

Conservation des fruits en atmosphère contrôlée dans des enceintes limitées par des films de matière plastique

par

C. LEBLOND

INGÉNIEUR AU C. N. R. S.

Lorsque la conservation par réfrigération ne peut assurer d'une manière satisfaisante le maintien de la qualité de certains fruits sensibles, ou lorsqu'il s'agit d'accroître encore la durée de leur survie, on fait appel à certains agents complémentaires parmi lesquels on peut citer les *atmosphères contrôlées*.

I. PRINCIPE DE LA CONSERVATION EN ATMOSPHÈRE CONTRÔLÉE

La conservation en atmosphère contrôlée est une véritable technique mise au point voici plus de cinquante ans par les savants anglais KIDD et WEST, sous le nom de « Gas storage ».

Ces auteurs ont donné une application industrielle à un fait bien connu des physiologistes : le ralentissement de la vitalité des organes végétaux sous l'action déprimante combinée de trois facteurs : une basse température, une faible tension d'oxygène et une tension de gaz carbonique relativement élevée.

La technique anglaise du « Gas storage » a été souvent décrite (1) ; rappelons qu'à l'origine, son but fut d'assurer à quelques variétés de pommes se conservant mal à 0°, des conditions d'entreposage plus favorables. Le meilleur exemple est celui de la pomme Bramleys's que l'on ne pouvait garder plus de 2 mois à 0°. Dans une chambre froide étanche (fig. 1), maintenue à 4°,5, et dans laquelle l'atmosphère contient 9 % de gaz carbonique, 12 % d'oxygène et 79 % d'azote,

la conservation est assurée pour une durée de 6 mois.

La composition de ce mélange gazeux s'établit d'elle-même à partir de l'air ambiant car, à basse température, le quotient respiratoire des fruits étant voisin de l'unité, à chaque mètre cube d'oxygène consommé correspond un volume équivalent de gaz carbonique dégagé. L'échange se faisant à volume égal, la somme des concentrations centésimales des deux gaz est toujours égale à 21 environ, c'est-à-dire à la concentration initiale de l'air en oxygène. Lorsque la composition désirée est atteinte, par exemple 8 % de gaz carbonique, 13 % d'oxygène, les fruits continuent à consommer de l'oxygène et à dégager du gaz carbonique. A ce moment, une fuite réglable permet l'introduction de l'oxygène manquant et l'évacuation du gaz carbonique excédentaire.

Lorsque le mélange gazeux reconnu optimal pour la variété est d'une composition telle que la somme $O_2 + CO_2$ soit inférieure à 21 %, il devient nécessaire d'absorber périodiquement l'excès de gaz carbonique en envoyant le mélange gazeux sur un laveur (scrub-

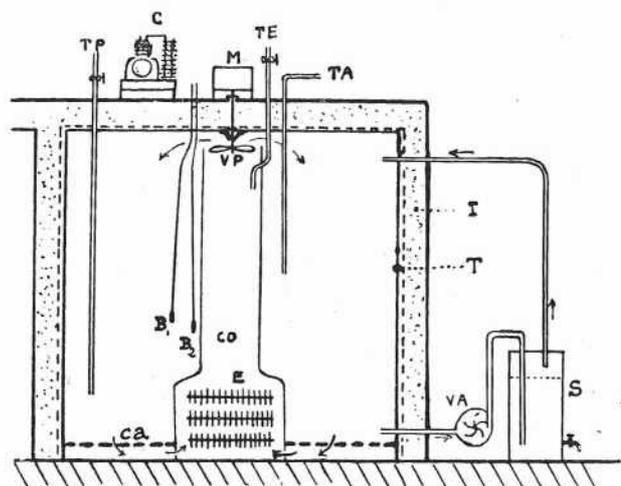


FIG. 1. — Aménagement d'une chambre étanche en Grande-Bretagne (très schématique). I : isolant ; T : revêtement de tôle ; Ca : caillebotis ; Co : générateur de froid (central cooler) ; E : radiateurs à ailettes (les canalisations afférentes et efférentes n'ont pas été figurées) ; VP : ventilateur ; M : son moteur ; C : compresseur ; TP : tube égalisateur de pression ; TA : canalisation de prise de gaz allant au tableau de contrôle ; TE : tube d'amenée d'air pour aération ; B1-B2 : thermomètres à résistance ; S : scrubber avec ventilateur (V. A.), d'après Ulrich.

ber) contenant une lessive de potasse ou mieux, de l'eau constamment renouvelée (Procédé préconisé par le professeur SMOCK) (2).

Ce procédé implique la délicate réalisation de l'*étanchéité* des parois des chambres et de leur porte. Pendant la conservation il est impossible de contrôler l'état des fruits autrement qu'à travers un regard vitré. Il faut analyser souvent l'atmosphère pour rectifier sa composition par le système de fuite réglable. Le plus grave inconvénient est sans doute son prix de revient élevé.

Il ne faut pas négliger pour autant les avantages qu'il apporte :

1° prolongation souvent sensible de la durée de conservation,

2° relèvement de la température pour éviter certaines maladies physiologiques,

3° réduction des pertes par altérations fongiques.

La technique des atmosphères contrôlées est maintenant appliquée à l'étranger à un très grand nombre de variétés de pommes et de poires, mais il faut remarquer que les températures recommandées demeurent basses : 4° pour les pommes et 0 à + 1° pour les poires. Ce choix résulte du souci de réaliser les conditions favorables à une conservation de *durée maximale*.

En pratique, la prolongation extrême de l'entreposage est rarement une opération rentable. Or de nombreuses expériences physiologiques ont prouvé qu'il était encore possible de bénéficier de l'action freinatrice des atmosphères contrôlées à des températures supérieures à 4°. Le facteur important est alors le maintien d'une faible tension d'oxygène dans l'atmosphère. Bien entendu, la rapidité de la maturation est toujours fonction de la température. En atmosphère contrôlée et aux températures comprises entre 7° et 12°, la maturation s'effectue en 3 à 4 fois plus de temps que dans l'air normal. Cette prolongation de la durée de conservation est souvent bien suffisante dans la pratique.

II. EMPLOI DES EMBALLAGES PLASTIQUES POUR OBTENIR DES ATMOSPHERES FAVORABLES A LA CONSERVATION

Lorsqu'on place des fruits dans un emballage étanche, réalisé avec des pellicules plastiques de faible épaisseur, on constate que l'atmosphère de l'emballage s'enrichit en gaz carbonique, s'appauvrit en oxygène, puis que les valeurs respectives des deux gaz se stabilisent le plus souvent pendant un certain temps,

De nombreux chercheurs ont appliqué ce principe

à des cas particuliers de conservation. En 1947, SCOTT et TEWFICK (3), utilisant des sachets de Cellophane et de Pliofilm hermétiquement fermés pour un court stockage de pommes, tomates et divers légumes, ont démontré que l'activité respiratoire de ces denrées emballées était plus faible que celle des témoins non emballés.

Pour la conservation du raisin, des sachets plastiques mixtes « polyéthylène-éthylcellulose » ont été utilisés dès 1951 par APP et ses collaborateurs (4).

La même année, HARDENBURG (5) observait la prolongation de la survie de nombreux légumes (carottes, pois verts, céleris) emballés sous pellicules plastiques à des températures relativement élevées (10° et 21-26°).

En 1952, H. PLAGGE (6) faisait breveter aux États-Unis l'emploi des feuilles de Pliofilm pour doubler intérieurement les emballages destinés à la conservation frigorifique des pommes.

En 1957, MARCELLIN (7), utilisant de petits sachets de polyéthylène (fig. 2), put stopper l'évolution de pommes Calville à 15° pendant plus de 2 mois avec la même efficacité que par un séjour à 4° dans l'air.

Dans tous ces exemples c'est l'action déprimante des atmosphères modifiées sur l'activité vitale des organes vivants qui est exploitée.

Nous avons conçu et essayé d'appliquer une autre formule d'exploitation basée sur l'emploi de grands récipients à parois de matière plastique (1). Dans de telles enceintes, il est possible de réaliser des atmosphères modifiées grâce aux propriétés de perméabilité sélective aux gaz de leurs parois. Un film plastique permet un contrôle sélectif des échanges d'oxygène, de gaz carbonique, de composés organiques volatils et de vapeur d'eau. Or tous ces gaz et vapeurs ont une influence sur le métabolisme des fruits par leur présence en quantité plus ou moins favorable.

Examinons le cas de chacun d'eux.

Échange de vapeur d'eau.

Beaucoup de pellicules plastiques sont imperméables à la vapeur d'eau (polyéthylène, pliofilm). Lorsque des fruits sont placés dans des emballages confectionnés avec ces pellicules, la vapeur d'eau émise par transpiration ne tarde pas, en s'accumulant, à amener l'humidité relative de l'ambiance à une valeur proche de la saturation. On est assuré ainsi du maintien d'une

(1) Le principe de la méthode a fait l'objet d'une communication au X^e Congrès International du Froid, Copenhague, 1959, et d'une note présentée à l'Académie d'Agriculture le 18 mai 1960.

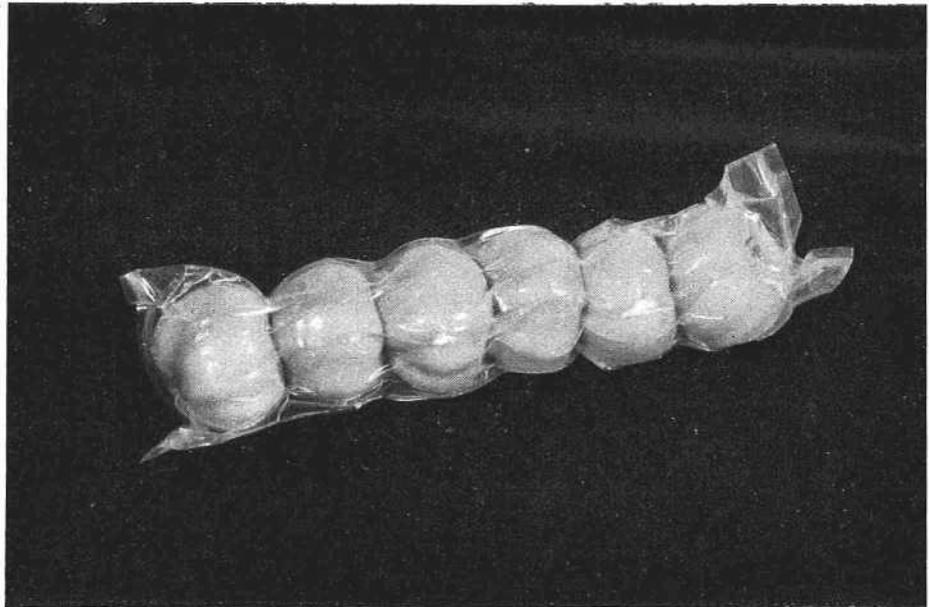


FIG. 2. — Emballage physiologique, type « Chapelet » pour pommes, préconisé par Marcellin (Cliché C. N. R. S.).

bonne turgescence et d'une perte de poids minimale, ce qui est commercialement intéressant. Malheureusement une telle humidité est défavorable à la qualité, généralement par suite d'une perte de saveur et d'une prolifération de moisissures à la surface des fruits. Aussi faut-il utiliser de préférence une pellicule plastique relativement perméable à la vapeur d'eau.

Échange de produits organiques volatils.

Des quantités non négligeables d'essences aromatiques volatiles et d'éthylène sont émises par les fruits au cours de leur conservation. Si l'emballage s'oppose à leur dispersion rapide, les fruits peuvent être intoxiqués. Ainsi la maladie de l'échaudure est considérée comme une conséquence de l'accumulation de produits volatils autour des fruits.

Échanges d'oxygène et de gaz carbonique.

Pour parvenir à l'obtention d'une atmosphère de composition favorable, les échanges par diffusion de ces gaz à travers les parois de l'emballage plastique doivent être étroitement en rapport avec la consommation d'oxygène et le dégagement de gaz carbonique des fruits qui y sont logés. Il faut notamment que l'oxygène entre à travers le film plastique en quantité suffisante pour éviter l'asphyxie. En effet, lorsque la tension d'oxygène devient très faible, certaines mala-

dies physiologiques apparaissent ; citons par exemple, une forme de brunissement de la chair des pommes. Simultanément le gaz carbonique doit traverser le film plastique en sens inverse en quantité suffisante pour que sa concentration n'atteigne pas dans l'emballage une valeur trop élevée capable de déclencher une maladie physiologique (maximum 10 %).

En choisissant judicieusement la nature et l'épaisseur de la pellicule plastique, il est possible de réaliser autour des fruits une atmosphère légèrement enrichie en gaz carbonique et fortement appauvrie en oxygène, qui peut rester stable pendant plusieurs mois.

On peut donc parvenir ainsi à certaines compositions gazeuses, ce qui est extrêmement intéressant. Deux conditions sont toutefois requises pour que ce système offre un réel intérêt pratique.

1° Il faut connaître avec une certaine précision les conditions de température et de composition de l'atmosphère gazeuse les plus favorables à la conservation de chaque variété, car il est absolument nécessaire de ne pas altérer qualitativement le métabolisme des fruits.

2° Les caractéristiques des emballages doivent être calculées de telle manière que leur perméabilité globale soit suffisante pour équilibrer les échanges gazeux des fruits avec l'extérieur, en maintenant les conditions prévues au paragraphe précédent.

Finalement, c'est donc une membrane très perméable aux produits volatils, perméable à la vapeur d'eau et modérément perméable à l'oxygène et au gaz

carbonique qui conviendra pour réaliser l'emballage de conservation. Toutefois la nécessité d'établir un équilibre entre les échanges gazeux des fruits et les échanges par diffusion implique évidemment l'identité du quotient respiratoire des fruits :

$$QR = \frac{\text{CO}_2 \text{ dégagé}}{\text{O}_2 \text{ consommé}}$$
 et du rapport de diffusion de la membrane $\frac{D \text{ CO}_2}{D \text{ O}_2}$.

Nos récentes expériences ont montré que pour les variétés de pommes et de poires jusqu'ici étudiées, le quotient respiratoire apparent normalement voisin de 1, passe à 1,5 ou 2 pendant la plus grande partie du temps de conservation à 12°. D'autre part l'examen des caractéristiques de perméabilité P⁽¹⁾ de la plupart des pellicules plastiques du commerce montre que le rapport $\frac{P \text{ CO}_2}{P \text{ O}_2}$ varie de 4 à 8. Ce désaccord n'est qu'apparent puisque ces gaz diffusent à travers la membrane selon des écarts de pression partielle Δp très différents. L'expérience que nous possédons sur le comportement physiologique des fruits à température moyenne permet de fixer en première approximation les tensions partielles de CO₂ et O₂ les plus compatibles avec un métabolisme ralenti mais normal, aux valeurs de 2/100 pour O₂ et 5/100 d'atmosphère pour CO₂ en régime, ce qui conduit à $\Delta p \text{ O}_2 = 19/100$ et $\Delta p \text{ CO}_2 = 5/100$.

Le rapport $\frac{P \Delta p \text{ CO}_2}{P \Delta p \text{ O}_2}$ c'est-à-dire $\frac{D \text{ CO}_2}{D \text{ O}_2}$ varie sensiblement entre 1 et 2.

Pour une membrane comme l'*éthylcellulose*, la plus appropriée à nos besoins pour sa grande perméabilité, le rapport $\frac{D \text{ CO}_2}{D \text{ O}_2} = 2$ est imparfait pour des fruits de quotient respiratoire voisin de 1,5.

Pour amener le rapport réel des échanges de l'emballage à la valeur de 1,5, nous disposons de deux possibilités :

1° munir certaines parois de l'emballage de membranes plastiques de rapport $P \text{ CO}_2 / P \text{ O}_2$ faible (exemple de la cellophane N) ;

2° ménager un orifice de diamètre convenable, ce qui conduit à un complément d'échanges de rapport inférieur à 1.

III. DESCRIPTION DES CAISSONS A PAROIS DE MATIÈRE PLASTIQUE UTILISÉS

Ce sont des récipients fermés, constitués d'une ossature métallique indéformable sur laquelle sont collées soigneusement des feuilles plastiques de perméabilité convenable aux gaz (généralement de l'*éthylcellulose* (8)) Leur capacité minimale est de un demi-mètre cube. Sur le plancher métallique reposent les caisses de fruits (fig. 3).

La protection mécanique des parois plastiques est assurée : à l'intérieur par des barreaux placés parallèlement à quelque distance des parois et à l'extérieur par des panneaux grillagés. Il n'y a donc aucune entrave aux échanges gazeux.

Des orifices sont prévus dans l'ossature métallique pour effectuer les contrôles de composition gazeuse ou bien accroître éventuellement les échanges gazeux par une fuite réglable.

Les caissons à parois plastiques constituent des unités de stockage parfaitement autonomes. Ils peuvent être gerbés en hauteur et groupés, ce qui assure la protection mutuelle de certaines de leurs parois. Dans un grand caisson de 3 m³, la charge de 30 caisses de fruits peut être placée sur une palette de manutention et engagée à l'intérieur avec un élévateur à fourche. Ces récipients peuvent avoir des dimensions très variées.

IV. APPLICATION DE CETTE MÉTHODE A LA CONSERVATION DES POIRES WILLIAMS

La conservation en caissons a fait l'objet, au cours de cette campagne, d'une expérience à l'échelle semi-industrielle sur plusieurs variétés de fruits, notamment sur près d'une tonne de poires Williams et 500 kg de pommes Golden Delicious.

L'influence de la température a été le seul facteur étudié.

Caractéristiques des fruits à l'origine.

Les fruits provenant de Chambourcy (S.-et-O.) ont été cueillis le 18 août. Transportés aussitôt à la Station, ils ont été placés en chambre froide à 0° pour stopper leur évolution en attendant leur mise en caissons 3 semaines après. L'été exceptionnellement chaud nécessita des irrigations. Les fruits possédaient à la récolte les caractères suivants :

(1) La constante de perméabilité P à un gaz donné, en régime diffusif, correspond au nombre de centimètres cubes de gaz traversant la pellicule plastique par unité de surface, d'épaisseur et de temps sous une différence de pression Δp de 1 cm de mercure, dans des conditions déterminées de température et d'humidité relative du gaz, la pression atmosphérique étant ramenée à 760 mm de Hg.

Couleur : vert pâle à vert-jaune (267-333 du Code des couleurs de Séguy).

Fermeté : 6 kg (mesurée au pénétromètre type Bellevue).

Odeur : de fruit vert.

Saveur : peu acidulée, peu sucrée, léger parfum.

Poids frais moyen d'un fruit : 180 g.

Dispositif expérimental.

Les fruits ont été logés en caissons d'une capacité d'un demi-mètre cube à raison de 6 caisses standard de fruits par caisson, soit une charge de 150 kg environ. Trois de ces récipients ont été placés à chacune des deux températures choisies : + 7° (dans une chambre isotherme refroidie mécaniquement) ; + 12° (dans une galerie souterraine).

Les parois des caissons étaient constituées de feuilles d'éthylcellulose, d'épaisseur 76 μ , collées hermétiquement aux montants. Des fruits témoins sont restés à proximité dans l'air normal.

Évolution des fruits.

Nous examinerons successivement l'évolution aux deux températures.

1° EN CAISSONS À + 7°.

Les trois caissons placés à cette température ont été chargés ensemble le 15 septembre mais ouverts successivement après 4 semaines, 5 semaines 1/2 et 6 semaines de conservation. Ces lots de fruits seront nommés respectivement ci-après : « lot 4 », « lot 5,5 » et « lot 6 ».

Lors de chaque prélèvement, des fruits ont été réservés en vue d'un séjour complémentaire à 20°. Les tests de maturité effectués lors de ces opérations ont permis de suivre l'évolution des différents caractères des fruits (fig. 4).

Coloration. — L'évolution de la couleur s'est produite lentement. Les fruits du « lot 4 » étaient « jaune-jaune-vert » et 48 h de séjour à 18° ont suffi pour assurer leur jaunissement complet. Les lots « 5,5 » et « 6 » étaient totalement jaunes au moment de leur sortie.

Pertes de poids. — Les fruits sont restés fermes et bien turgescents, car la perte de poids, proportionnelle à la durée de conservation, est restée faible (1,1 % en

6 semaines). Notons que l'humidité relative du local était basse (70 %).

Fermeté. — On assiste à une chute progressive de la fermeté de la chair qui reste néanmoins comprise entre 2 kg et 3 kg pour les 3 lots. La maturation complémentaire de 48 heures à 20° a conduit à l'amollissement caractéristique du fruit parfaitement mûr (1,6 kg à 1,7 kg).

Odeur et saveur. — Les fruits du « lot 4 » avaient encore les caractéristiques des fruits verts : chair ferme juteuse mais peu sucrée et peu parfumée. Pour les lots « 5,5 » et « 6 » l'évolution gustative était très nette : chair mi-ferme, juteuse, sucrée et parfumée. La maturation complémentaire du lot « 4 » a produit de bons fruits : légèrement fermes, mais juteux, sucrés et parfumés. Celle du lot « 5,5 » marque la limite de la pleine maturité : les fruits avaient les mêmes qualités gustatives que ceux du lot « 4 », mais certains portaient un début de bletissement de la région du calice. Le lot « 6 » ne fut pas mis en maturation complémentaire par suite de la présence d'échaudure.

Maladies et altérations. — Le lot « 4 » n'a présenté à aucun moment la moindre maladie ou altération fongique. Une semaine et demie plus tard la maladie

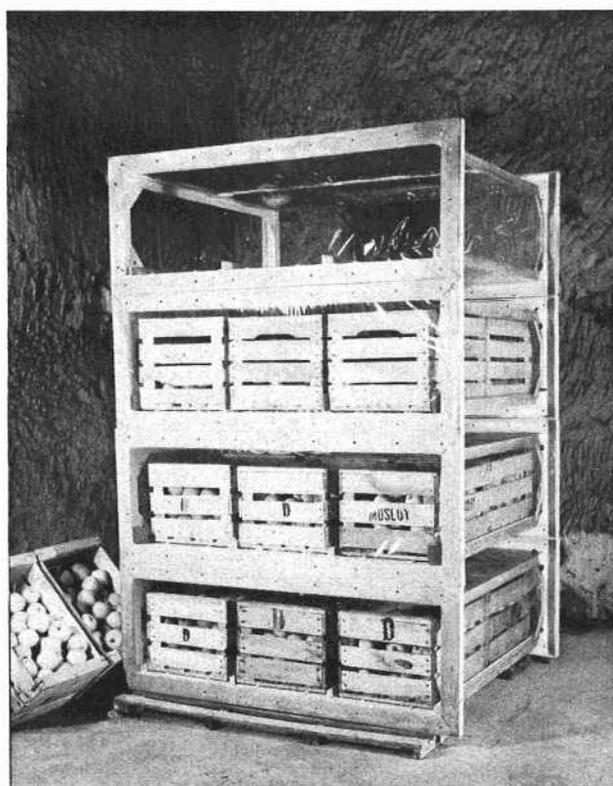


FIG. 3. — Groupe de caissons à parois de matière plastique (éthylcellulose) en service dans une ancienne carrière souterraine (Cliché C. N. R. S.).

de l'échaudure apparaissait sur le lot « 5,5 » et s'étendait pendant la maturation complémentaire. Par contre, il n'y eut aucun déchet par pourriture. L'échaudure était encore aggravée (40 % de fruits atteints) dans le lot « 6 ».

Comportement de fruits témoins à + 7° dans l'air. — Ces fruits ont eu une évolution physiologique totalement *anormale*. A la quatrième semaine de conservation, la coloration était très hétérogène (jaune-vert à jaune) et tous les fruits étaient atteints d'échaudure avec amollissement superficiel de la chair en dehors des zones échaudées. A la cinquième semaine, la fermeté de la chair était encore de 4,5 kg. La maturation complémentaire à 20° a permis le jaunissement complet mais aussi la généralisation de l'échaudure à la presque totalité de la surface des fruits. Sur une section nous avons observé un blettissement périphérique de la chair et le brunissement des vaisseaux. A la dégustation la chair fut trouvée juteuse, peu ou pas sucrée et en pleine fermentation alcoolique.

2° EN CAISSONS À + 12°.

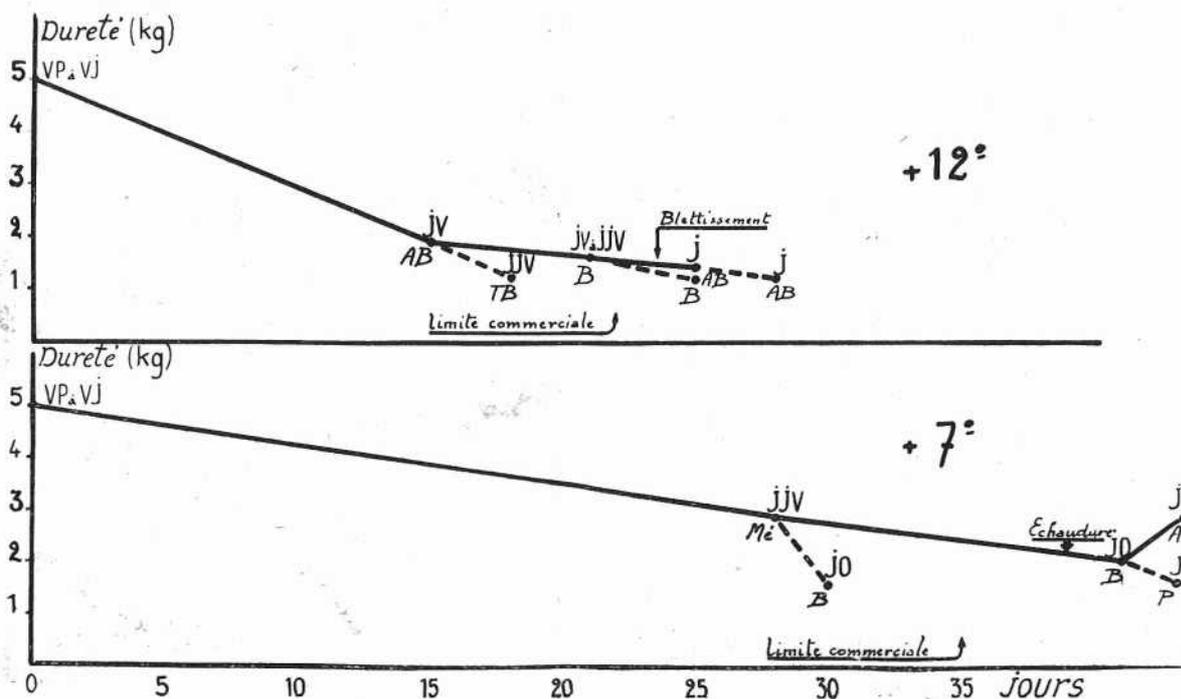
Trois caissons furent chargés ensemble le 11 septembre. Ils furent ouverts successivement après 15, 21 et 25 jours de traitement, constituant des lots que nous appellerons lot « 15 », lot « 21 » et lot « 25 ». Les

fruits furent examinés et un certain nombre d'entre eux placés en maturation complémentaire. Nous avons fait les observations suivantes :

Coloration. — L'évolution complète s'est effectuée dans les 25 jours de la conservation mais en cours de traitement on constatait une certaine hétérogénéité de couleur liée à la grosseur des fruits. Le lot « 15 » comportait des fruits vert très pâle à jaune-vert ; le lot « 21 » des fruits jaune-vert à jaune-jaune-vert mais dans le lot « 25 » presque tous les fruits étaient jaune pâle. Après une maturation complémentaire de 3 à 5 jours, le jaunissement était presque total pour les lots « 15 » et « 21 ».

Qualités gustatives. Dès le prélèvement du lot « 15 » nous avons constaté après sectionnement du fruit, une odeur très développée et bien caractéristique de la variété. Ces fruits étaient encore fermes, mais la maturation complémentaire leur a donné les qualités gustatives de très bons fruits mûrs. Le lot « 21 » était plus évolué, la chair des fruits étant déjà mi-ferme à tendre.

FIG. 4. — Variations de la couleur, de la dureté et des qualités gustatives de poires Williams conservées à 7° et 12° en caissons à parois plastiques. (En traits discontinus : évolution pendant la maturation complémentaire à + 20°.)
 Coloration des fruits : VP : vert pâle, VJ : vert jaune, JV : jaune vert, JJV : jaune avec traces de vert, J : jaune.
 Qualité des fruits : M : médiocre, P : passable, AB : assez bon, B : bon, TB : très bon.



Après maturation à 20°, la chair était assez fondante, un peu aigrelette, juteuse, sucrée et parfumée ; quelques fruits présentaient des zones de blettissement. Le lot « 25 » était mûr dans le caisson et de nombreux fruits présentaient des signes de blettissement. La durée excessive de la conservation était évidente pour ce dernier lot.

Maladies et altérations. — Aucun de ces lots de fruits n'a été atteint d'échaudure. Le déchet par altérations fongiques a été de 2 % pour le lot « 15 », 3,3 % pour le lot « 21 », 10 % pour le lot « 25 ».

Pertes de poids. — La forte humidité du local de conservation a contribué à freiner sensiblement la transpiration des fruits, puisque la perte de poids du lot « 15 » fut inférieure à 1 % et celle des lots « 21 » et « 25 » égale à 2 %.

Comportement de fruits témoins à + 12° dans l'air. — Ces fruits ont effectué en une semaine une maturation tout à fait normale.

Composition de l'atmosphère des caissons à parois de matière plastique.

L'évolution des compositions gazeuses est présentée sur le graphique ci-joint (fig. 5). Après l'appauvrissement rapide en oxygène de l'atmosphère pendant la première phase du traitement, la stabilisation de sa concentration est assurée par l'ouverture d'un orifice calibré. Les teneurs élevées de gaz carbonique (10 et 12 %), dangereuses aux basses températures n'ont eu aucune influence fâcheuse sur le métabolisme ainsi que l'avaient déjà montré KIDD et WEST (9).

Remarques.

Ces expériences, conduites sur d'importantes quantités de fruits, démontrent les possibilités pratiques d'emploi des caissons à parois plastiques. Les durées de conservation peuvent paraître courtes, mais nos connaissances de la physiologie des fruits dans ces conditions très particulières de « climat » sont encore trop fragmentaires pour que nous considérions un tel résultat comme définitif.

D'autre part, l'examen des cours pratiqués chaque année aux Halles de Paris pour les poires Williams, montre qu'une conservation de 4 à 6 semaines rend possible la commercialisation à une très bonne époque de vente.

Nous considérons que l'expérience doit être poursuivie pour éliminer certaines causes qui ont contribué à abrégé la conservation :

1° Conditions climatiques exceptionnelles ayant conduit à une récolte trop tardive.

2° Fruits issus d'un verger irrigué (très gros fruits).

3° Séjour au froid avant traitement.

4° Teneurs en oxygène trop élevées.

V. APPLICATION DE LA MÉTHODE A LA CONSERVATION DES POMMES « GOLDEN DELICIOUS »

Connaissant la difficulté du jaunissement de cette variété, nous avons étudié uniquement le comportement de fruits parvenus, à la récolte, à divers stades de coloration. Décrivons les résultats obtenus. A 12°, dans des conditions normales, cette pomme est mûre environ 4 semaines après sa récolte ; elle est flétrie et « passée » à la fin du 2^e mois.

Dans une galerie souterraine, naturellement fraîche (+ 12°), nous avons placé en caissons, à la récolte (10 octobre), des fruits parvenus les uns au stade « vert » (lots V), les autres au stade « jaune-vert » (lots JV) puis également, un mois après, des fruits « jaunes » ayant mûri dans les mêmes conditions, à l'air libre (lots J).

Ces fruits provenaient de la Coopérative Fruitière de la Ferté-Milon (Aisne).

Courant février, les caissons renfermant les lots V et JV ont été ouverts, la température de 12° étant maintenue. A ce moment, les tests de maturité ont permis d'apprécier l'état des fruits. On a constaté essentiellement :

1° une évolution très nette de la coloration des 2 lots (le lot V devient jaune-vert et le lot JV devient jaune-jaune-vert) ;

2° très peu de changement des qualités gustatives. Les fruits n'étaient pas mûrs.

Les pertes de poids étaient d'environ 1 % et le déchet par altérations fongiques de 3 %.

Le maintien des 2 lots dans l'air à + 12° a permis l'évolution très lente de leur maturation.

Ainsi le jaunissement complet a été obtenu en 4 semaines pour le lot « V » et en 2 semaines pour le lot « JV ».

Les caractéristiques de maturité étaient alors les suivantes : les fruits du lot « V » avaient une chair tendre (2,4 kg) juteuse, assez bien sucrée et parfumée. C'étaient de bons fruits parvenus à leur pleine maturité. Les fruits du lot « JV », d'un jaune plus doré, étaient légèrement plus fermes (dureté : 2,7 kg) et le développement faible de la saveur et du parfum traduisait une maturité incomplète.

Nous avons également contrôlé l'évolution de ces fruits placés pendant 1 semaine à $+20^{\circ}$. Après ce séjour, les qualités gustatives du lot « V » restaient inchangées tandis que celles du lot « JV » traduisaient le début de la pleine maturité par l'enrichissement en sucre et le développement du parfum.

Au mois d'avril, des fruits de ces deux lots étaient toujours conservés à 12° dans l'air et nous ne constatons aucun changement notable de leurs qualités.

Les fruits du lot « J » ont été conservés en caissons jusqu'en décembre, soit un mois et demi seulement, puis maintenus encore 10 jours à la température de 20° . Leur « prématuration » d'un mois avant séjour en caisson les avait amenés à maturité complète. Nous leur avons trouvé les mêmes qualités gustatives, à l'ouverture du caisson et après séjour à 20° . Ils n'ont été atteints d'aucune altération.

Ces résultats rappellent, quant à la durée de conservation, les possibilités de la conservation frigorifique classique. Dans les caissons s'est créée rapidement une atmosphère modifiée de composition très stable contenant 2 % d'oxygène et 5 % de gaz carbonique, le reste étant de l'azote (fig. 6), et ce mélange a suppléé le froid intense habituellement appliqué. Nous voyons qu'un local naturellement frais peut suffire si l'on applique ce procédé.

Deux autres variétés de pommes ont été conservées avec succès en caissons expérimentaux de plus petites dimensions, contenant environ 7 kg de fruits. Il s'agis-

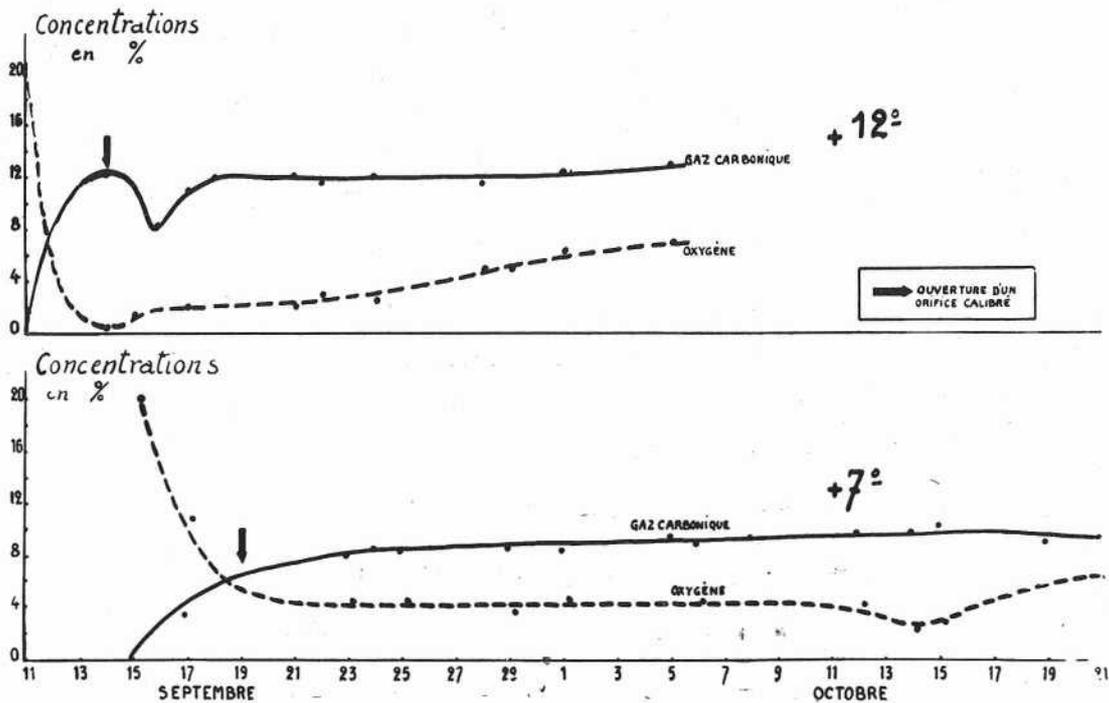
sait des variétés d'origine américaine « Starking » et « Richared » dont la durée de conservation est nettement plus courte que celle de la variété « Golden Delicious ». Les fruits utilisés provenaient des vergers de la Coopérative Fruitière de la Ferté-Milon (Aisne).

La variété « Richared » a été récoltée le 7 octobre et placée en caissons le 12. A ce moment, les fruits avaient déjà une coloration jaune avec traces de vert dans les quelques espaces dépourvus de la forte pigmentation rouge, caractéristique de la variété. Parfaitement consommables, leur chair très sucrée et très parfumée était ferme (Dureté 3,5 kg) et dépourvue d'acidité. Cet état d'évolution nous a incités à limiter la conservation à 8 semaines environ.

Le 8 décembre, à l'ouverture du caisson, les fruits étaient toujours sucrés et parfumés quoique moins intensément qu'à l'origine ; leur chair était juteuse et tendre (dureté 2,2 kg). Un nouveau contrôle de maturité, après un séjour d'une semaine à 20° , a montré que la fermeté des fruits restait inchangée mais que la texture de la chair devenait légèrement farineuse. Nous étions parvenus à cette date à la limite de durée de la conservation commerciale.

Les pertes de poids ont été de 2 % (l'atmosphère du

FIG. 5. — Teneurs en gaz carbonique et en oxygène de l'atmosphère de caissons à parois d'éthylcellulose garnis de poires Williams et maintenus à $+7^{\circ}$ et $+12^{\circ}$.



local de conservation étant très sèche). Il n'y eut aucune altération fongique ou physiologique.

La conservation à 12° de fruits témoins dans l'air normal a été très courte, car les fruits ont acquis une texture farineuse au cours de la 3^e semaine.

Ainsi, la présence d'une atmosphère modifiée a permis de tripler sensiblement la durée de la conservation à 12°. La composition de l'atmosphère a été, en régime, 5,4 % de CO₂ et 2,8 % d'O₂.

La variété « Starking » a été récoltée le 4 octobre et mise en caisson à 12° le 12 octobre. La couleur de fond, souvent masquée par la forte pigmentation rouge, était *vert-jaune très pâle*. Quoique plus tendres que les fruits de la précédente variété (dureté 3,1 kg), leur chair juteuse et croquante était assez sucrée et dotée d'un parfum caractéristique. Les fruits étaient donc déjà consommables mais non parfaitement mûrs.

La composition gazeuse s'est stabilisée vers 1 % d'oxygène et 4,5 % de gaz carbonique. A l'ouverture du caisson, le 25 janvier, nous avons noté une évolution presque totale du jaunissement (jaune avec trace de vert) et l'amollissement de la chair (dureté 2,3 kg). A la dégustation, nous avons trouvé les fruits de bonne qualité, juteux, sucrés et parfumés, quelquefois légèrement farineux. Quelques taches d'échaudure ont été relevées, ce qui prouve que cet accident physiologique n'est pas exclusivement le fait d'un séjour aux basses températures.

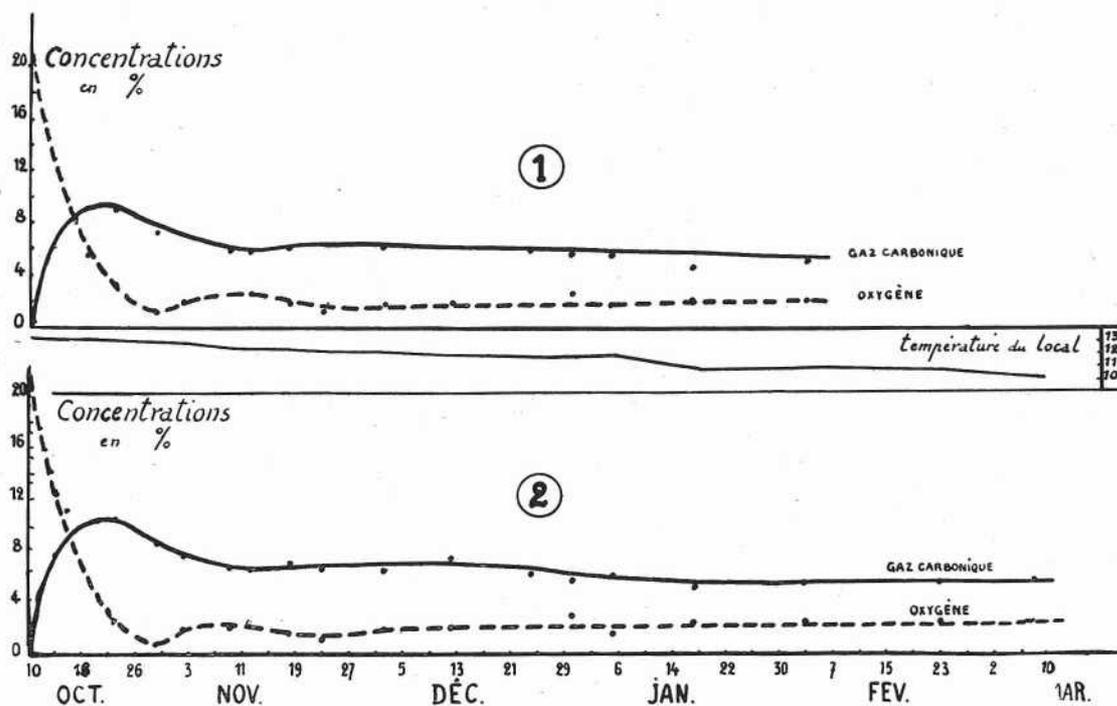
Une maturation complémentaire d'une semaine à + 20° n'a apporté que peu de modifications ; chair plus tendre (2,0 kg), mêmes qualités gustatives. La perte de poids de 4,8 % s'explique par la faible humidité relative de l'atmosphère, les membranes plastiques utilisées (éthylcellulose et cellophane) ne s'opposant que faiblement aux échanges de vapeur d'eau.

Les altérations fongiques ont été rares : quelques cas de pourriture du calice ont seuls été observés.

La conservation d'une partie des fruits a été poursuivie à 12°, à l'air libre jusqu'au 15 février (4 mois après la récolte). A cette date, les fruits étaient très tendres (1,6 kg), farineux, mais toujours assez sucrés et dotés du parfum caractéristique de la variété. On atteignait à ce moment le seuil de la sénescence.

Les fruits témoins maintenus à 12° hors du caisson étaient déjà parfaitement mûrs mi-novembre. Nous voyons que dans une atmosphère stabilisée aux concentrations de 4,5 % de CO₂ et 1 % d'O₂, la durée de conservation a été quadruplée ; le ralentissement de la maturation est devenu comparable à celui qu'on obtient au froid (0°).

FIG. 6. — Teneurs en gaz carbonique et en oxygène de l'atmosphère de caissons à parois d'éthylcellulose garnis de pommes Golden Delicious récoltées à deux stades de coloration différents et maintenus à + 12°.
1. Fruits vert pâle à la récolte.
2. Fruits jaune-vert à la récolte.



CONCLUSIONS

Ce procédé de conservation en atmosphère contrôlée offre de nombreux avantages et l'emploi de caissons à parois sélectivement perméables aux gaz permet de simplifier la technique classique de KIDD et WEST. Les principaux avantages sont les suivants :

1° Le prix de revient d'exploitation se trouve réduit grâce à la suppression du revêtement étanche aux gaz des chambres froides et des dispositifs d'épuration (scrubbers). Les appareils constituent un équipement fixe, réutilisable à chaque nouvelle campagne, et le renouvellement de leurs parois plastiques est facile et peu onéreux.

2° En conservant les fruits en caissons, on réalise une économie de froid importante puisqu'il suffit d'un simple rafraîchissement artificiel des locaux (entre 7 et 12°) lorsqu'on ne dispose pas de souterrains ou de caves profondes naturellement fraîches.

3° Les caissons constituent des unités de conservation autonomes. On peut à tout moment faire cesser le traitement gazeux de l'un d'entre eux (en retirant une de ses parois plastiques) sans modifier le comportement des autres. Sur place, dans le récipient même de conservation, on peut effectuer la maturation complémentaire par le seul retour à l'air.

4° Les températures modérées que nous adoptons favorisent la lente évolution de la maturation et les fruits peuvent y gagner en qualité (saveur, parfum).

5° Ce procédé permet la réalisation aisée de compositions gazeuses favorables à chaque variété grâce à l'utilisation de diverses pellicules plastiques ayant des caractéristiques de perméabilité appropriées. Il est facile de contrôler et de rectifier éventuellement ces compositions automatiquement créées par l'ouverture d'orifices calibrés.

Comme pour la conservation frigorifique classique, il faut être averti des durées maximales de survie des fruits et ne pas demander à cette technique plus qu'elle ne peut donner.

Les résultats obtenus sont encourageants et de nouvelles recherches sur la physiologie des fruits aux températures peu inférieures à la température ordinaire et en atmosphères contrôlées sont prévues pour l'automne prochain.

(Laboratoire de Biologie végétale,
Station du Froid de Bellevue, C. N. R. S.).

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

1. Voir :

- ULRICH (R.). — *La conservation par le froid des denrées d'origine végétale*, 1954, J. B. Baillière, 328 pp.
- ULRICH (R.) et MARCELLIN (P.). — *Annales de la Nutrition et de l'Alimentation*, vol. IX, n° 5-6, 1955, p. A 265-294.
2. SMOCK (R. M.). — *C. R. X^e Congrès Intern. du Froid, Copenhague, 1959* (sous presse).
3. SCOTT (L. E.) et TEWICK (S.). — *Proceed. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1947, 49, 130.
4. APP (J), LORANT (G. J.), WORTHINGTON (O. J.) et WIEGAND (E. H.). — *Ice and Refrig.*, 1951, mai, p. 43, et juin, p. 31.
5. HARDENBURG (R. E.). — *Proceed. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1951, 57, 277-84.
6. PLAGGE (H.). — *Brevet U. S. A.*, n° 2611709, 23 sept. 1952.
7. MARCELLIN (P.). — *Rev. Génér. du Froid*, 1958, p. 715-719. *C. R. X^e Congrès Intern. Froid*, Copenhague, 1959 (sous presse).
8. LEBLOND (C.). — *Brevet français*, n° PV. 800797, 22 juill. 1959.
9. Voir ULRICH (R.). — *La conservation par le froid des denrées d'origine végétale*, 1954, J. B. Baillière, p. 118.