europe : en 1930, on comptait entre 60 000 et 100 000 appareils en Grande-Bretagne, 30 000 en Allemagne, 17 000 en Suède ; en France, seulement 1 % des foyers étaient équipés à la veille de la seconde guerre.

Un deuxième phénomène mérite d'être signalé à propos des Etats-Unis : les « locker plants ». En effet, les agriculteurs, dont beaucoup n'avaient pas l'électricité, appréciaient de pouvoir conserver leurs aliments sous forme congelée notamment ceux issus en grande quantité de leurs propres exploitations. Ceci donna l'idée à des industriels laitiers ou à des fabricants de glace de construire, en milieu rural, de vastes installations collectives à casiers congélateurs, de 150 à 175 litres, maintenus à -18°C , -20°C , où les agriculteurs venaient déposer ce qu'ils souhaitaient conserver longtemps. En 1959 (année du maximum), on comptait 12 000 « locker plants », réunissant 6 millions de casiers.

Il est paradoxalement plus difficile de trouver des statistiques sur l'expansion du froid dans le secteur commercial. On sait simplement, toujours pour les Etats-Unis, que les hôtels des grandes villes furent parmi les premiers à s'équiper (avant 1914). En 1926, l'hôtel Stevens de Chicago disposait par exemple de 1,5 million de frigories par heure. De même, de nombreux restaurateurs s'équipèrent entre les deux guerres, un peu imités par des collègues européens. En revanche, dans le commerce de détail, la conservation des denrées alimentaires périssables resta fidèle à la glacière pendant de nombreuses années. Pour tenter de vaincre cette réticence (probablement due à de sains raisonnements de gestionnaires), divers techniciens réalisèrent, dans une douzaine de villes, des systèmes collectifs d'alimentation en froid par « pipe-lines » à partir de centrales frigorifiques.

Voici donc les Américains, largement en avance, équipés sur toute la chaîne. Qu'en était-il des produits ?

Tout d'abord, les techniques du froid ont été étendues dans les domaines où elles étaient balbutiantes avant la guerre. Sur les fruits et légumes, l'Afrique du Sud, l'Italie et la Grande-Bretagne se sont illustrées. La première a développé les installations pour l'exportation par mer, sous l'impulsion du « Perishable Products Export Control Board ». Pour pouvoir conserver fruits de zones tempérées et agrumes, on installa au Cap une station de prérefrigération en 1926, comportant au début 28 chambres allongées ou « tunnels ».

Une station spécialisée en agrumes suivit à Durban en 1929, puis deux autres à Port Elizabeth et à East London. Exportatrice par voie terrestre, l'Italie s'intéressa aux gares frigorifiques dont celle de Vérone (1930), en forme de rotonde de 90 mètres de diamètre, demeura pendant plusieurs décennies la plus grande du continent. Bien entendu, l'équipement des wagons fut également étudié avec soin, permettant au pays d'exporter (80 000 t de fruits et légumes réfrigérés à la veille de la guerre). Quant à la Grande-Bretagne, il lui appartenait d'ouvrir la voie à « l'atmosphère contrôlée » réalisée en modifiant les teneurs en gaz carbonique et oxygène de l'air, en fonction des paramètres spécifiques à chaque espèce. Les précurseurs avaient été le Français Jacques Berard (1821) et l'Italien Michelangelo Bonelli (1897) ; mais c'est en 1929 que fonctionna la première installation sur des pommes, près de Canterbury, à la suite des travaux systématiques de F. Kidd et C. West.

Hors ces trois pays, on retrouve les Etats-Unis, où furent perfectionnés les procédés de prérefrigération : immersion dans (ou aspersion par) l'eau glacée (*hydro-cooling*) en 1921, puis,

beaucoup plus modestement la France (Saint-Rambert-d'Albon, 1925 ; Avignon, 1936), les Pays-Bas (marché-gare d'Amsterdam, 1932), la Suisse, l'Allemagne et l'U.R.S.S.

La congélation du poisson fut la deuxième grande affaire de cette période. Avant 1914, on utilisait déjà un procédé de refroidissement sur des étagères constituées de tubes refroidis (*sharp freezing*). Un progrès marquant, dû au Danois Ottesen (1912), consista à immerger le poisson dans de la saumure, ce qui accroît la vitesse de congélation. Le procédé fut perfectionné par le Russe Zarotschenzeff (pulvérisation de la saumure pour accroître encore les échanges thermiques).

La Scandinavie fut la région du globe où l'on trouva le plus d'adeptes de cette « ottesenisation », mais on la trouvait aussi en Amérique du Nord, en U.R.S.S., un peu dans les pays d'Europe de l'Ouest, et même au Japon. La congélation du poisson par la saumure était employée aussi bien à bord des navires que dans les installations à terre, et de nombreux ingénieurs introduisirent des variantes.

Dans le domaine du lait et des produits laitiers, l'innovation principale fut le démarrage, en fin de période, aux Etats-Unis, du refroidissement en vrac à la ferme (1938-1940). Du côté de la préparation du lait à consommer liquide, les procédés de refroidissement après pasteurisation se répandent, à partir d'une grande diversité de techniques.

En second lieu, dans les secteurs pionniers, l'expansion se poursuivit, avec quelques améliorations techniques.

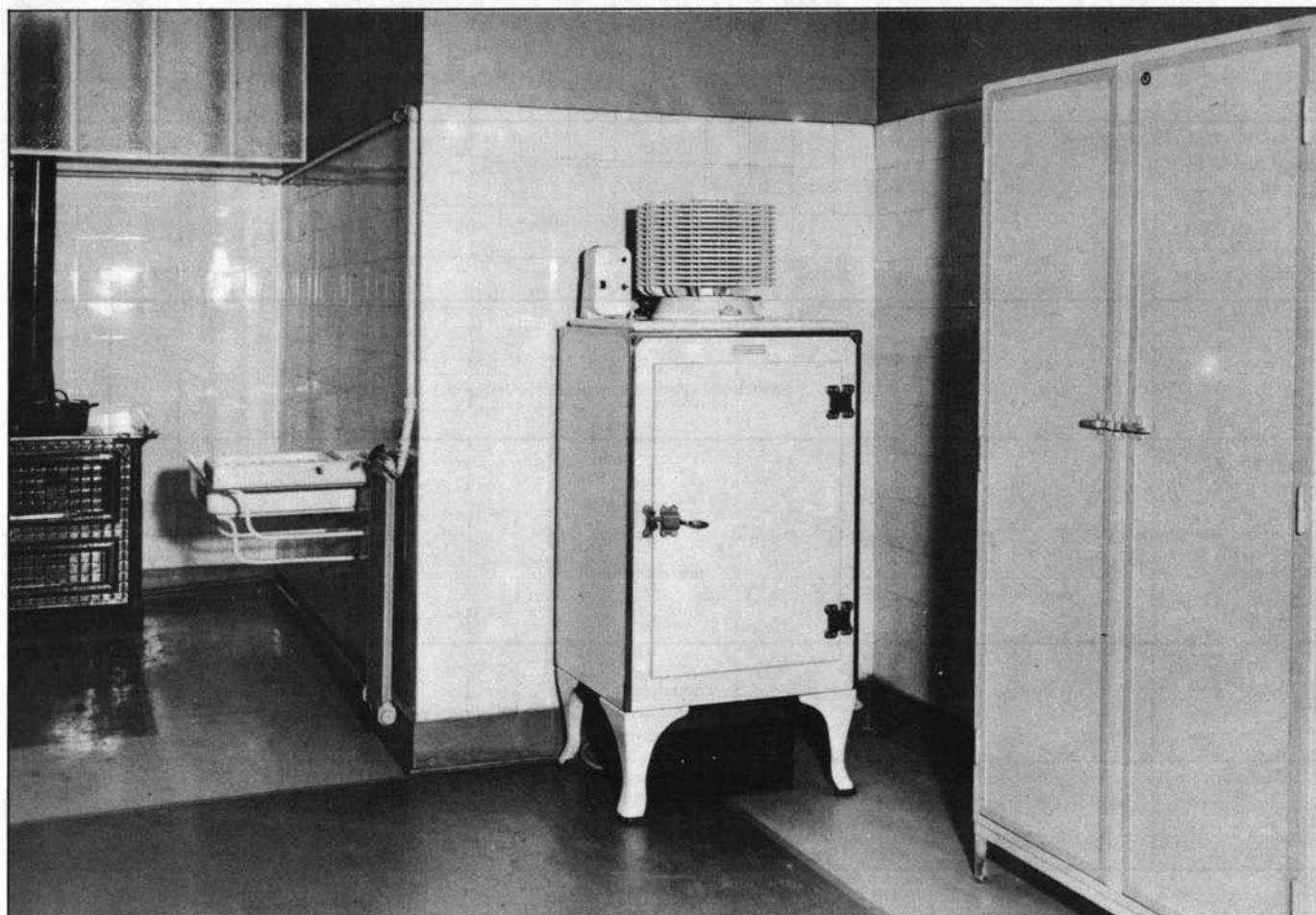
La demande de transport de viande continuant à se développer, les chercheurs travaillaient sur la décongélation après réception, tandis que, peu à peu, la viande réfrigérée se substituait en partie à la viande congelée (50 % des tonnages importés par la Grande-Bretagne en 1928). L'avantage est de réclamer moins d'énergie puisqu'on maintient les cales à seulement $-1/-2^{\circ}\text{C}$. L'inconvénient est le risque de redémarrage de l'activité microbienne, notamment dans les traversées de longue durée. Le bœuf réfrigéré est plus apprécié du consommateur : en 1931, à Londres, le bœuf réfrigéré d'Argentine se vendait 50 % plus cher que le bœuf congelé d'Australie ou de Nouvelle-Zélande. Par une hygiène rigoureuse des abattoirs, par l'addition de 10 % de gaz carbonique à l'atmosphère des cales, les Australiens relevèrent le défi et réussirent l'expédition de bœuf réfrigéré en Angleterre.

En brasserie, le « boudelot » ne resta pas la technique quasi unique de refroidissement du moût, concurrencé par des refroidisseurs fermés à double tube ou à plaques. Vers 1935, le refroidissement des caves de garde vit apparaître la circulation forcée de l'air.

Enfin, quelques nouveautés apparurent aussi dans les autres domaines : congélation de la pulpe d'œuf (Etats-Unis, France, Italie et même Chine), *soda fountains* où l'on vend des boissons non alcoolisées à base de lait, ou carbonatées aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne ; retard à la fermentation des pâtes en boulangerie. La fabrication industrielle des crèmes glacées se développe rapidement aux Etats-Unis ; en Europe, c'est la Grande-Bretagne qui est au premier rang.

V. L'ACHÈVEMENT DE LA CHAÎNE DU FROID APRÈS 1947

On trouve encore, de nos jours, des machines de production du froid utilisant chacun des quatre systèmes connus en 1875. Toutefois, dans l'agro-alimentaire, la domination de la compression de fluides (fréons avant tout) est presque absolue. Depuis la guerre, à part le compresseur à vis, perfectionnement



d'une technique ancienne, aucune nouveauté technique ne s'est vraiment répandue.

En ce qui concerne les équipements frigorifiques, les quatre dernières décennies ont vu un approfondissement dans les pays déjà bien pourvus et un démarrage dans les pays nouveaux venus au froid. A ce sujet, on doit relever le très faible taux d'équipement des pays pauvres, peu ou pas industrialisés, dont beaucoup sont pourtant situés sous des latitudes telles qu'ils en tireraient de nombreux avantages, en agro-alimentaire comme dans les autres usages.

Approfondissement et rattrapage ont partout touché tous les éléments de la chaîne du froid, pour toutes les catégories de produits alimentaires. Nous illustrerons ceci, pour simplifier, par un tableau de l'évolution du taux d'équipement des ménages (vu l'inégalité des statistiques disponibles, nous avons donné des indications sur un autre paramètre quand le taux n'était pas disponible).

Pour en venir à l'agro-alimentaire proprement dit, cette dernière période a été celle de l'explosion de la consommation d'aliments surgelés.

Le mouvement a encore été impulsé par les Etats-Unis. C'est l'Américain Clarence Birdseye qui lança l'industrie et le commerce du *quick freezing*, en créant sa première compagnie en 1924. En 1945, le procédé était sorti de l'enfance. La surgélation, qui en dérive, consiste à atteindre des températures encore plus basses (passant de -20°C à -40°C). C'est d'abord la préparation, par Maxson, de repas complets pour les passagers des avions (4 000 t en 1966), puis pour les spectateurs de la télévision : les « TV dinners » connurent un boom à partir de 1954 et, en 1960, on en préparait 215 millions de plateaux ; en

1975, ce chiffre est compris entre 400 et 450 millions, équivalant à 300 000 t de nourriture⁹. Dans les années 50, les produits de boulangerie prennent une part croissante dans les surgelés américains. Pour l'ensemble, on est passé de 225 000 t en 1941 à 500 000 t en 1946 et 8 millions de tonnes en 1975 ; en valeur, le taux de croissance est 3,6 fois plus fort que le taux de croissance du produit intérieur brut entre 1950 et 1960, et 2,5 fois entre 1960 et 1970.

Le mouvement est imité par les pays européens, sans toutefois atteindre la même ampleur, comme en témoignent les quelques données qui suivent sur la consommation annuelle de surgelé par capital, dans les pays les plus gros consommateurs autour de 1975 :

- Etats-Unis : 38 kg,
- Suède : 17 kg,
- Norvège, Danemark : 10 kg.

Viennent ensuite (liste non exhaustive) Australie et Grande-Bretagne ; Belgique ; Suisse et Pays-Bas ; Nouvelle-Zélande.

En France, la première vente au détail d'aliments surgelés a eu lieu en 1943 ; en 1947 on en vend 2 000 t contre 275 000 t en 1977, environ 600 000 t en 1983.

Le Japon, aussi, a eu une croissance rapide, et on y consommait 350 000 t de surgelés en 1975. Dans les pays socialistes, ce type de production occupe un volume significatif en Pologne et en Hongrie, en grande partie en vue de l'exportation (fruits rouges, par exemple).

Dans la plupart des pays cités, les surgelés jouent un rôle croissant dans la consommation collective (restauration

Réfrigérateur vers 1920.

L'achèvement de la chaîne du froid après 1945

	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1977
Le grand bond U.R.S.S. Japon Canada Australie Nlle-Zélande			< 2 %	85 %			? 98 %
			60 %	non déterminé			97 %
Les pionniers Royaume-Uni R.F.A.			10 %	non déterminé			≈ 90 %
			(mais leader de la construction au début des années 1960)				
France	3 %		18 %				90 %
Essor tardif mais rapide Espagne				150 000 appareils			1,1 million d'appareils
			1,2 %	non déterminé	27 %		
Pologne Hongrie			cons. surgelés :				3,6 kg/hab.
			< 0,5 %		25 %		55 %
Yougoslavie							
Autres européens Italie				non déterminé			
			(mais premier constructeur et importateur européen depuis 1966)				
Suède Danemark			55 %	non déterminé	70 %		
			(mais premier pour le rapport export/produit depuis 1966)				
R.D.A. Suisse			8 à 10 %		30 %		90 à 95 %

commerciale, restaurants d'entreprise, hôpitaux).

L'explosion du surgelé a, de plus, eu une action bénéfique (pour le consommateur) sur la modernisation du secteur de la distribution, et sur la cohérence dans l'organisation de la chaîne du froid. Au niveau de l'entrepôt frigorifique, il s'agit de disposer de locaux d'entreposage à « basse température » ; tous les pays concernés font un gros effort sur ce point, témoin la Suisse dont la capacité en entrepôt de ce type est passée de 5 000 m³ en 1950 à 350 000 m³ en 1965. Ces constructions nouvelles donnent d'ailleurs l'occasion d'appliquer des techniques nouvelles de génie civil, telles que construction par ossatures et panneaux, manutention automatique par palettage. Au niveau des magasins de détail, les meubles de ventes (présentoirs) posent un problème technique délicat du fait qu'ils sont le plus souvent ouverts ; on assiste actuellement à l'expansion de magasins spécialisés, les *freezer centers*.

Enfin, dans les ménages, la multiplication des congélateurs domestiques est spectaculaire ; le tableau en donne une petite idée pour certains pays.

Cependant, le froid artificiel n'intervient pas seulement après la récolte des produits. Durant ces dernières années, il a rendu de grands services dans la partie amont de la filière agro-alimentaire. Ceci s'est surtout manifesté dans le domaine de la cryobiologie¹⁰ où est utilisée, en particulier, la très basse température de l'azote liquide (-19,5 °C) pour conserver vivants des tissus ou des organismes entiers. L'idée ne date pas d'aujourd'hui ; vers 1780, Lazzaro Spallanzani avait tenté de conserver du sperme de différentes espèces (homme, cheval, grenouille) en l'exposant au froid hivernal ; en 1866, Mantagazza parvint à maintenir vivants, après quelques jours à -15 °C, des spermatozoïdes humains. Peu avant 1950, Jean Rostand et l'équipe londonienne de Parkes découvrirent, séparément, que le glycérol

favorise la survie des spermatozoïdes de batraciens. Mais c'est seulement en 1955 que des Américains, après qu'on eut essayé la neige carbonique (qui fournit, avec différents solvants, -75 °C à -90 °C), montrèrent la plus grande efficacité de l'azote liquide.

Très vite, les zootechniciens virent tout le parti que l'on pouvait tirer de cette propriété pour préserver, parfois pendant plusieurs années, les caractères favorables d'un géniteur mâle. On a ainsi obtenu des veaux bien vivants après dix-huit années de conservation du sperme dans de l'azote liquide.

Plus récemment, le moyen a été étendu aux embryons, et les premiers veaux ont été obtenus à Cambridge (Grande-Bretagne) par Wittingham (1973), puis Willensten (1976). En 1981, travaillant séparément, un chercheur de l'INRA, J.-P. Renard (Jouy-en-Josas), et un chercheur américain, S. Leibo (San Antonio, Texas), ont trouvé un moyen de simplifier le processus : en plaçant l'embryon à transplanter dans une paillette, avec un liquide cryoprotecteur spécifique, on peut décongeler l'ensemble en une seule fois, alors qu'auparavant il fallait accroître la température par paliers. De la sorte, la transplantation peut être effectuée par un inséminateur n'ayant pas reçu de formation compliquée.

Cette technique ouvre la possibilité de multiplier, par transplantation d'embryons, des caractères favorables portés, cette fois-ci, par la vache, ou encore de transférer des gènes nouveaux d'un pays à un autre sans être arrêté par une barrière sanitaire contre les maladies infectieuses.

Mais l'intervention des basses et très basses températures n'a pas été exclusive de progrès et de développements dans l'application des procédés classiques aux productions qu'ils concernaient.

Dans le secteur de la viande, la réfrigération rapide s'est développée, notamment pour réduire la perte d'eau, dès 1950,



La chaîne de froid. Une Gafagi, mise des sautes de bavette cette en carton.



Exemple de présentation de viande surgelée.



dans de nombreux pays. Les deux techniques principales en sont : le tunnel à circulation d'air active, avec de l'air à $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative élevée, utilisé surtout pour le bœuf ; l'introduction des carcasses chaudes dans de l'air à température plus basses (de l'ordre de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), les carcasses étant ensuite suspendues dans un local plus chaud où la température de la viande s'équilibre. Ce dernier procédé s'applique davantage au porc. Ces travaux ont engendré de nouvelles recherches, car une réfrigération trop rapide des carcasses peut faire raccourcir le muscle, diminuant sa tendreté. Parmi ces recherches, on peut signaler la « stimulation électrique » des carcasses immédiatement après l'abattage, mise en pratique, après 1970, sur des moutons néo-zélandais.

Par ailleurs, l'expansion explosive de la production en masse de viande de volaille a donné naissance à diverses techniques de congélation, sur poulets et dindes notamment. Ces techniques ont, par exemple, permis à des abattoirs bretons, à présent concurrencés par des brésiliens, de développer un courant d'exportation vers les pays arabes pétroliers, où l'on ne consomme pas de porc pour des motifs religieux bien connus.

Sur les fruits et légumes, la grande affaire de la période récente a été (et est toujours) le perfectionnement des techniques de contrôle d'atmosphère. Les travaux des biologistes ont permis de mieux comprendre ce qui se passe au niveau des tissus végétaux et de déterminer les conditions optimales pour chaque espèce et variété. Dans certains cas, pour éviter le coût d'investissement et de fonctionnement de chambres spécialisées, on obtient l'atmosphère désirée par l'usage d'enveloppes plastiques appropriées. Enfin, on a développé de nouvelles techniques de prérefrigération : au glaçage direct (*body icing at top icing*) et à l'utilisation de l'eau glacée (*hydrocooling*), connus avant la guerre, s'est ajoutée la réfrigération par le vide, ou *vacuum cooling*. Dans ce procédé, en plaçant les végétaux dans une enceinte hermétique, dont on abaisse la pression à 4 mm de mercure, on provoque l'évaporation d'une petite partie de l'eau de

constitution, dont la chaleur latente suffit à abaisser la température du produit. Le grand avantage du procédé est de pouvoir placer les légumes emballés dans du carton, à l'intérieur de l'enceinte sans risquer de détériorer ce carton, ce qui ne manquerait pas de faire un circuit plus humide. Ceci permet, par exemple, de vendre à Stockholm des salades fraîches venues par voie ferrée du Roussillon.

Les laiteries se sont toutes équipées en froid. Ceci, notamment, a permis des progrès dans le traitement du lait liquide et la fabrication du beurre en continu, ainsi que le stockage de report des excédents de crème. Mais, en Europe, la grande innovation du secteur laitier a été la réfrigération du lait à la ferme, dans des cuves, nommées « tanks à lait ». En France, l'un des derniers pays venus à cette technique, environ 85 % du lait collecté est ainsi refroidi, et ramassé tous les deux jours en camion-citerne.

En ce qui concerne le poisson, aucune nouveauté technique d'envergure n'est à signaler. Simplet, on assiste à une extension de la congélation nettement plus que proportionnelle à l'extension des prises. En tête pour la progression se situent l'U.R.S.S., dont le tonnage congelé passe de 140 000 t en 1945 à environ 3 millions de tonnes en 1970, et le Japon, où l'on congèle aussi la viande de baleine. Vient ensuite l'Espagne qui passe de quelques milliers de tonnes en 1960 à 270 000 t en 1975.

Depuis une vingtaine d'années, la congélation à bord des bateaux a crû plus vite que la congélation à terre. Là encore l'U.R.S.S. détient le ruban bleu : en 1950, la capacité des congélateurs embarqués s'élevait à 25 % du total ; en 1975, elle frôlait les 90 %. Il peut y avoir des congélateurs aussi bien sur de modestes langoustiers ou thoniers que les immenses navires-usines de 20 000 t soviétiques ou japonais.

La dernière nouveauté, sur le plan industriel, des quarante dernières années est la lyophilisation de certains produits alimentaires, encore appelée cryodessiccation ou cryosublimation.

Photo Filière Viande.

Inventée en 1906, par d'Arsonval et Bordas, elle servit d'abord en médecine et en pharmacie. Mise au point sur le café, en 1934, en Suisse et sur le jus d'orange, pour l'armée américaine, en 1941, elle ne prend une importance vraiment industrielle qu'après 1960. Développée en grande production pour le café, les jus de fruits, les champignons et certains crustacés, elle sert, sur d'autres produits, pour des utilisations où la réduction de masse est une contrainte plus forte que le prix : armée, expéditions, camping.

Dans les autres industries agro-alimentaires, les techniques déjà existantes se développent. Les faits les plus marquants se trouvent dans le domaine des jus de fruits (congélation, surtout sur l'orange ; cryoconcentration, notamment du vin, mais à petite échelle) et de la boulangerie-pâtisserie (en France, pays par excellence de la boulangerie artisanale, on estime en 1975 que 50 % des boulangers ont une installation de congélation).

CONCLUSION

Il ne semble pas exagéré d'affirmer que l'industrialisation du froid artificiel a contribué de manière décisive à façonner l'organisation des sociétés développées d'aujourd'hui. On le trouve, en effet, utilisé à grande échelle dans tous les pays industriels, quel que soit le type d'organisation politico-économique qui les régit.

Il est évident, pour tous, que le réfrigérateur ménager simplifie la vie : fréquence des achats alimentaires passée du quotidien à l'hebdomadaire, hygiène accrue, réduction du temps de préparation des repas. Il est évident aussi que les préparations achetées obtenues par surgélation permettent, en fonction des sensibilités personnelles ou des entraînements culturels, tantôt d'adapter son mode de consommation à un nouveau genre de vie (*TV dinners*), tantôt de conserver, en gagnant du temps, une référence à la tradition culinaire (frites ou épinards surgelés).

La maîtrise de la conservation par le froid est désormais bien assurée. Nous assistons à présent à une dernière étape du changement des modes de vie — du moins dans les pays industrialisés — qui consiste à accroître la souplesse des travaux de cuisine. Le froid y apporte sa contribution, conjointement à d'autres techniques, souvent complémentaires, dont certaines sont déjà répandues (four à micro-ondes), d'autres encore au stade de prototypes (cuisson par induction électrique).

Toutes ces facilités ont grandement favorisé le mouvement du travail rémunéré des femmes hors du foyer, réduisant, par contrecoup, le recours (de la part des gens aisés) à une domesticité souvent exploitée. Donc, l'impact du froid industriel sur les changements survenus, surtout depuis quarante ans pour la France, dans la structure des emplois, s'il ne peut être chiffré avec précision, n'en a pas moins été déterminant.

Déterminant, également, a été, de plus longue date, son intervention dans la réduction des coûts de l'alimentation. On a vu, au début de cet article, comment l'épopée de la viande congelée est intervenue sur l'orientation du capitalisme britannique, déjà sous le règne de la reine Victoria.

Cette influence continue encore de nos jours, même si le froid artificiel n'est qu'un élément parmi d'autres. C'est, par exemple, le cas des cultures d'endives sur support hydroponiques, développées depuis une dizaine d'années à partir des travaux des généticiens et des physiologistes de l'INRA. Pour les besoins de la sélection, les généticiens avaient utilisé des solutions nutritives qui facilitaient l'observation des résultats expérimentaux. Devant les bons résultats obtenus, on a songé à utiliser ces solutions chez les producteurs pour rendre moins pénibles les

opérations ayant lieu au cours du forçage. Cette opération consiste à assurer la transformation du « chicon » en endive qui, jusqu'alors, avait lieu en plein air, l'hiver, sur des parcelles relativement peu étendues, et nécessitait qu'on lutte contre le gel au moyen d'eau chaude circulant dans des tuyaux enterrés. Mais les travailleurs se trouvaient soumis aux intempéries, dans des conditions fort pénibles. La nouvelle méthode, qui se répand très vite dans le nord de la France, permet de procéder au forçage sur des claies superposées, dans des salles climatisées nécessitant suivant les conditions intérieures, réchauffement ou refroidissement. Elle a d'ailleurs entraîné une féminisation de la profession.

Mais le froid artificiel demande des investissements, dont certains sont collectifs et généralement très coûteux, tout en présentant la particularité de n'être utiles qu'à la condition qu'existent, à leur aval, des équipements individuels suffisamment nombreux. Il n'est donc accessible qu'aux habitants des pays où le revenu moyen par habitant a franchi le seuil qui permet ces achats. Ceci explique sa très faible expansion dans les pays pauvres, dont le plus grand nombre est situé — ironie du sort — dans les zones les plus chaudes de la Terre. Il y a donc beaucoup à attendre, pour les frigoristes et surtout les habitants de ces pays, du développement de leurs économies.

Notes.

1. Balaguer F., *Las cuevas firas*, 1878.
2. R. Thévenot, dans le préambule de son ouvrage, indique que la périodisation adoptée présente un caractère quelque peu arbitraire. Néanmoins, son choix paraît significatif des grands changements d'ampleur et de nature survenus dans l'histoire du froid.
3. Du nom de l'inventeur, le Français Jean-Louis Baudelot (1797-1881), qui mit au point, en 1856, ce refroidissement depuis largement répandu.
4. De 1800 à 1914, la population de la Grande-Bretagne a quintuplé ; celles de l'Allemagne et de l'Italie ont triplé ; celle de la France n'a même pas doublé.
5. Elle est actuellement, en France, de 105 kg.
6. A la fin des années 1920, 45 % de la production annuelle de l'hémisphère nord se concentraient en mars, avril, mai.
7. Devenu Institut international du froid en 1921.
8. Vortex (latin) = tourbillon : en injectant de l'air dans un tube cylindrique, on produit une détente giratoire d'où s'échappent simultanément de l'air chaud et de l'air froid (Ranque, 1932).
9. Nous ne disposons de la part relative dans les surgelés que pour 1954 : repas préparés, 30 % ; légumes, 22 % ; jus de fruits, 20.
10. L'Institut international du froid est convenu d'utiliser en principe le préfixe « cryo » pour tout ce qui concerne l'usage des températures inférieures à 120 °K (– 153 °C).