

Progrès et perspectives nouvelles dans le traitement frigorifique des produits d'origine végétale ⁽¹⁾

par

R. ULRICH

Professeur à la Sorbonne

Directeur du Laboratoire de Biologie de la Station du Froid (C. N. R. S.).

On peut aisément se faire une opinion sur l'état des connaissances et des pratiques en usage en matière de réfrigération des produits végétaux il y a un demi-siècle, en lisant les Comptes Rendus du 1^{er} Congrès International du froid (Paris, 1908) et les ouvrages classiques de COOPER ⁽²⁾ et de Charles TELLIER ⁽³⁾.

On discuta longuement au Congrès de Paris de la nécessité, pour bien réussir la conservation des fruits, de porter une attention particulière à la nature du sol du verger, à l'humidité de l'air et à la température de l'entrepôt, ainsi qu'à la nature des emballages ; de nombreuses affirmations sont révélatrices de l'insuffisance des expériences, et l'horticulteur français VERCIER fit émettre le vœu de créer un laboratoire frigorifique où des recherches seraient poursuivies « avec méthode et persévérance ».

Dans l'ouvrage de TELLIER on rencontre, comme dans les Comptes Rendus du Congrès, à côté d'idées géniales, des inexactitudes bien compréhensibles. Si TELLIER conseille déjà très heureusement d'utiliser le froid dans la conservation des fruits, des légumes, des bulbes, des tubercules, etc., il pense que la température de 0° est toujours la plus favorable.

Ajoutons qu'à la même époque, vers 1909, des travaux avaient été publiés en France sur la conservation des fleurs coupées ou sur pied (VERCIER) ⁽⁴⁾ et que le froid était utilisé pour « forcer » le lilas à Vitry.

Dans certains pays étrangers, l'utilisation du froid était plus avancée ; ainsi l'ouvrage de COOPER, volume de 576 pages, publié aux États-Unis en 1905, renferme de nombreuses données intéressantes. L'entreposage frigorifique des pommes était alors très banal aux États-Unis. On trouve déjà dans ce livre des données précises sur la réfrigération des pommes, des poires, des pêches, des bulbes, des légumes, des fruits secs, sur la prérefrigération, etc.

Un examen plus approfondi de ces travaux anciens conduirait aux conclusions suivantes : les principes de la réfrigération des produits végétaux étaient acquis dès 1908, et certains savants tels que Charles TELLIER avaient entrevu les immenses possibilités offertes par cette méthode de conservation. Toutefois, les théories avancées pour expliquer l'action du froid étaient simplistes et les conseils donnés aux utilisateurs souvent imprécis ou inexacts. Enfin, les chambres froides représentaient le seul moyen pratique d'utilisation du froid.

Si l'on examine le chemin parcouru depuis 50 ans, on s'aperçoit que les progrès peuvent aisément se classer sous trois titres :

- Extension et amélioration des traitements en chambre froide ordinaire.
- Progrès dus à la mise en œuvre d'adjuvants de la réfrigération.
- Découverte de nouveaux modes d'utilisation du froid.

(1) Conférence prononcée par l'auteur au Conservatoire National des Arts et Métiers, lors des manifestations à propos du cinquantenaire de l'Association Française du Froid.

(2) COOPER. *Practical cold storage. 1st Edit.*, Chicago, 1905, 576 pp.

(3) *Le Frigorifique*, Paris, 1910, 456 p.

(4) *L'Industrie Frigorifique*, 1909, p. 146-160.

A. Extension et amélioration des traitements en chambre froide ordinaire.

Les progrès accomplis dans ce domaine tiennent à une extension croissante du nombre des produits traités, à une recherche continue des meilleures conditions de traitement pour chaque type de produit, à un effort constant pour mieux comprendre les phénomènes physiologiques dont les organes végétaux vivants refroidis sont le siège. Les progrès dans ces diverses directions ont été accomplis grâce aux observations de praticiens éclairés et surtout par suite de la création de laboratoires. Déjà, certains centres de recherches étaient actifs aux États-Unis il y a cinquante ans, particulièrement en Floride et en Californie. Cependant, c'est principalement à partir de 1930 environ que les laboratoires voués à l'étude de l'utilisation du Froid dans la conservation des produits végétaux ont pris leur essor (Ditton Laboratory, Centres de Recherches du Cap, de Trinidad, d'Australie, Instituts Italiens, Allemands, Russes, plus récemment Hollandais et Espagnols, etc.). En France, la Station du Froid de Bellevue a commencé en 1942 à s'intéresser aux produits agricoles d'origine végétale. Ensuite, les laboratoires de Casablanca et d'Alger ont été ouverts.

En ce qui concerne la variété croissante des produits traités, on note que si le traitement des fruits est ancien, la réfrigération est actuellement appliquée :

a) à de nombreux produits végétaux naturels, par exemple :

- aux fruits frais les plus divers et de tous les pays,
- aux légumes, en particulier aux oignons, aux pommes de terre, aux salades, etc.,
- aux fleurs coupées et aux pollens,
- aux bulbes et tubercules et aux graines fragiles,
- aux betteraves sucrières,
- à la levure de boulangerie,
- à de jeunes plantules nécessitant un traitement de vernalisation,
- à des plantes plus développées dont la dormance automnale est levée par le froid, etc. ;

b) à divers produits manufacturés d'origine végétale, par exemple :

- à des jus de fruits,
- à des fruits séchés,
- aux boissons alcooliques, à divers stades de leur fabrication,
- à des produits thérapeutiques,
- à des textiles, des produits de meunerie, des greffons, au miel, etc...

Si le domaine de l'utilisation possible de la réfrigération s'est ainsi peu à peu étendu, on a cherché parallèlement à allonger la survie des produits et à améliorer leur qualité en fin d'entreposage. Ces résultats sont le fruit d'observations et de recherches patientes, particulièrement actives durant les vingt dernières années dans de nombreux pays. L'attention des chercheurs a porté en particulier sur les points suivants :

— le choix des variétés les plus aptes à la conservation, éventuellement, la recherche de variétés nouvelles plus favorables ;

— l'étude des répercussions des conditions de vie sur l'arbre au verger, sur le comportement en frigorifique. Il s'agit là, à vrai dire, d'un problème encore insuffisamment étudié, mais on sait que le climat, le sol, les traitements antiparasitaires, la nature du porte-greffe, l'ensachage, etc., sont susceptibles d'influencer la durée de survie des fruits en chambre froide ;

— les conditions de la cueillette jouent un rôle fondamental : degré d'évolution du fruit à la récolte, soin apporté aux manipulations, etc. Seul le fruit cueilli à point et auquel sont épargnés chocs et blessures est assuré d'une survie longue et normale. L'influence de la date de cueillette est particulièrement nette dans le cas des poires, et l'influence des blessures dans le cas des agrumes ;

— les conditions de l'entreposage ont fait l'objet de nombreuses études. Rappelons que

beaucoup de variétés européennes de pommes se comportent mieux à + 4° qu'à 0°, que les poires survivent généralement dans de meilleures conditions à 0° qu'à + 4°. L'attention a été attirée sur le fait que les températures à choisir sont différentes suivant que l'on désire que les fruits mûrissent en entrepôt ou y restent verts, une maturation complémentaire devenant nécessaire dans ce dernier cas (Ex. Poire Passe-Crassane, maturation complète à + 4° et absentes à 0°).

Les recherches ont porté aussi sur l'influence de l'humidité relative de l'air, aussi néfaste lorsqu'elle est trop faible que lorsqu'elle est trop élevée, la valeur optimum étant souvent de l'ordre de 85 %, mais parfois plus faible (noix, oignons).

La composition de l'atmosphère de l'entrepôt a également une influence sensible, et depuis longtemps on conseille de priver l'air des substances organiques volatiles qu'il contient, par passage sur du charbon actif ou sur diverses substances chimiques, le permanganate par exemple. C'est dans le même but que l'on renouvelle l'air des chambres froides.

Pour assurer correctement la maturation complémentaire dont il a été question plus haut, tout entrepôt frigorifique devrait comporter maintenant, à côté des chambres froides, des locaux conditionnés de maturation.

Si le froid agit d'ordinaire comme agent de ralentissement des phénomènes biologiques (maturation des fruits, conservation des oignons ou des tubercules de pommes de terre), il arrive que les basses températures favorisent utilement la croissance ultérieure ou le développement futur de la plante. C'est seulement à une date récente que cette action inattendue a retenu l'attention. Citons comme exemple :

- les levées d'inhibition de germination de graines par le froid,
- la sortie de dormance des bourgeons aériens par le froid, le traitement frigorifique pouvant représenter le premier temps du forçage (lilas),

- la sortie de dormance par le froid des rhizomes et des bulbes (travaux importants de BLAAUW et de son école à Wageningen depuis 1920). Dans le cas des tulipes ou des jacinthes, étudié par ces auteurs, la chaleur est nécessaire à la formation des ébauches florales, mais le froid favorise leur épanouissement au printemps suivant ; l'espèce d'inhibition de la croissance de l'inflorescence provoquée par les températures élevées est « levée » par le froid,

- la vernalisation. Les semences de blé d'hiver traitées pendant un mois vers + 2° après avoir subi un léger début de germination deviennent capables d'une épiaison beaucoup plus précoce que les témoins non traités ; ce phénomène est la vernalisation, découverte par LYSSENKO vers 1930. Les blés d'hiver sont ainsi transformés, quant au comportement, en blé de printemps ; on peut grâce à cette technique étendre vers le nord la zone de culture du blé. De nombreuses plantes, en particulier des bisannuelles, ont un besoin plus ou moins absolu de vernalisation, soit au stade de très jeune germination, soit au stade de rosette.

Les dernières décades ont ainsi été marquées par une extension progressive de la liste des produits susceptibles d'être traités par le froid avec profit, et par un effort pour préciser les meilleures conditions de traitement. Il faut y ajouter le souci des physiologistes de mieux comprendre les effets du froid sur la plante, tout particulièrement en ce qui concerne son action sur la structure cellulaire (GENEVES), sur les phénomènes chimiques de la maturation ou de la croissance, sur les singularités et les causes des maladies des organes végétaux réfrigérés, sur les mécanismes du gel et de la résistance des plantes aux basses températures (ouvrage de LEVITT) (1). On ne peut pas non plus passer sous silence les travaux relatifs à la résistance des micro-organismes aux basses températures ; citons par exemple ceux de BERRY qui démontrent la survivance de certaines espèces de la population bactérienne de légumes après quatre années d'entreposage à — 18° ; certains micro-organismes peu résistants disparaissent rapidement vers — 20°, mais d'autres subsistent ; il semble d'ailleurs que des températures peu inférieures à 0° soient souvent plus nocives que des températures beaucoup plus basses. Le gel ne stérilise pas complètement les denrées.

(1) LEVITT (J.). The hardiness of plants, New York (Academie Press), 1956, 278 p.

Toutes ces recherches ont montré la complexité de l'action du froid sur les organes végétaux. Elles n'ont d'ailleurs pas suffi à apporter toute la sécurité désirable à l'entreposage frigorifique des végétaux. On peut même penser que le froid seul ne suffira pas à résoudre tous les problèmes de conservation, car le choix des conditions optima est trop souvent le résultat de compromis ; il faut donc chercher des adjuvants.

B. Progrès dus à la mise en œuvre d'adjuvants de la réfrigération.

Parmi les adjuvants du froid on peut citer :

- les traitements chimiques,
- le choix d'emballages ou de revêtements convenables,
- l'irradiation par les rayonnements ionisants.

1° Traitements chimiques.

Ceux qui visent à ralentir la maturation sont particulièrement intéressants. Le plus simple et l'un des plus efficaces est l'enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique conjointement avec un appauvrissement en oxygène. C'est la méthode du « gas storage » des auteurs anglais due à KIDD et WEST (vers 1919). Les entrepôts utilisés doivent être étanches aux gaz ; il en existe en Grande-Bretagne depuis 1929, et on en trouve maintenant dans divers pays d'Europe et d'Amérique. L'atmosphère de composition optimum est obtenue d'une manière très élégante ; on utilise en effet à cette fin les échanges gazeux respiratoires normaux des fruits. La durée de conservation des pommes et des poires de certaines variétés a été grandement accrue grâce à ces méthodes ; des résultats intéressants ont été également obtenus avec certains légumes (brocolis). Des concentrations élevées de gaz carbonique ont été recommandées dans des cas exceptionnels (transport des cerises, des fraises, conservation des châtaignes).

Il peut être utile d'accélérer la maturation des fruits, ce qui est possible grâce à l'emploi de l'éthylène. DENNY, dès 1924, utilisa ce gaz pour faire jaunir les citrons ; le phénomène s'observe encore à une concentration de 1/5 000 000. On utilise couramment aujourd'hui des chambres de maturation dans lesquelles les fruits sont mis en contact avec de l'air chargé d'environ 1 % d'éthylène à 18-20°, l'humidité étant de 85 à 95 % ; les expériences ont porté sur les bananes, agrumes, ananas, tomates, poires, pommes, etc.

On a fait également des recherches sur la stimulation de la maturation des fruits cueillis à l'aide de substances synthétiques de croissance ; peut-être l'action n'est-elle efficace que très tôt après la cueillette. Des essais ont été faits avec le 2-4 D et le 2-4-5 T en particulier, avec les bananes, citrons, pêches, pommes, prunes, etc.

L'utilisation d'inhibiteurs de croissance comme adjuvants de la conservation peut être utile dans le cas des pommes de terre et des oignons dont les bourgeons se développent fréquemment même aux températures voisines de 0°. L'éthylène, l'air chargé de gaz carbonique, l'hydrazide maléique, le tétrachloronitrobenzène, l' α -naphtylacétate de méthyle, le phénylthiocarbamate d'isopropyle, le 3-chloro-isopropyl N phénylcarbamate par exemple, sont des inhibiteurs de la croissance des bourgeons de pomme de terre ; l'éthylène, l'hydrazide maléique sont des inhibiteurs de la croissance du bourgeon terminal des bulbes d'oignon.

Les traitements antiseptiques sont utiles du fait qu'ils détruisent les germes présents à la surface du fruit. Leur étude a été particulièrement poussée dans le cas des raisins et des oranges. Pour les raisins, le gaz sulfureux est l'antiseptique de choix ; il est utilisé à l'état gazeux et les traitements sont répétés un certain nombre de fois et suivis d'une aération intense. Dans le cas des agrumes, l'attaque par des moisissures du germe *Penicillium* (*P. italicum* et *digitatum*) est la plus redoutable, les pertes ont atteint parfois 70 % du nombre des fruits transportés. Contre ce danger, on a préconisé de traiter les oranges par l'hypochlo-

rite, le borax ou les albotènes, le dovicide A (phénylphénate de soude), les dérivés de l'orthoquinoléine, le trichlorure d'azote, les papiers à l'iode ou au diphényle.

Parmi les traitements antiseptiques, on peut aussi mentionner l'emploi de l'ozone et celui des radiations ultraviolettes dont l'effet porte particulièrement sur l'air de l'entrepôt.

Les traitements des arbres eux-mêmes par divers fongicides peuvent, semble-t-il, poursuivre leurs effets en entrepôt sur les fruits cueillis.

L'emploi d'antibiotiques divers a été également préconisé.

Des traitements contre les insectes ont été envisagés.

Enfin, l'importante et récente découverte par SMOCK, aux États-Unis, d'une substance, la diphénylamine, capable de protéger les pommes contre la grave maladie non parasitaire nommée : « échaudure » terminera ce tableau abrégé des adjuvants chimiques du froid.

Bien entendu, les résultats obtenus au laboratoire ne sont applicables qu'à la suite d'essais à l'échelle pratique et, en ce qui concerne l'utilisation de substances chimiques, avec l'accord des services d'hygiène.

2° Emballages et revêtements.

Les études sur l'emploi des emballages et des revêtements sont nombreuses et intéressantes. Le succès considérable des papiers huilés contre l'échaudure des pommes (BROOKS, COOLEY et FISHER, 1919) et des papiers au diphényle contre les *Penicillium* des oranges (TOMKINS, vers 1935) a montré l'importance des travaux sur les emballages.

L'emploi de plus en plus général des films plastiques dans la protection des produits alimentaires a orienté les recherches dans une autre direction. Le problème le plus délicat est le choix de la pellicule plastique ; celle-ci doit être perméable aux substances organiques volatiles et plus ou moins perméable à la vapeur d'eau, au gaz carbonique et à l'oxygène. Les sachets souples de matière plastique sont déformables ; très souvent, ils se contractent lorsqu'ils renferment des fruits ; il en sort alors de l'azote ; s'ils se dilatent ce gaz entre au contraire. Au cours de la contraction du sachet, la teneur de l'atmosphère en oxygène et en gaz carbonique atteint rapidement une valeur constante ; si la composition de ce mélange se trouve être favorable à la conservation des fruits ensachés, l'emploi de l'emballage est salutaire. On peut imaginer des sachets de fabrication mixte faits de 2 matières différentes afin d'obtenir une composition d'atmosphère plus favorable. Il ne faut pas cacher que de nombreux succès ont été enregistrés avec les emballages plastiques. Une étude sérieuse des matériaux semble avoir manqué à l'origine. Il faudrait aussi orienter les recherches vers la préparation de films homogènes et de qualité invariable, et peut-être vers l'obtention de films nouveaux de perméabilité sélective plus conforme aux besoins que celle des films qu'on trouve actuellement dans le commerce.

Les revêtements sont des pellicules de composition diverse apportés sur les organes végétaux et adhérant étroitement à leur surface. Un grand nombre de produits ont été proposés pour cet usage et les premières observations sur ce sujet sont très anciennes. On applique soit des produits solides (cires, paraffine, hauts polymères synthétiques) susceptibles de se craqueler, soit des enduits liquides (huiles et émulsions huileuses) qui perdent de l'eau par évaporation et laissent sur l'épiderme une couche d'huile discontinue. On ajoute parfois des antiseptiques aux mélanges précédents.

3° Irradiation par les radiations ionisantes.

Les rayonnements utilisés sont les rayons cathodiques et les rayons X, ainsi que les rayons β et γ . Les possibilités d'emploi de ces traitements dans la conservation des produits végétaux et, éventuellement, comme adjuvants du froid sont à l'étude depuis une dizaine d'années ; cependant, l'action germicide des rayons X et des rayonnements du radium est étudiée depuis 1900 environ (PRESCOTT). On peut noter parmi les effets observés : une bonne

conservation de certains produits (parfois même à la température ordinaire), un ralentissement de la maturation de certains fruits (poires), une stérilisation en surface (intéressante pour les fraises, oranges, pêches et poires), la destruction de certains parasites internes (larves d'insectes), des modifications des transformations des composés pectiques (pomme) et parfois une altération de la saveur.

Actuellement, les prix de revient des appareils sont malheureusement encore très élevés.

Il est bien évident que les adjuvants du froid qui viennent d'être étudiés peuvent être utilisés, non seulement isolément mais aussi simultanément : on peut transporter des raisins ensachés dans un emballage renfermant une source de gaz sulfureux, les oranges peuvent être désinfectées avant de recevoir un enduit, etc.

C. Découverte de nouveaux modes d'utilisation du froid.

Sous ce titre peuvent prendre place :

- la prérefrigération,
- la congélation rapide,
- et la lyophilisation.

La prérefrigération, c'est-à-dire l'opération qui consiste à abaisser rapidement la température des fruits et légumes jusqu'à la température de transport ou de conservation semble née aux États-Unis vers 1905 en Californie. Il existe maintenant de nombreuses installations en Europe, la première en France date, croyons-nous, de 1925 (Saint-Rambert d'Albon). Les procédés de prérefrigération (d'abord circulation rapide d'air froid) se sont multipliés : prérefrigération au contact d'eau glacée parfois additionnée d'antiseptiques (asperges, pois, cerises, etc.), prérefrigération par le vide, grâce au refroidissement dû à l'évaporation de l'eau superficielle (salades ; États-Unis, vers 1950).

La congélation de petits fruits au service de l'industrie de la conserve existait déjà aux États-Unis vers 1905 mais la congélation rapide généralisée des produits alimentaires, en particulier des produits végétaux, revient principalement à l'ingénieur américain BIRDSEYE ; son application remonte à 1930 environ. Cette méthode a pris un très grand essor aux États-Unis et dans certains autres pays. Les produits végétaux susceptibles d'être ainsi traités sont nombreux ; citons : des légumes, principalement : pois, épinards, asperges, haricots ; des fruits entiers, en tranches, en quartiers ou en compotes (fraises, pêches, oranges, pommes, etc.) ces fruits étant destinés soit à la consommation directe soit à la confiture, des jus de fruits naturels ou concentrés (oranges, pamplemousses, tomates, ananas ...) et même des produits cuisinés. Cette méthode offre de nombreux avantages : possibilité de récolter au meilleur moment du point de vue de la qualité, absence de déchets dans les colis, stabilisation à peu près parfaite de la composition chimique, faible encombrement, rapidité de préparation... La nécessité d'entreposer les produits à basse température (— 18°) environ, augmente le prix de vente au consommateur, ce qui entraîne la nécessité de ne traiter que des aliments d'excellente qualité.

Les méthodes de congélation se sont rapidement multipliées et perfectionnées (congélation dans l'air froid, dans un liquide refroidi ou au contact de solides) et des méthodes mixtes sont apparues telles que la combinaison de la déshydratation et de la congélation (déhydro-freezing) ou la congélation de jus de fruits concentrés. Des appareils à l'usage des particuliers ont été créés (freezers, lockers). Des recherches extrêmement importantes ont été entreprises sur la production de variétés nouvelles de légumes ou de fruits éminemment favorables, sur le blanchiment et l'inhibition des enzymes (chaleur, acide ascorbique, ...) sur les transformations qui accompagnent le gel, sur les meilleures conditions du réchauffement.

Le froid permet de dessécher les produits biologiques en leur conservant au maximum leurs propriétés et leur composition. On opère en deux temps : congélation rapide, puis su-

blimation de la glace sous le vide en présence d'une source froide. Cette méthode (cryodesiccation ou lyophilisation) dont le principe avait été entrevu déjà en 1909, a été utilisée en grand pour la première fois pendant la dernière guerre, dans la préparation du plasma sanguin desséché, particulièrement à la suite des travaux de FLOSDORF et de MUDD (1935). Elle est applicable à de nombreuses substances d'origine végétale fragiles telles que : antibiotiques, jus de fruits, extraits de thé et de café, fleurs, fruits et légumes. Le procédé est malheureusement coûteux mais il présente de gros avantages : altération insignifiante de la structure et de la composition chimique, absence de multiplications bactériennes, conservation satisfaisante des protéines, lipides, enzymes, vitamines, etc.

Conclusions.

Les cinquante années qui ont passé depuis le 1^{er} Congrès du Froid et depuis Charles TELLIER n'ont pas été vaines en ce qui concerne le traitement frigorifique des produits végétaux. Des méthodes entièrement nouvelles ont vu le jour. Rappelons l'apparition et le développement de la conservation en atmosphères contrôlées, des emballages prophylactiques, du traitement par l'éthylène, de la congélation rapide, de la lyophilisation, de l'utilisation des radiations ionisantes, etc.

A côté de ces brillantes innovations, les précisions apportées quant aux conditions de l'emploi du froid, seul ou aidé d'adjuvants variés, et aux mécanismes de son action, ont augmenté la sécurité de l'entreposage et contribué à rehausser la qualité finale des produits traités.

Que peut-on présager de l'avenir dans ce domaine ? L'emploi des radiations ionisantes permettra-t-il la conservation des produits périssables à la température ordinaire ? Verra-t-on dans les cuisines futures le réfrigérateur domestique devenu en même temps congélateur abandonner une partie de ses fonctions au profit d'un générateur de radiations conservatrices ?

Les généticiens nous fourniront-ils des variétés de qualité excellente et en même temps productrices de fruits ou de légumes de conservation prolongée et facile ?

Les chimistes et les physiologistes trouveront-ils quelque nouvelle substance à la fois inoffensive pour l'homme et protectrice pour ses aliments ?

Les possibilités sont illimitées, mais nul ne saurait discerner dès maintenant lesquelles seront devenues de banales réalités pour les congressistes qui fêteront le centenaire de l'Association Française du Froid.

**CONTRE LA MOISSISSURE
DES AGRUMES**

SUPER-PENTABOR N

— SANS DANGER —

S. A. BORAX FRANÇAIS

64, rue des Mathurins, PARIS 8^e
ET DROGUERIES D'AFRIQUE DU NORD

Agences Maritimes

Henry LESAGE

Siège social : 7, Cité Paradis, PARIS

Succursales : DUNKERQUE, LE HAVRE, NANTES
BORDEAUX, MARSEILLE, ANVERS, GAND, CONAKRY

EXPÉDITIONS — ASSURANCES — CONSIGNATION
TRANSPORTS de FRUITS par NAVIRES SPÉCIALISÉS