

# Une grave maladie de l'entreposage frigorifique des pommes et des poires : L'ÉCHAUDURE

par

**P. MARCELLIN**

et

**C. LEBLOND**

SOUS-DIRECTEUR DE LABORATOIRE

INGÉNIEUR

AU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE.

Au cours de leur conservation en frigorifique, les fruits, les pommes, par exemple, évoluent lentement vers la maturité de consommation. Cette évolution, que nous appelons la maturation, est caractérisée par une intense activité biochimique qui modifie d'ailleurs profondément ces organes dans leur aspect et leur composition. Les conditions de milieu réalisées en entrepôt frigorifique (température, hygrométrie, agitation et renouvellement de l'air) peuvent se révéler quelquefois défavorables, troublant alors le métabolisme normal. Divers accidents pathologiques d'origine non parasitaire peuvent en être la conséquence :

1° Des manifestations mineures, mais

cependant très démonstratives des perturbations du métabolisme telles que : défauts de qualité gustative (acidité excessive, absence de saveur sucrée ou de parfum), persistance de la coloration verte de l'épiderme, etc.

2° Des perturbations plus graves, résultant sans doute de la formation au sein des fruits de substances nocives, entraînant au moins localement la mort des fruits :

- superficiellement : échaudure ;
- en profondeur : dégradation interne, cœur brun, par exemple.

Il s'agit là de véritables maladies apparaissant spontanément au cours de la conservation. D'autres altérations pro-

voquées par des actions mécaniques (manipulations, chocs), peuvent aussi se traduire par un brunissement superficiel. Une étude complète de ces troubles physiologiques dépasserait largement le cadre d'un article. Aussi avons-nous jugé préférable de porter toute notre attention sur l'échaudure. Cette maladie, très fréquente sur les pommes et les poires, est une cause sérieuse de dépréciation sur le plan commercial. Sa gravité n'a pas échappé aux producteurs de fruits, et des recherches fructueuses menées dans de nombreux pays ont permis d'étendre nos connaissances sur son origine et sur les moyens d'éviter son apparition.

## SYMPTÔMES DE LA MALADIE ET CONDITIONS FAVORABLES A SON APPARITION

### I. DESCRIPTION DE LA MALADIE SUR LES POMMES ET LES POIRES

L'échaudure est un trouble physiologique qui apparaît habituellement sur des fruits ayant subi une conservation

frigorifique de longue durée. La maladie peut n'apparaître qu'après le séjour au froid, au retour à la température ordinaire. Elle se traduit toujours par un brunissement superficiel. Cependant, l'aspect des altérations groupées sous le terme d'*échaudure* est très variable.

Une certaine confusion règne d'ailleurs dans la classification des différentes formes d'échaudure (ou « scald » des Anglais). Nous examinerons seulement celles qui ont essentiellement un caractère superficiel.

Les pommes et les poires peuvent

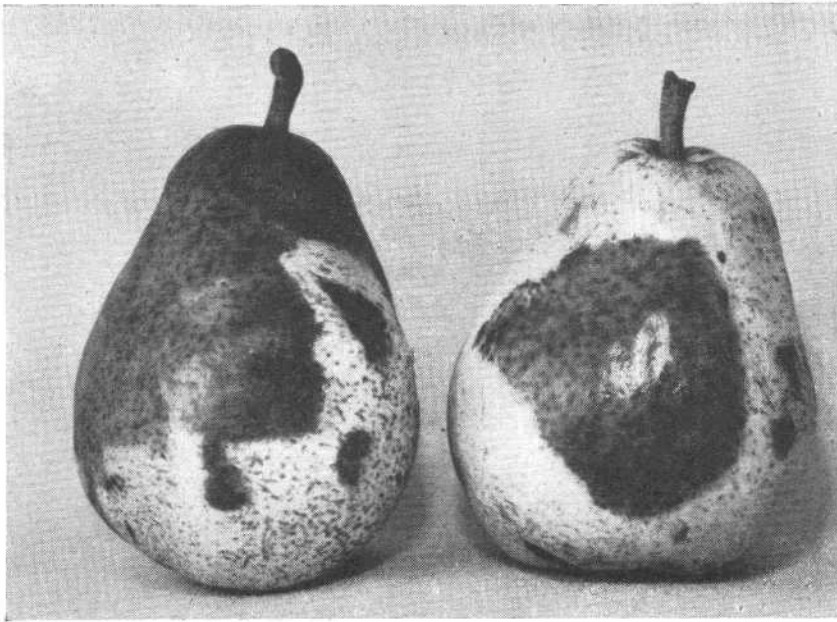


FIG. 1. — Échaudure classique sur poire (var. Williams). (Orig.).

présenter trois aspects de la maladie. Dans le cas le plus général, la peau du fruit brunit progressivement par zones plus ou moins définies, tendant peu à peu à s'affaïsser. Cependant, le fruit reste ferme, car seules les couches de cellules épidermiques et hypodermiques sont atteintes. C'est l'aspect typique de l'échaudure des poires Williams si fréquemment rencontrée en frigorifique en fin de conservation (fig. 1).

Les pommes sont sujettes à une forme plus particulière : l'échaudure rugueuse qui, comme la précédente, affecte selon sa gravité tout ou partie de la surface du fruit, mais épargne une petite zone circulaire autour de chaque lenticelle. Certaines variétés françaises de pommes sont souvent atteintes de cette manière, notamment Belle de Boskoop (fig. 2).

On rencontre encore l'échaudure dite lenticellaire, qui à l'inverse de l'échaudure rugueuse atteint d'abord les lenticelles donnant ainsi un aspect piqueté aux fruits. Ce n'est qu'à un stade plus avancé qu'elle s'étend à l'épiderme environnant (fig. 3).

D'une manière générale, l'échaudure affecte les couches cellulaires les plus externes (fig. 4). L'étude histologique de la progression de la maladie, effectuée par BAIN (1956), montre que les premières cellules en voie de mortifi-

cation (brun clair) sont celles de l'hypoderme le plus extérieur. Le brunissement intéresse, ensuite, l'ensemble de l'hypoderme, puis les premières assises du parenchyme profond. Finalement, l'épiderme brunit à son tour sur un hypoderme complètement affaïssé.

Certains brunissements superficiels peuvent être confondus avec l'échaudure. C'est le cas notamment des lésions résultant de l'action toxique de certains produits (huiles, émulsifiants, etc.). FIDLER (1954 a) les observe, par exemple, sur les pommes Bramley's Seedling et Lord Derby. Les huiles minérales, même parfaitement raffinées, les huiles végétales capables de s'oxyder, et certains de leurs émulsifiants peuvent provoquer la mort des tissus superficiels au même titre que l'échaudure.

Une autre forme d'accident physiologique d'aspect très voisin de l'échaudure s'observe dans le cas particulier d'une mise en conservation frigorifique tardive. Il s'agit de certains brunissements superficiels des poires observés en fin de conservation après le retour des fruits à la température ambiante. Selon SMITH (1946), ces accidents seraient provoqués par les contacts et les manipulations, lors des opérations de tri et de calibrage avant la conservation. Nous avons observé dans des con-

ditions comparables des lésions brunes superficielles sur poires Williams et Curé que nous avons attribuées à une sensibilité de l'épiderme accrue à la suite d'un séjour prolongé au froid.

Nous citerons, pour mémoire, quelques formes de brûlures superficielles des fruits, que la littérature de langue anglaise désigne aussi parfois sous le nom de « scald » : les brûlures de soleil, accidents peu fréquents en France, dues à un échauffement local intense du fruit, les brûlures par traitements fongicides, enfin, l'échaudure molle (soft scald) qui est en fait une maladie physiologique à caractère profond résultant, semble-t-il, d'un choix incorrect de la température de conservation (voir fig. 5 et 6).

Dans tous les cas, ces altérations, résultant de l'action de facteurs différents, aboutissent à la mort des cellules superficielles, c'est pourquoi leurs symptômes, plus ou moins comparables, sont à l'origine de confusions.

## II. LES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉCHAUDURE

Toutes nos variétés de pommes et de poires n'ont pas la même sensibilité à

l'échaudure et, parmi les variétés particulièrement sensibles, les dégâts occasionnés peuvent varier d'intensité suivant les années, le lieu de récolte, et même d'un arbre à l'autre, dans un même verger.

Les observations concernant les conditions d'apparition de la maladie sont extrêmement nombreuses. Voici déjà plus de 50 ans que POWELL et FULTON ont apporté une contribution importante à l'étude de cette question. Grâce aux expériences entreprises depuis par un grand nombre de chercheurs, les conditions d'apparition de la maladie ont pu être imputées à de nombreux facteurs relatifs, soit au verger, soit à l'entreposage. Précisons par quelques exemples.

#### A. Facteurs écologiques.

##### a) Conditions climatiques.

Tout arboriculteur cultivant des variétés sensibles à la maladie a pu remarquer qu'il y a des années « à échaudure ». La température, la pluviosité et l'ensoleillement sont les facteurs climatiques essentiellement mis en cause.

Une étude très complète portant sur les observations de 10 années a été faite en Angleterre par FIDLER (1956) sur des pommes King Édouard VII. L'auteur aboutit à des conclusions qui confirment, dans une certaine mesure, les observations de CARNE (1948) sur le même sujet. Pour ces auteurs l'échaudure se révèle particulièrement grave, en cours de conservation, après un été chaud, sec, très ensoleillé. Les conditions d'apparition de la maladie seraient étroitement liées à l'état physiologique des fruits et, notamment, à leurs caractéristiques de transpiration et de perméabilité à la vapeur d'eau. FIDLER (1956), après CARNE (1948) a remarqué que l'échaudure est négligeable sur des fruits provenant de vergers irrigués, dont la perte d'eau était importante pendant la conservation, alors qu'elle est, au contraire, fréquente sur des fruits de vergers établis en terrain sec.

Les expériences que nous avons faites ces dernières années, sur la pomme Belle de Boskoop aboutissent, cepen-

dant, à des conclusions différentes. Les fruits d'un même verger, soumis aux mêmes conditions de récolte et de conservation, ont été plus fréquemment atteints d'échaudure les années à été pluvieux et froids. PENTZER et HEINZE (1954) rapportent également qu'une trop forte irrigation des vergers présente des risques d'aggravation de la maladie. Il semble donc difficile de tirer des conclusions générales dans le présent sur les conditions climatiques favorables à l'échaudure.

b) *Caractéristiques du verger* (sol, âge des arbres, etc.).

CARNE (1940) a montré que l'échaudure était plus ou moins grave selon l'importance de la récolte ; les récoltes faibles se révélaient les moins atteintes. Les sols argileux, les fumures azotées excessives (SMOCK et NEUBERT) sont défavorables à une bonne tenue des fruits en entrepôt. Il est également bien connu des praticiens que les jeunes arbres donnent des fruits de moins bonne conservation que les arbres âgés et en particulier plus souvent altérés par l'échaudure.

c) *Degré de maturité des fruits à la cueillette.*

Une récolte prématurée pour les pommes et un degré de maturité, au contraire, trop avancé des poires, à la mise au froid, favorisent le développement de l'échaudure. Malheureusement, la date optimum de récolte est souvent mal connue (quelques variétés seulement ont été bien étudiées à ce point de vue) et les erreurs d'appréciation à la cueillette sont souvent lourdes de conséquences. D'autre part, il n'est pas toujours matériellement possible à l'arboriculteur d'effectuer toute la cueillette d'une même variété dans la courte période de prématurité convenable.

#### B. Caractères des fruits.

##### a) *Variété.*

Certaines variétés de pommes sont particulièrement sensibles à l'échaudure : Belle de Boskoop en France, Canada et Reinette Grise en Suisse, Rhode Island Greening, Rome Beauty

et Yellow Newton aux États-Unis. Les variétés très colorées ou à épiderme cireux sont réputées peu sujettes à l'échaudure ; d'autre part, ce sont généralement des variétés à gros fruits qui sont les plus sensibles (exemple : Granny Smith, Belle de Boskoop).

Les poires Comice, Clairgeau et surtout Williams sont parmi les plus affectées par la maladie. Aux États-Unis, OVERHOLSER et LATIMER signalent que la variété Anjou ne l'est pas.

##### b) *Taille et pigmentation du fruit.*

Nous avons remarqué, avec d'autres observateurs, la sévérité de la maladie sur les fruits les plus gros d'une récolte donnée.

L'échaudure n'apparaît pas n'importe où sur les fruits : les pommes américaines, anglaises, australiennes, sont plus particulièrement atteintes sur leurs parties vertes ; l'inverse est constaté en France et en Suisse (STOLL) sur Belle de Boskoop.

#### C. Conditions de mise au froid et d'entreposage.

Un retard à la mise en conservation frigorifique est réputé néfaste. WHITEHOUSE a prouvé que cette pratique n'était admissible que pour des récoltes anticipées. Selon BROOKS, COOLEY et FISHER (1923) ainsi que KIDD et WEST (1935), la maladie s'établit à l'état latent dans le fruit au cours des premières semaines suivant la récolte. Aucune explication n'a été donnée de cette sensibilité précoce des fruits.

D'après BROOKS et COOLEY (1917), l'échaudure apparaîtrait d'autant plus tôt, entre 0° et 20° C, que la conservation est effectuée à température plus élevée ; mais ces auteurs signalent que la maladie est inexistante à 30° C.

L'efficacité de la ventilation et la fréquence des renouvellements de l'air sont deux facteurs dont l'importance a été établie dès les premières observations de POWELL et FULTON.

Au cours d'expériences (1957) sur Belle de Boskoop, nous avons noté 64% de fruits échaudés à la fin d'une conservation de 5 mois à + 4° en atmosphère semi-confinée et aucune échaudure

deur en atmosphère largement ventilée. Le danger d'une forte hygrométrie a été signalé par BROOKS et COOLEY (1916), puis par KIDD et WEST (1933), mais en l'absence d'aération. Hygrométrie élevée et fortes concentrations de substances volatiles vont souvent de pair et augmentent grandement les risques de maladie.

Les produits émis par les fruits ont un rôle certain dans le processus de déclenchement de l'échaudure. Parmi eux, l'éthylène, considéré comme un puissant stimulant de la maturation aux températures élevées aurait une action très réduite dans nos conditions habituelles de conservation (0, + 4°). Ce gaz serait pourtant responsable de taches lenticellaires qui apparaissent parfois en entrepôt (FIDLER, 1954 b).

Les composés odorants émis au cours de la maturation sont de natures diverses : esters, aldéhydes, alcools, produits terpéniques, etc. Leurs vapeurs, qui se répandent dans les locaux d'entreposage, seraient plus ou moins toxiques pour les fruits eux-mêmes, à des concentrations extrêmement faibles. BROOKS, COOLEY et FISHER (1919) ont, avec certains de ces composés volatils, provoqué l'échau-

deur sur des pommes. BOTTINI (1932) a obtenu, plus récemment, sur poires Curé, les mêmes brunissements superficiels ; cet auteur a noté une toxicité maximum de l'acétaldéhyde et de l'acétate d'amyle, une toxicité plus limitée de l'acétate d'éthyle, enfin, une très faible toxicité de l'alcool éthylique. Nous avons nous-mêmes observé la toxicité de l'acétate d'éthyle sur poires Comice avec apparition de larges taches brunes superficielles. (ULRICH et MARCELLIN, 1951).

Dans la pratique, les produits volatils émis par certains fruits sont capables d'influencer le développement de la maladie sur d'autres fruits placés dans le même local.

Le danger d'échaudure se trouve donc accru dans des conditions de conservation groupant des fruits de variétés ou d'espèces différentes ou de même variété mais de maturité hétérogène (pré et postclimactérique). C'est pourquoi les règles fondamentales d'entreposage, concernant la séparation des variétés de fruits, la ventilation et les renouvellements d'air, gagneraient à être observées avec plus de rigueur dans la pratique.

Notons enfin que la conservation en

atmosphère contrôlée (gas storage) crée des conditions de confinement très favorable à l'échaudure. Au Canada, ce mode de conservation est tenu pour sensibiliser une variété comme Mc Intosh qui, d'ordinaire, n'est jamais atteinte.

## MESURES PRÉVENTIVES CONTRE L'ÉCHAUDURE

Les moyens préventifs actuels contre l'échaudure peuvent, semble-t-il, être répartis en deux groupes :

— Moyens susceptibles d'éliminer ou d'absorber les produits volatils émis par les fruits.

— Moyens propres à réduire la sensibilité des fruits à l'échaudure.

Examinons plus en détail chacun de ces groupes de techniques.

### I. MOYENS SUSCEPTIBLES D'ÉLIMINER OU D'ABSORBER LES PRODUITS VOLATILS ÉMIS PAR LES FRUITS

#### A. Aération et ventilation des fruits en entrepôt.

De nombreux auteurs considèrent l'aération active des fruits, au cours de leur conservation, comme un des meilleurs moyens de réduire l'échaudure. L'accumulation des essences émises par les fruits est généralement rendue responsable de leur intoxication ; on conçoit alors qu'une bonne ventilation, alliée à des renouvellements d'air suffisants, puisse éviter ce danger.

D'une manière plus précise, il faut souligner que le problème de l'aération et de la ventilation des entrepôts se pose avant tout au niveau des fruits eux-mêmes. De nombreux obstacles s'opposent, à l'entrepôt, à la réalisation de cette aération, en particulier l'entassement des fruits, l'absence de ventila-

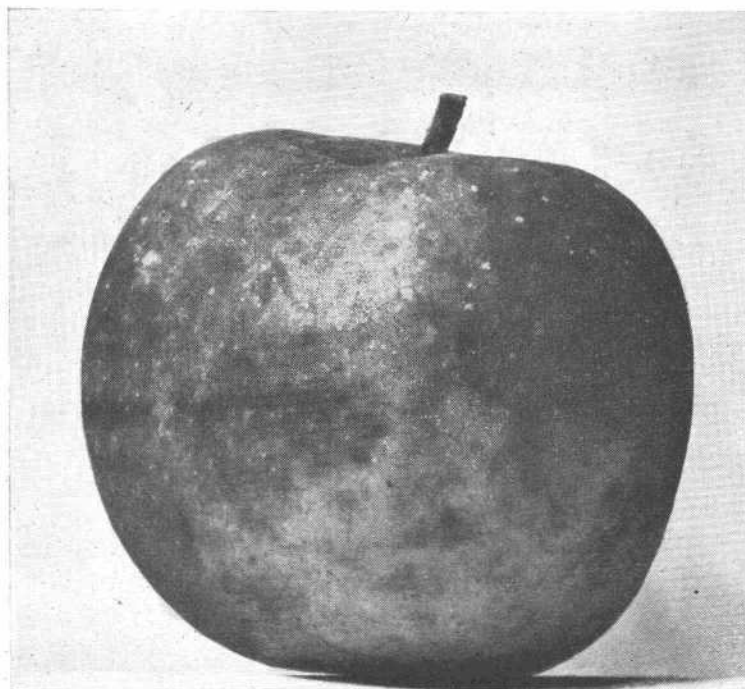


FIG. 2. — Échaudure rugueuse sur pomme (var. Belle de Boskoop). Les zones lenticellaires apparaissent en relief (points clairs). (Orig.).

tion dans certaines zones du local, et la présence des emballages. La structure et la disposition des caisses, plateaux, cagettes, etc., doivent permettre une bonne aération de leur contenu. Dans ce but, on veillera aussi à utiliser des papiers d'emballage (doublures de caisses, enveloppes individuelles) suffisamment perméables. D'une manière générale, des emballages appropriés gagneraient à être étudiés en vue du stockage des fruits sensibles à l'échaudure.

## B. Purification de l'air des chambres de conservation.

### a) Utilisation des filtres à charbon actif.

FONTANEL a été le premier à recommander les charbons actifs pour la désodorisation des chambres froides. On emploie notamment à cet effet des « purificateurs d'air » mobiles, constitués par un puissant ventilateur sur la canalisation d'aspiration duquel s'adaptent plusieurs filtres en fin grillage remplis de charbons granulés spéciaux. Ces appareils permettent d'éviter de trop fréquents renouvellements d'air souvent difficilement réalisables et coûteux aux époques chaudes de l'année. Les charbons actifs seaturent plus ou moins rapidement de substances odorantes et doivent être périodiquement remplacés ou régénérés. La qualité de leur pouvoir d'adsorption, au moment de l'emploi, est extrêmement importante à connaître. L'échec de nombreux essais de désodorisation effectués en vue de limiter l'échaudure résulte probablement de l'emploi de charbons inadéquats.

Le pouvoir adsorbant de certains charbons artificiels, vis-à-vis des substances volatiles des fruits, a été mis à profit, depuis quelques années déjà, aux États-Unis pour réduire l'échaudure. SMOCK et ses collaborateurs (1945) ont adopté le charbon de noix de coco, qui s'est révélé un puissant adsorbant des substances volatiles non éthyléniques. L'éthylène, en effet, n'est pas adsorbé par les charbons actifs aux températures d'entreposage et il faut préparer des charbons bromés (d'un usage d'ailleurs très incommode) pour

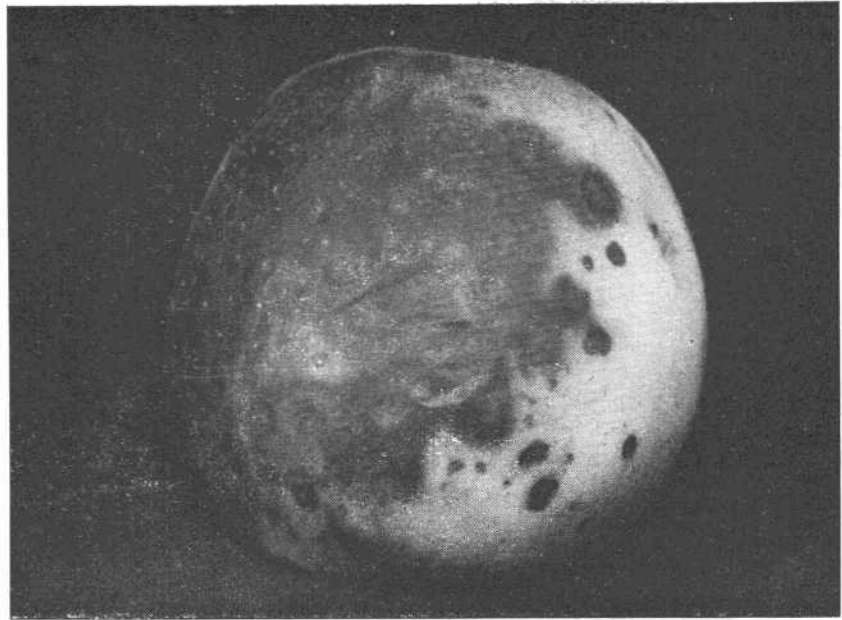


FIG. 3. — Échaudure lenticellaire sur pomme (var. Lancashire) — Quelques taches lenticellaires sont visibles sur la partie droite du cliché. A gauche, extension de la maladie à toute la surface du fruit. (Orig.).

FIG. 4. — Mise en évidence du caractère superficiel de l'échaudure. L'épiderme (retiré ici) se sépare facilement des assises hypodermiques, mortes ou desséchées. Sur ce cliché, ces assises apparaissent en sombre sur la zone claire du parenchyme sous-jacent resté indemne. (Orig.).

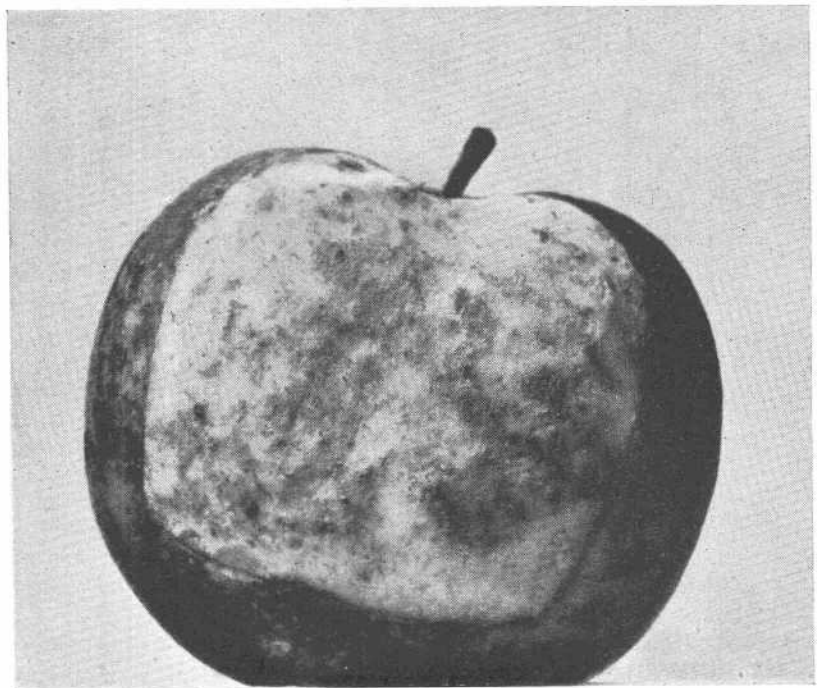


TABLEAU I

Pourcentages de pommes (Rhode Island Greening) atteintes d'échaudure, en présence ou en l'absence de charbon actif ou de copeaux huilés (SMOCK 1955).

Lots	Échaudure en fin de conservation	Échaudure après 5 jours à 21° C
Témoin.....	50	100
Charbon actif.....	0	29
Copeaux huilés.....	72	94

fixer ce gaz. Dans le tableau I figurent quelques résultats obtenus par SMOCK, en 1955, sur la pomme Rhode Island Greening, montrant l'efficacité des charbons actifs.

Malheureusement, le rôle bénéfique de l'épuration de l'air par le charbon de noix de coco semble lié, pour une même variété, au degré de maturité des fruits traités. Dans le tableau II sont rapportés des résultats empruntés à MAXIE et BAKER (1954) sur l'efficacité du charbon actif en fonction du stade physiologique de deux variétés de pommes.

Les Canadiens, dont HOPE (1946), obtiennent, également, une réduction de l'échaudure sur la variété de pomme Wagener en dispersant du charbon actif dans les caisses de fruits ou en plaçant ce charbon dans des boîtes ajourées disséminées dans le contenu des caisses. Sur d'autres variétés de pommes, ils enregistrent en général des pertes par échaudure plus faibles en chambres désodorisées qu'en chambres non traitées.

GERHARDT, SAINSBURY et SIEGELMAN (1953) signalent aussi de bons résultats obtenus sur des pommes et des poires à l'aide de charbons actifs (bromés ou non).

Les Anglais apportent des résultats différents. FIDLER (1950), à l'occasion d'essais en atmosphères contrôlées sur des pommes King Edward VII, constate que le charbon actif peut abaisser notablement la concentration en substances volatiles du milieu de stockage, sans toutefois diminuer le danger d'échaudure. L'addition de brome au charbon améliore cependant, d'après cet auteur, son efficacité (fig. 7 et 8).

Au Danemark, selon RASMUSSEN, la purification de l'air au charbon actif de provenance américaine est efficace.

En Suisse, les essais effectués à Wädenswil ont été négatifs malgré l'élimination des produits volatils odorants. Il en est de même en Allemagne avec, il est vrai, des qualités de charbons différentes de celles préconisées par SMOCK. KUPRIANOFF admet, d'ailleurs, que le pouvoir adsorbant des charbons puisse différer au point de rendre vaine toute tentative de comparaison des résultats. Il est possible aussi que les types d'emballages utilisés, ainsi que leur disposition dans les chambres, influencent considérablement les résultats des expériences faites avec les filtres à charbon actif.

b) *Emploi de solutions alcalines de permanganate de potasse.*

On peut débarrasser l'air des entrepôts des produits volatils non éthylé-

niques par destruction chimique et formation de composés non toxiques pour les fruits. Le procédé, d'application encore récente en Amérique, pourrait bien être un moyen préventif au moins aussi efficace que l'épuration par le charbon actif. Des essais comparatifs ont été menés au laboratoire, puis en entrepôt, par KUC et ses collaborateurs (1953) pour la mise au point de ce procédé. Ils utilisent un « scrubber » contenant le réactif oxydant : une solution de permanganate de potassium à 6 % rendue alcaline par un apport de 2 à 3 % de soude caustique. Dans cet appareil, l'air de la chambre froide, aspiré par un ventilateur, est débarrassé de ses produits volatils en circulant au milieu de jets liquides très divisés. La solution alcaline est renouvelée deux fois pendant la saison car le fonctionnement du « scrubber » est en principe continu. Un essai de conservation à l'échelle semi-industrielle, effectué dans des conditions très défavorables (deux stades de maturité réunis, pré et postclimactériques) avec des pommes Grimes a fourni cependant, après 95 jours de stockage à 0°, suivis d'un séjour de 3-4 jours en chambre chaude, des résultats très encourageants ; quelques-uns de ces résultats sont groupés dans le tableau III.

SMOCK (1955) a comparé, à son tour, l'efficacité des charbons actifs à celle du permanganate alcalin sur trois variétés de pommes. Des résultats très favorables ont été obtenus par les deux méthodes.

TABLEAU II

Pourcentages de pommes atteintes d'échaudure après entreposage au froid en présence ou en l'absence de charbon actif, suivi d'un séjour de 36 heures à la température ordinaire (MAXIE et BAKER 1954).

Lots	Variété Stayman	Variété Red Rome
<i>Stade préclimactérique</i>		
Traitement charbon .....	76,7	62,5
Sans charbon.....	89,0	67,8
<i>Stade postclimactérique</i>		
Traitement charbon .....	91,5	76,0

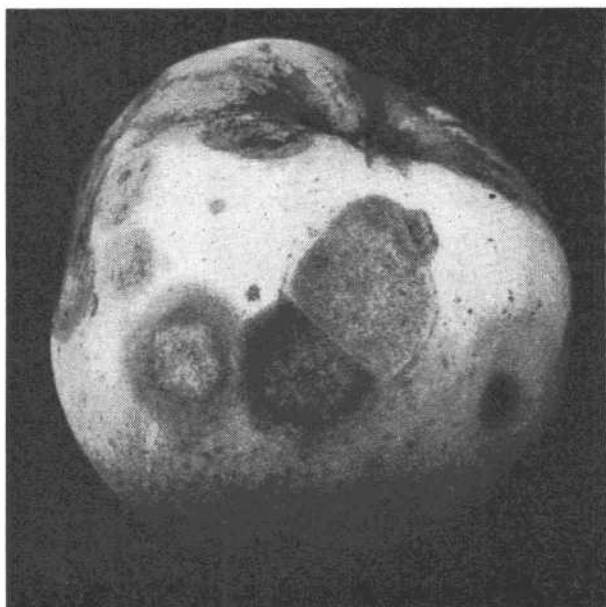


FIG. 5. — Échaudure molle (soft scald) sur pomme (var. Brunner). (Orig.).

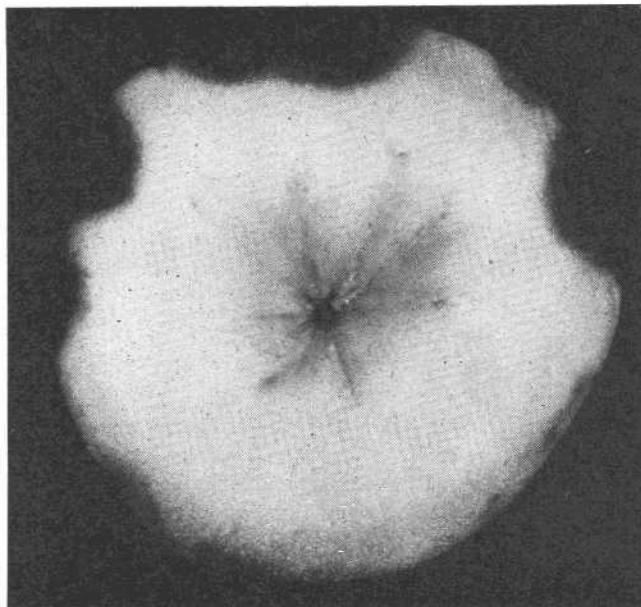


FIG. 6. — Échaudure molle (coupe du fruit de la fig. 5). La maladie s'étend en profondeur contrairement à l'échaudure véritable. (Orig.).

D'autres substances chimiques volatiles ou gazeuses (ozone, chlore, etc.) ont été proposées et expérimentées, avec peu de succès d'ailleurs, pour détruire l'éthylène et les substances odorantes dans l'atmosphère des entrepôts.

### C. Les emballages de papier huilé.

On connaît depuis longtemps la propriété des huiles de dissoudre les essences et diverses substances responsables des odeurs. Dès 1919, BROOKS, COOLEY et FISHER ont employé les papiers huilés, attribuant alors au pou-

voir de dissolution de l'huile les succès obtenus. Dans les meilleures conditions, les auteurs enregistrent 4 % seulement de fruits malades contre 67 % dans le lot témoin non traité. D'autres observations, plus récentes, confirment ces faits, entre autres les travaux de PLAGGE et MANEY (1925), HALL, SYKES et TROUT (1953).

La technique actuelle consiste à envelopper les fruits individuellement avec un papier fin (20 g/m<sup>2</sup>) imprégné de 15 à 18 % d'huile. L'efficacité de la méthode dépend de la qualité de l'huile employée, qui sera généralement miné-

rale et très bien raffinée, ainsi que de l'application du papier contre le fruit qui doit être aussi étroite que possible. Il faut éviter l'emploi de papiers ayant déjà servi, car leur efficacité est considérablement réduite.

Plusieurs auteurs ont cherché à déterminer à quel moment devait être opéré l'emballage. PHILLIPS et POAPST rapportent qu'un essai d'emballage, à des dates échelonnées, de plusieurs lots de pommes Rhode Island Greening prouve que les lots emballés pendant les quatre premières semaines après la récolte restent les seuls à peu près indemnes d'échaudure. Passées dix semaines, l'emballage huilé est incapable d'éviter la maladie. Plusieurs années d'observation sur le comportement de la pomme Belle de Boskoop, conservée à + 4° C, en présence de papiers huilés, nous ont conduits à des conclusions très différentes de celles notées jusqu'ici. Nous avons constaté que les dégâts par échaudure ont toujours été plus importants sur les fruits emballés dans du papier mousseline ordinaire que dans du papier huilé, indépendamment de la nature ou de la concentration de l'huile utilisée. L'absence d'emballage, dans tous les cas, était d'ail-

TABLEAU III

Pourcentages de fruits atteints d'échaudure avec ou sans traitement de l'air par le charbon ou le permanganate.

Lots	Sans aération des fruits après le stockage	Avec large aération des fruits après le stockage
Témoin.....	88	96
Traitement utilisé	solution de permanganate	49
	charbon de noix de coco	87

TABLEAU IV

Intensité de l'échaudure dans divers emballages de papier  
(ULRICH et LEBLOND, 1954-55-56). Pourcentages de fruits atteints.

Année	Lot témoin	Papier mousseline ordinaire	Papier imbibé d'huile minérale	Papier imbibé d'huile d'arachide
1952-53	57	69	69	
1953-54	0	48	12	
1954-55	65	90	72	90

leurs préférable. Ces résultats sont résumés dans le tableau IV.

Nous avons constaté, dans nos conditions expérimentales, que le taux d'huilage des papiers (6 à 22 %) était sans grande influence.

Pour simplifier et accélérer le conditionnement, il a été proposé depuis longtemps de substituer à l'emballage individuel des frisures ou des copeaux de papier huilé (quantité optimum : 1/2 livre par caisse). Les résultats obtenus avec les copeaux ne sont jamais aussi bons qu'avec les papiers en feuilles. Sur des variétés américaines comme Mc Intosh, Baldwin, Rhode Island Greening, on enregistre encore 30 à 40 % de fruits échaudés en fin de conservation contre 10 % avec les enveloppes huilées (PHILLIPS et POA-PST). Au cours de nos expériences, l'influence de la nature de l'huile retenue par les copeaux a été examinée. De l'huile d'arachide et de l'huile minérale raffinée selon deux normes (ordinaire et Codex) ont été employées. L'huile minérale ordinaire n'a pas donné de résultats supérieurs à ceux enregistrés sur les témoins non traités (respectivement 29 et 23 % de fruits atteints) ; les autres huiles ont aggravé l'intensité de la maladie (50-55 %).

Ces faits singuliers sont intéressants en ce sens qu'ils montrent le rôle d'écran joué par le papier, s'opposant à la libre diffusion des substances volatiles, ainsi que le rôle de l'huile capable d'absorber, en partie seulement, ces substances.

Une expérience nous a permis d'établir le rôle de l'aération du fruit dans l'apparition de l'échaudure : des enveloppes différemment perméables ont été

utilisées pour emballer, dès la récolte, divers lots de pommes Belle de Boskoop conservées à + 4° C ; l'échaudure a été observée avec d'autant plus d'intensité que l'obstacle à la dispersion des produits volatils était plus important (voir tableau V).

Quelques auteurs ont cherché à expliquer le rôle bénéfique des papiers huilés, KIDD et WEST (1933) puis FIDLER (1950), en particulier. Les substances volatiles émises par le fruit, toxiques pour son épiderme, pourraient se dissoudre dans l'huile. FIDLER pense que ces substances seraient faiblement volatiles, car les papiers doivent être étroitement en contact avec le fruit pour être efficaces ; le moindre écran placé entre le papier et le fruit annule localement l'absorption.

Nous avons vu que l'échaudure pouvait être aggravée par la seule présence de papier non huilé ; les impuretés de ce dernier sont, peut-être, en cause mais sa perméabilité l'est certainement aussi.

## II. MOYENS PROPRES A RÉDUIRE LA SENSIBILITÉ DES FRUITS A L'ÉCHAUDURE

### A. Usage de hautes concentrations de gaz carbonique dans l'entrepôt, à la mise en conservation.

Les tentatives anciennes d'utilisation des atmosphères contrôlées avaient pour but essentiel une prolongation de la vie des fruits en entrepôt. On s'aperçut très vite qu'avec certaines compositions gazeuses, l'échaudure pouvait être considérablement réduite. C'est ainsi que BROOKS, COOLEY et FISHER, dès 1919, obtenaient des résultats intéressants dans un milieu de conservation ayant une teneur en gaz carbonique stabilisée à 6 %. Ces auteurs notèrent, ensuite, que les mêmes résultats pouvaient être obtenus en plaçant les fruits, quelques jours seulement, dans une atmosphère très riche en gaz carbonique. Les premières applications commerciales du procédé furent faites, à température élevée, en chambre chaude, sur des fruits récemment récoltés. Le traitement consistait à maintenir, pendant 1 à 4 jours, une concentration de gaz carbonique de 30 à 60 % dans l'atmosphère artificielle de stockage. L'inconstance des résultats obtenus amena PIENIAZEK et CHRISTOPHER (1945) à rénover cette méthode. Le traitement, actuellement adopté, est effectué à 0° C, en chambre étanche, sur des fruits fraîchement récoltés. La con-

TABLEAU V

Influence de la perméabilité de l'emballage aux gaz sur la fréquence de l'échaudure  
(ULRICH et LEBLOND, 1956). Pourcentages de fruits atteints.

Témoin non emballé	Papier très perforé (*)	Papier peu perforé (**)	Papier non perforé	Papier non perforé (2 couches)	Feuille d'aluminium 1/100 mm
23	27	43	45	52	97

(\*) 40 trous de 4 mm par dm<sup>2</sup>.

(\*\*) 25 trous de 4 mm par dm<sup>2</sup>.



centration de gaz carbonique, qui peut varier de 30 à 60 %, est rapidement obtenue en déversant de la neige carbonique dans le local. La durée du traitement peut varier de 3 à 10 jours sans inconvénient ; la conservation se poursuit ensuite normalement dans l'air à 0° C.

Outre la réduction de l'échaudure, les auteurs enregistrent à l'avantage de la méthode, un ralentissement accru de la maturation sans aucune perte de parfum. Les expériences ont montré que le fait de reporter le traitement à un mois après la récolte réduisait quelque peu son efficacité.

On connaît mal le rôle du gaz carbonique lorsqu'il est utilisé contre l'échaudure, mais KIDD et WEST (1938) ont déjà signalé qu'à la suite d'un séjour dans une atmosphère très riche en gaz carbonique, les fruits subissent une modification de leur crise respiratoire. Il arrive même qu'aucune crise climactérique ne se produise. Ce traitement gazeux accentue donc l'effet dépressif du froid sur l'activité vitale des tissus.

D'autre part, SMOCK (1949) a démontré qu'il était possible de réduire l'échaudure de la pomme Mac Intosh,

conservée en atmosphère contrôlée aux États-Unis, en réalisant très rapidement dès la mise en entrepôt, la composition gazeuse recherchée, et plus spécialement une basse teneur en oxygène (2 %). Ce gaz paraît avoir une influence déterminante puisque, selon SMOCK, en réalisant cette concentration d'oxygène en moins de deux semaines, l'échaudure se trouve réduite de 50 %, alors qu'un délai d'obtention de plus de 4 semaines ne réduit l'échaudure que de 1 %. Signalons également que nous avons pu éviter totalement l'échaudure, sur une variété de pommes très sensible (Belle de Boskoop), par une conservation en sachets de cellophane étanches ; dans ces sachets, la concentration en oxygène s'est stabilisée à 3 % seulement.

Il est probable que, dans de telles conditions de conservation (enrichissement en gaz carbonique, raréfaction en oxygène) les émissions des produits volatils se trouvent réduites, et que le seuil de toxicité est rarement atteint.

Certaines variétés ne sont pas susceptibles de bénéficier de ces méthodes par suite de leur sensibilité particulière aux conditions d'anaérobiose (variétés anglaises, Belle de Boskoop, etc.).

## B. Utilisation de films plastiques.

Les plus utilisés, en raison de leur imperméabilité à la vapeur d'eau, sont sans aucun doute le pliofilm et le polyéthylène. On doit à RYALL et UOTA (1955) ainsi qu'à HARDENBURG (1956) des recherches très récentes sur l'effet des emballages de polyéthylène sur le développement de l'échaudure.

Les expériences de RYALL et UOTA ont porté sur des pommes Yellow Newton. Deux épaisseurs de polyéthylène ont été utilisées. Les emballages étaient tous constitués par des boîtes doublées de papier ; certains d'entre eux comprenaient en outre une doublure interne de polyéthylène. Les fruits placés dans les emballages plastiques étaient parfois enveloppés dans des papiers huilés. Le tableau VI a été établi d'après les résultats fournis par les auteurs.

Les meilleurs résultats ont donc été obtenus avec les films de polyéthylène les plus épais (0,038 mm).

On peut classer ainsi, par ordre décroissant d'efficacité, les divers emballages expérimentés :

0° C

Polyéthylène 150 + papiers huilés.  
Papiers huilés.  
Polyéthylène 150 seul.  
Polyéthylène 100 + papiers huilés.  
Polyéthylène 100 seul.  
Témoins nus.

+ 4° C

Polyéthylène 150 seul.  
Polyéthylène 150 + papiers huilés.  
Polyéthylène 100 + papiers huilés.  
Polyéthylène 100 seul.  
Papiers huilés.  
Témoins nus.

En 1956, HARDENBURG a publié des travaux sur l'évolution des pommes Delicious conservées 6 mois à 0° C, puis 6 jours à 21° C, dans des emballages variés comportant notamment des sacs de polyéthylène (épaisseur : 0,038 mm). Il s'agit de deux séries d'expériences réalisées en 1954 et 1955 dont nous rapportons les résultats dans le tableau VII.

Les expériences d'HARDENBURG tendent à montrer l'intérêt des emballages étanches de polyéthylène dans la

TABLEAU VI

Influence d'emballages divers, en particulier de polyéthylène, sur l'intensité de l'échaudure à deux températures de conservation (0° et + 4° C) (RYALL et UOTA, 1955).

Nature de l'emballage	Nombre total de fruits dans deux boîtes	Pourcentages de fruits échaudés	
		à 0° C	à 4° C
Polyéthylène 100 sans papier huilé.....	240	11,4	11,8
Polyéthylène 100 avec papiers huilés.....	239	5,6	5,5
Polyéthylène 150 sans papier huilé.....	240	5,5	0,0
Polyéthylène 150 avec papiers huilés.....	240	1,9	0,5
Témoin sans papier huilé.....	240	20,0	34,7
Témoin avec papiers huilés.....	240	4,1	27,3

Polyéthylène 100 : épaisseur 0,025 mm.  
Polyéthylène 150 : épaisseur 0,038 mm.

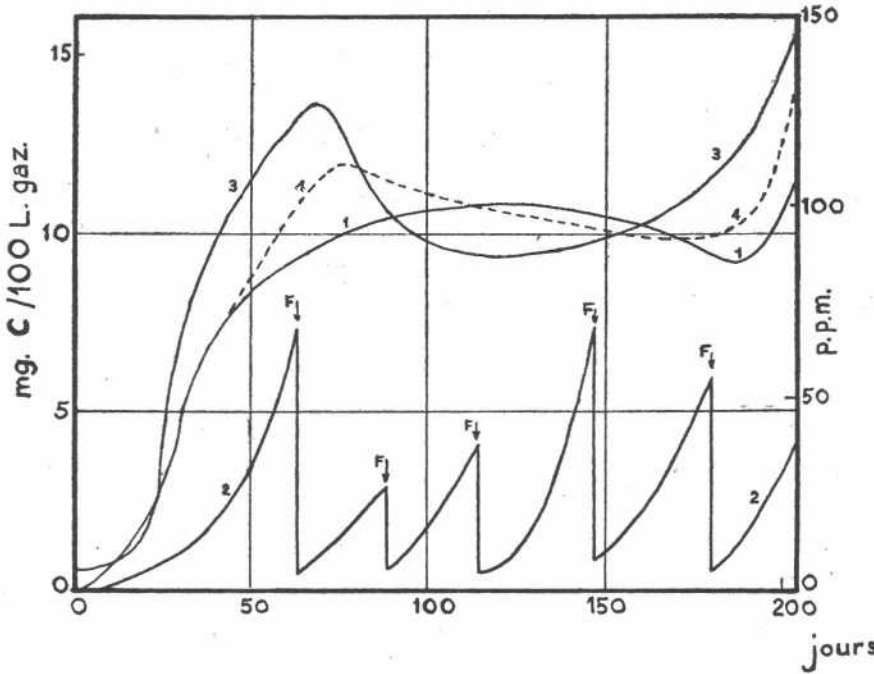


Fig. 7. — Variation de la teneur en éthylène du milieu de stockage (t. = 4° C; atm. contrôlée : 8,5 % de CO<sub>2</sub>, 13 % d'oxygène). 1 : Filtre à charbon actif; 2 : filtre à charbon actif additionné de brome; 3 : papiers huilés; 4 : témoins sans traitement — F : indique le renouvellement du charbon bromé. En ordonnées : mg de carbone pour 100 litres de gaz ou parties par million (p. p. m.) d'éthylène. (D'après FIDLER 1950.)

TABLEAU VII

Influence de divers emballages de polyéthylène sur le développement de l'échaudure des pommes (variété Délicieux) (HARDENBURG, 1956).

Nature de la garniture intérieure des caisses	Fruits échaudés (%)	
	1954	1955
Carton .....	4	8
Sac de polyéthylène scellé mais perforé à la sortie du froid .....	0	13
Sac de polyéthylène scellé et non perforé à la sortie du froid .....	0	4
Sac de polyéthylène non scellé .....	3	26
Feuilles de polyéthylène .....	8	31

TABLEAU VIII

Pourcentages de fruits atteints d'échaudure dans divers emballages plastiques (ULRICH et LEBLOND, 1957).

Série	Témoins non emballés	Chlorure de polyvinyle 3-5/100	Acétate de polyvinyle (enduit pelliculaire)	Polyéthylène 3-5/100	Acétate de cellulose 3-5/100	Cellophanes	
						LSA 400	IS 400
A	0	37	5	25	12	10	5
B	64	34	0	54	68	33	0

lutte contre l'échaudure. Les emballages non étanches peuvent, certaines années, être préjudiciables à la conservation des fruits.

En France, nous avons étudié en 1955-1956 l'apparition de l'échaudure sur des pommes Belle de Boskoop, conservées pendant 5 mois à + 4° C, dans divers emballages de matières plastiques. Ces emballages étaient faits de sachets groupant 4 à 5 fruits chacun. Les sachets de polyvinyle et de polyéthylène étaient perforés de deux trous d'aiguille (diamètre 0,65 mm). Les autres sachets (cellophane, acétocellulose) étaient absolument clos. Deux séries de fruits avaient été constituées. La série A comprenait des emballages stockés dans l'atmosphère même de la chambre froide (bien ventilée); la série B était constituée d'emballages logés dans des cuves de verre recouvertes mais non étanches (milieux semi-confinés). Le tableau VIII contient les résultats de ces expériences.

Les fruits témoins de la série A, bien aérés, n'ont pas manifesté de trouble physiologique. Tous ceux de la série B, placés en atmosphère confinée ont, au contraire, été gravement atteints. Dans ces expériences, le développement de l'échaudure n'est donc pas réduit par l'emploi des emballages plastiques utilisés, exception faite pour la cellophane IS. Ce dernier emballage réalise une atmosphère particulièrement humide et pauvre en oxygène, peut-être favorable à une réduction de l'échaudure, mais, par ailleurs, très préjudiciable à la qualité finale des fruits.

C. Utilisation de revêtements.

Les revêtements des fruits sont constitués de pellicules de compositions diverses adhérant étroitement à la sur-

TABLEAU IX

Réduction de l'intensité de l'échaudure sur deux variétés de pommes américaines, obtenue à l'aide d'un revêtement huileux (SHUTAK et CHRISTOPHER, 1953).

Traitement	Variété Rhodes Island Greening		Variété Cortland		
	1949-50	1950-51	1949-50	1950-51	1951-52
3 % d'huile minérale (*).....	1,9	0,0	1,9	55,0	17,5
1 % d'huile minérale (*).....	1,9	2,0	4,6	—	69,8
Témoin non traité.....	29,9	14,3	84,0	99,6	99,7

(\*) Plus 1-2 % de sang séché comme émulsifiant et 2 gouttes de mouillant (Dupont's sticker spreader) par 5 litres d'émulsion.

TABLEAU X

Effets comparés d'enduits huileux appliqués au verger ou après la récolte.

Traitement	Pourcentages de fruits échaudés après stockage et traitement pendant 5 jours à 21° C
3 applications au verger.....	13
Trempage après la récolte.....	28
Témoin non traité.....	82

face des organes végétaux. L'application de ces enduits, solides ou liquides, a pour effet de placer les tissus vivants dans des conditions difficiles, en ce qui concerne les échanges gazeux.

POWELL et FULTON (1903) furent les premiers à souligner l'intérêt de l'application des huiles, cires ou vaselines sur les pommes pour retarder le développement de l'échaudure. Dans des travaux plus récents, SHUTAK et CHRISTOPHER (1953), ainsi que HALL, SYKES et TROUT (1953), entre autres, ont étudié plus particulièrement ce problème.

SHUTAK et CHRISTOPHER constatent qu'une émulsion d'huile minérale à 1-3 % utilisée comme enduit sur deux variétés de pommes sensibles (Rhode Island Greening et Cortland) a une action favorable. Le tableau IX contient quelques résultats publiés par les auteurs américains.

HALL, SYKES et TROUT ont expérimenté divers enduits, à base d'huiles et de cires. Ils concluent à un effet intéressant du mélange alcoolique C. O. S. sur diverses variétés de pommes (Granny Smith, Delicious, Rome Beauty, etc.) (fig. 9). Mais l'efficacité de cet enduit est considérée, toutefois, comme inférieure à celle des papiers huilés de bonne qualité.

Des applications d'huile au verger pourraient être, d'après les dernières recherches de SHUTAK et CHRISTOPHER (1956), plus efficaces que les traitements après la récolte, ainsi qu'il apparaît dans le tableau X.

L'emploi des enduits huileux ou cireux est reconnu, en général, comme moins intéressant que celui des papiers huilés. BROOKS, COOLEY et FISHER (1923), KIDD et WEST (1933), enfin SMOCK et SOUTHWICK (1945), entre autres, ont abouti à cette conclusion.

#### D. Traitement des fruits par diverses substances chimiques.

L'usage fréquent, au verger, d'hormones de synthèse pour éviter la chute prématurée des fruits s'étend maintenant, aux États-Unis, à la lutte contre l'échaudure. Selon SCHOMER et MARTH (1945) de bons résultats sont obtenus par trempage des fruits, dès la récolte, dans une émulsion d'huile minérale contenant de 100 à 500 parties par million d'hormones. On utilise les mêmes substances qu'au verger : acide  $\alpha$ -naphtylacétique, acide indolbutyrique, acide naphtoxyacétique. Un enduit léger de lanoline chargée d'hormones peut aussi, dans certains cas, apporter une réduction de l'échaudure.

Le mode d'action des substances hormonales dans cette nouvelle application est pratiquement inconnu. Nous connaissons seulement leur aptitude à accélérer la maturation [LUCKWILL (1947), Van STUIVENBERG, etc.].

Une autre substance chimique, la chloramine T, employée en Hollande sous le nom déposé de « Sterinobell », est encore à signaler. Son rôle favorable pourrait s'expliquer par l'affinité de certains composés volatils non saturés, émis par les fruits, pour cette substance de nature halogénée.

SMOCK a découvert en 1955, que la diphenylamine, appliquée directement sur les fruits ou sur leurs emballages individuels, permet de lutter très efficacement contre l'échaudure. Les expériences de MARTIN (1957), en Australie, confirment ces résultats. Mais l'emploi commercial du produit ne saurait être envisagé tant que son innocuité pour le consommateur n'est pas prouvée. MARTIN (1957) rapporte que SMOCK a observé très récemment que le « Santoquin » (6 ethoxy, 1-2 dehydro, 2. 2. 4 triméthyl quinoline) est aussi très efficace. On ignore encore comment agissent ces substances. Il serait important de savoir si elles ont une action biochimique (soit inhibition de la production d'un agent toxique, soit stimulation de l'apparition d'antidotes), ou une action chimique (inactivation d'un agent toxique après sa formation).

## CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR L'ORIGINE DE L'ÉCHAUDURE

Malgré le nombre considérable d'observations réunies sur l'échaudure depuis un demi-siècle, il n'est pas possible de donner, actuellement, une explication pleinement satisfaisante de l'origine de la maladie. Une analyse rapide des travaux les plus saillants effectués sur cette question peut cependant nous renseigner sur la nature des facteurs susceptibles d'être mis en cause dans l'apparition de cette grave altération.

### I. L'HYPOTHÈSE DE BROOKS, COOLEY ET FISHER

Dès 1903, POWELL et FULTON établissaient que l'échaudure n'est pas d'origine parasitaire. Il y a plus de 30 ans, BROOKS, COOLEY et FISHER (1919) concluaient à la suite d'importants travaux, que certaines essences produites par les pommes étaient capables, en s'accumulant autour des fruits ou dans leurs tissus, de provoquer la maladie. Pendant longtemps cette opinion ne fut pas discutée. Certains travaux de KIDD et WEST (1935) venaient d'ailleurs renforcer les vues des auteurs américains. Mais la théorie demeurerait, cependant, encore une

simple hypothèse dont la valeur reposait essentiellement sur les faits suivants :

— L'échaudure est réduite par des agents susceptibles de diminuer la concentration des produits volatils au voisinage immédiat des fruits : ventilation, aération, emballage de papier huilé (BROOKS, COOLEY et FISHER).

— L'échaudure peut être réduite, encore, par chauffage intermittent capable de purger les tissus superficiels des fruits d'une certaine quantité des substances volatiles présentes (KIDD et WEST).

— L'échaudure (ou une altération analogue) peut être artificiellement provoquée par certains constituants des essences naturelles des pommes (BROOKS, COOLEY et FISHER).

La valeur de l'hypothèse classique de BROOKS, COOLEY et FISHER devait être discutée, il y a quelques années seulement, à la suite des premières études sur la production des substances volatiles des pommes. Ces recherches, en fait incapables d'apporter quelques précisions sur la question, en raison de leurs conclusions contradictoires, devaient néanmoins aboutir, en 1950, à la nouvelle hypothèse de FIDLER.

### II. L'HYPOTHÈSE DE FIDLER

Tandis que SMOCK et SOUTHWICK (1945), puis GRIFFITHS et POTTER (1949), trouvent une relation directe entre la production d'essences et l'apparition de l'échaudure, FIDLER (1950) aboutit, à peu près au même moment, à des observations opposées. FIDLER (1948) rapporte, en outre, qu'une variété de pomme (Cox'Orange Pippin) peu sujette à l'échaudure émet plus de produits volatils qu'une autre variété (Bramley's Seedling) réputée pourtant sensible. Pour cet auteur, les papiers huilés dont il reconnaît cependant l'efficacité dans la lutte contre l'échaudure, ne modifient pas sensiblement la teneur en substances volatiles de l'atmosphère de l'entrepôt (fig. 7 et 8). THOMPSON et HUELIN (1951) ne trouvent pas non plus de corrélation entre la sensibilité du fruit à l'échaudure et le taux d'émission des essences ; ils observent que les fruits récoltés tardivement dégagent davantage d'esters que ceux provenant de récoltes précoces, pourtant plus sensibles à la maladie. Enfin, plusieurs auteurs n'obtiennent aucune réduction de l'échaudure en débarrassant l'atmosphère d'entreposage d'une grande partie des substances odorantes émises par les fruits.

A la suite de ces recherches, FIDLER (1950) estima que la masse totale ( $v$ ) des produits volatils émis à l'entrepôt n'a rien à voir avec la quantité de fruits échaudés. Il proposa alors une nouvelle théorie selon laquelle l'altération serait produite par deux facteurs : le premier facteur, appelé X, serait peu volatil et interviendrait au début de l'entreposage ; le second facteur Y, volatil, agirait plus tard et constituerait seulement une fraction de  $V$ . A l'aide de cette théorie, FIDLER essaie d'ex-

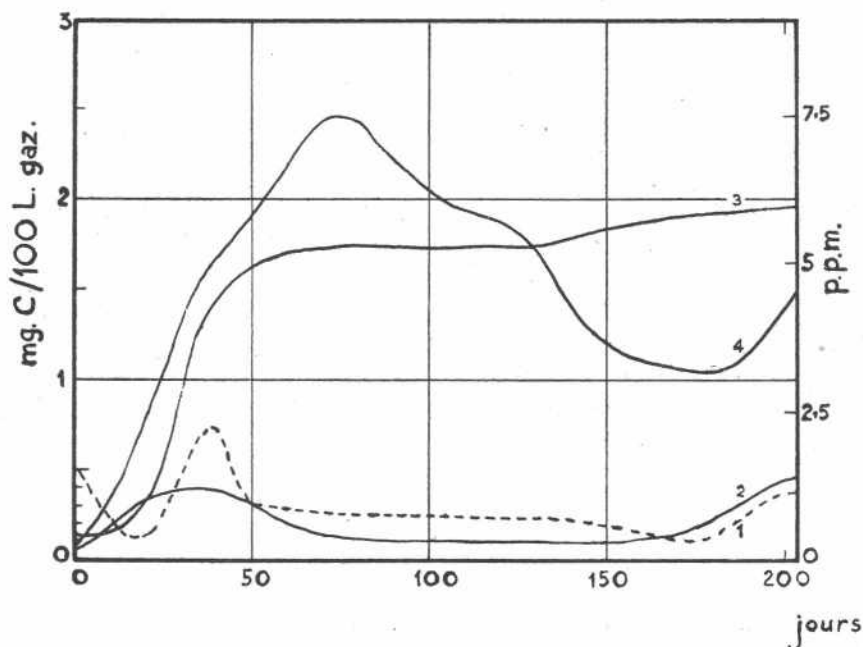


FIG. 8. — Variation de la teneur en produits volatils non éthyléniques du milieu de stockage ( $t. = 4^{\circ} C$ ; atmosphère contrôlée : 8,5 % de  $CO_2$ , 13 % d'oxygène). Mêmes ordonnées et traitements (1, 2, 3, 4) que sur la figure 7. (D'après FIDLER 1950.)

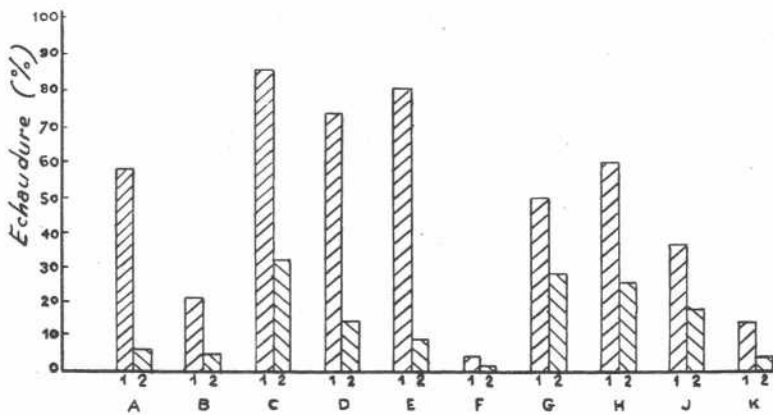


FIG. 9. — Réduction de l'échaudure à l'aide d'un enduit huileux (C. O. S.) sur les récoltes de différents vergers (A, B, C . . . . . K) de pommes Granny Smith conservées six mois et demi à + 1°C. 1 : témoin non traité ; 2 : lots traités. (D'après HALL, SYKES et TROUT 1953.)

pliquer certains résultats d'expériences. Ainsi, en utilisant les papiers huilés dès le début de l'entreposage, on éliminerait le facteur X avant l'apparition de Y qui deviendrait alors inactif. L'auteur tente d'expliquer aussi l'inefficacité des filtres à charbon actif du fait de leur seule aptitude à fixer V à l'exclusion de X. Enfin, les filtres à charbon bromé auraient une action plus efficace en raison d'un meilleur pouvoir de fixation de Y.

L'hypothèse de FIDLER est ingénieuse. Elle ne paraît pas, toutefois, nécessaire pour interpréter certains résultats expérimentaux analysés par son auteur. Par exemple, il n'est pas surprenant que la composition de l'atmosphère de stockage soit peu modifiée par des papiers huilés dont l'action sur l'échaudure se révèle finalement faible (plus de 70 % de fruits échaudés, publication de 1950, p. 99). D'autre part, l'inefficacité des papiers huilés, employés tardivement, peut très bien s'expliquer sans avoir recours à l'hypothèse d'une action sensibilisatrice du facteur X, si l'emballage a lieu dans un entrepôt déjà chargé en substances volatiles en raison du séjour antérieur des fruits. Dans ces conditions le papier absorbera simultanément des produits volatils sur ses deux faces et son efficacité, au contact du fruit, pourra être réduite.

### III. RECHERCHE D'UN FACTEUR RESPONSABLE DE L'ÉCHAUDURE PARMIS LES SUBSTANCES ODORANTES DÉGAGÉES PAR LES FRUITS

L'hypothèse de FIDLER apporte l'idée originale de l'action d'une sub-

stance X mais diffère peu, par ailleurs, de l'hypothèse classique. En fait, dans toutes les recherches effectuées sur l'échaudure depuis BROOKS, COOLEY et FISHER, il est suggéré que seule une partie des substances volatiles émises par les pommes intervient dans le développement de l'altération. On est certain que ce produit volatil n'est pas l'éthylène seul puisque celui-ci n'est pas retenu par le charbon actif. Il faut donc déterminer le ou les constituants non éthyléniques nuisibles. POWER et CHESTNUT (1920) identifièrent les esters méthylique, éthylique et amylique des acides formique, acétique, caproïque et caprylique comme constituants des produits volatils des pommes. Récemment, HENZE, BAKER et QUACKENBUSH (1953) constatent que les charbons actifs adsorbent, à l'entrepôt, des acides et des alcools libres ou estérifiés. KUC, HENZE et QUACKENBUSH (1953) trouvent, d'autre part, que les 90/100 de la masse des produits volatils retenus sur le charbon actif utilisé dans un entrepôt où sont stockées des pommes constituent une fraction neutre. D'après ces auteurs, les seuls constituants de cette fraction capables de provoquer une altération analogue à l'échaudure sont des esters non saturés. THOMPSON (1951) trouve, parmi les essences de pommes, des esters en grande quantité dans les conditions de ses expériences ; HUELIN (1952) observe que la pomme Granny Smith, à 30° C, dégage des aldéhydes (acétaldéhyde surtout), des cétones, des alcools et des traces d'esters. Pour HUELIN et THOMPSON (1951) il y a certaine-

ment, dans le cas de la pomme Granny Smith, une relation étroite entre la production d'esters et l'apparition de l'échaudure. Les travaux très récents de MEIGH (1956) prouvent que l'acétone est le principal constituant des essences émises par certaines variétés de pommes (Laxton Superb et King Edouard VII). Il n'est pas douteux que l'identification d'un facteur éventuel de la maladie parmi les esters, les acides, les aldéhydes ou les cétones du métabolisme des pommes, pose un problème particulièrement difficile.

La quantité ou même la nature du facteur volatil, intervenant dans l'échaudure, varie sans doute avec les variétés si on tient compte, par exemple, de leurs différences d'arôme et de sensibilité à la maladie (PENTZER et HEINZE). Ces faits suffiraient à expliquer la disparité des résultats pratiques enregistrés avec les papiers huilés ou les charbons actifs. Toutefois, faute de données expérimentales suffisantes, les interprétations restent incertaines. On ignore, par exemple, si les charbons actifs utilisés par différents chercheurs sont comparables et, en conséquence, s'il est permis de rapprocher leurs effets. De même la qualité des papiers et des huiles ou encore la manière dont l'huile est retenue par l'emballage diffèrent sans doute dans des expériences que l'on cherche pourtant à comparer. En particulier, les caractères physiques des papiers huilés ne paraissent pas toujours retenir l'attention de ceux qui les expérimentent. On parle ainsi d'une dissolution éventuelle de certaines substances dans l'huile comme si cette huile était libre à l'intérieur de l'emballage ; en réalité, l'huile est retenue dans la trame même du papier ; la perméabilité des papiers à un gaz liposoluble peut alors être diversement modifiée, après huilage, selon que l'huile sera fixée plus volontiers sous forme

de bouchons dans ses pores ou sous forme de films sur les parois de ces pores.

#### IV. LES CARACTÈRES DE LA SURFACE DES FRUITS ET L'ÉCHAUDURE

L'intérêt d'une connaissance plus précise des conditions de milieu favorables à l'apparition de l'échaudure est indéniable. Mais il est évident qu'on ne pourra saisir les causes profondes de la maladie si on se borne à rechercher les facteurs responsables hors du fruit lui-même. En effet la maladie résulte, dans tous les cas, d'une accumulation de substances volatiles ou de leurs précurseurs dans les tissus superficiels du fruit. Cette accumulation n'est pas nécessairement la conséquence indirecte d'un enrichissement de l'atmosphère avoisinant l'organe en produits odorants mais peut, encore, être directement liée à la perméabilité de l'enveloppe épidermique. C'est pourquoi l'étude de la perméabilité de l'enveloppe naturelle des fruits et, particulièrement de l'enduit cuticulaire, est nécessaire pour parvenir à une meilleure compréhension du mécanisme de l'échaudure. Cette perméabilité dépend de la nature de la surface de l'enduit et de ses discontinuités (lenticelles, etc.).

D'après FIDLER, les lenticelles sont fermées dans les régions épargnées par la maladie dans le cas de l'échaudure rugueuse et, au contraire, le plus souvent ouvertes dans l'échaudure lenticellaire. Nous avons nous-mêmes observé que les lenticelles des régions atteintes demeuraient fonctionnelles sur des poires et des pommes échaudées, mais qu'elles étaient moins ouvertes sur les parties altérées que sur les parties saines. De nouvelles recherches sont donc nécessaires sur ce point.

Contrairement à l'opinion exprimée par KIDD et WEST (1933), le bouchage des lenticelles par l'huile des papiers huilés ne peut expliquer pourquoi ils réduisent l'échaudure. En effet, les enduits huileux, capables, sans aucun doute, de déterminer une meilleure obturation des lenticelles que les papiers huilés, sont moins efficaces que ces derniers contre l'échaudure. D'autre part,

les variétés très cireuses, ordinairement bien pourvues en lenticelles ouvertes, sont parfois peu sensibles à la maladie (pomme Calville). La perméabilité des lenticelles doit certainement être mise en cause dans les formes d'échaudure qui les affectent plus spécialement. Mais doivent-elles être ouvertes ou fermées pour tendre à éviter l'altération ? Cela dépend du mécanisme d'apparition de la maladie ; fermées, elles favoriseraient naturellement l'auto-intoxication ; ouvertes, elles faciliteraient l'action néfaste des fruits voisins.

La résistance de la cuticule et de son enduit gras au passage des gaz varie sûrement avec la variété et le stade physiologique du fruit. L'épaisseur, la structure et la composition de la cuticule sont autant de facteurs capables d'influencer les conditions de diffusion des gaz à travers la surface de l'organe. SHUTAK et SCHRADER (1948) font remarquer que les zones encore vertes des pommes York Imperial, reconnues comme les plus sensibles à l'échaudure pour cette variété, ont une cuticule plus épaisse et, en général, des cellules épidermiques plus fortement cutinisées. SHUTAK, CHRISTOPHER et PRATT (1953) ont étudié le rôle de l'enduit cireux des pommes Cortland dans le développement de l'échaudure.

Ces auteurs diminuent beaucoup la sensibilité de cette variété à l'aide de brossages ou de ponçages légers de la surface du fruit. A la suite des travaux de nombreux auteurs (SANDO, CHIBNALL et ses collaborateurs, MARKLEY, HENDRICKS, SANDO et GANE), on sait que l'enduit naturel des pommes est constitué de cires, d'acide ursolique, de cutine et d'huile. MARKLEY et SANDO (1933), trouvent que ces divers constituants augmentent au cours de la maturation et du stockage à 0° C. On doit à HUELIN et GALLOP (1951) des recherches récentes sur les changements de propriétés physiques et chimiques de ces mêmes constituants durant le stockage. Les chercheurs australiens trouvent que c'est surtout la fraction huileuse qui augmente, atteignant, en fin de conservation, 3 à 4 fois sa valeur initiale, et que cette augmentation est réduite en « gas storage ». Y aurait-il une relation entre la teneur

en huile de la peau des pommes et les risques d'échaudure ? Ce n'est pas encore établi, mais divers indices laissent supposer que la phase lipidique cuticulaire participe à l'apparition de l'altération. En premier lieu, elle serait capable de fixer des corps non saturés comme le fait l'huile des papiers d'emballages ; en effet, son indice d'iode s'élève au fur et à mesure de la conservation comme c'est le cas pour l'indice d'iode des enveloppes huilées d'après FIDLER (1950). D'autre part, il est possible que la phase huileuse de la cuticule favorise l'élimination des produits volatils issus des cellules ; à ce sujet THOMPSON (1951) suggère que les esters passeraient plus facilement par cette voie que les alcools.

L'emploi d'enduits huileux et cireux artificiels est un moyen de modifier la perméabilité de la surface naturelle des fruits. En particulier, les revêtements liquides à base d'huile agissent à la fois sur la perméabilité des lenticelles qu'ils obturent et sur la résistance au passage des gaz de la cuticule. Leur action est donc complexe et on connaît encore bien peu de choses à leur sujet. C'est pourquoi les résultats obtenus par leur emploi peuvent difficilement fournir jusqu'ici des renseignements sur le mécanisme de l'échaudure. On peut imaginer que ces enduits ont un rôle bénéfique au niveau de la cuticule rendue plus perméable et, au contraire, néfaste au niveau des lenticelles bouchées. On comprendrait ainsi la meilleure efficacité d'un huilage appliqué au verger (SHUTAK et CHRISTOPHER), car l'huile mise en place à ce stade peut être par la suite éliminée des lenticelles.

#### CONCLUSIONS

Il est maintenant certain que parmi les produits volatils émis par les pommes et les poires existe un facteur qui participe à l'apparition de l'échaudure. Des progrès ont été récemment réalisés dans la recherche de ce facteur. A ce sujet, les travaux de MEIGH, de HENZE, sont particulièrement encourageants.

Mais une connaissance précise du mécanisme d'action des substances toxiques nécessite, en outre, une étude approfondie des conditions d'échanges

gazeux à travers la surface du fruit (épiderme, enduit cuticulaire et cireux). Les données actuelles sont intéressantes mais encore insuffisantes.

Enfin, les observations pratiques, en

particulier celles concernant les moyens de lutte contre l'échaudure, pourront dans l'avenir apporter une précieuse contribution à la résolution du problème, mais il est souhaitable que ces

observations soient faites dans des conditions expérimentales bien définies.

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

## BIBLIOGRAPHIE

1. BAIN (J. M.). — *Journ. Hort. Sci.*, 1956, 31, 234-38.
2. BOTTINI (E.). — *Ann. Speriment. agraria*, 1932, 7, A XI.
3. BROOKS (C.) et COOLEY (J. S.). — *Phytopathology* (Abstract), 1916, 6, 110-11.
4. BROOKS (C.) et COOLEY (J. S.). — *Journ. Agr. Res.*, 1917, 11, 287-317.
5. BROOKS (C.), COOLEY (J. S.) et FISHER (D. F.). — *Journ. Agr. Res.*, 1919, 18, 211-40.
6. BROOKS (C.), COOLEY (J. S.) et FISHER (D. F.). — *Journ. Agr. Res.*, 1923, 26, 513-36.
7. CARNE (W. M.). — *Counc. Sci. Ind. Res. Australia*, 1940, Pamph. 95.
8. CARNE (W. M.). — *Counc. Sci. Ind. Res. Australia*, 1948, Bull. 238, p. 83.
9. CHIBNALL (A. C.), PIPER (S. H.), POLLARD (A.), SMITH (J. A. B.) et WILLIAMS (E. F.). — *Biochem. Journ.* (London), 1931, 25, 2095-110.
10. FIDLER (J. C.). — *Journ. Hort. Sci.*, 1948, 24, 178-88.
11. FIDLER (J. C.). — *Journ. Hort. Sci.*, 1950, 25, 81-110.
12. FIDLER (J. C.) (1954 a). — *Bull. Inst. Int. Froid* (Annexe I), 1954, 49-58.
13. FIDLER (J. C.) (1954 b). — D. S. I. R., London, *Ann. Rept. Food Invest. Board*, 1954.
14. FIDLER (J. C.). — *Food Sci. Abstr.*, 1956, 28, 545-54.
15. GANE (R.). — D. S. I. R., *Ann. Rept. Food Invest. Board*, 1931, 242-43.
16. GERHARDT (F.), SAINSBURY (G. F.) et SIEGELMAN (H. W.). — *Ice and Ref.*, 1953, 124, 15-54.
17. GRIFFITHS (D. G.) et POTTER (N. A.). — *Journ. Hort. Sci.*, 1949, 25, 10-18.
18. HALL (E. G.), SYKES (S. M.) et TROUT (S. A.). — *Aust. Journ. Sci. Res.*, 1953, (B) 4, 264-82 et 365-83.
19. HARDENBURG (R. E.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1956, 67, 82-90.
20. HENZE (R. E.), BAKER (C. E.) et QUACKENBUSH (F. W.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1953, 61, 237-45.
21. HOPE (G. W.). — *Ann. Rept. of the storage and processing laboratories*. Dominion Exper. Stat. Kentville N. S., Canada, 1946.
22. HUELIN (F. E.). — *Austr. Journ. Sci. Res.*, 1952, (B) 5, 328-34.
23. HUELIN (F. E.) et GALLOP (R. A.). — *Austr. Journ. Sci. Res.*, 1951, (B) 4, 526-32.
24. HUELIN (F. E.) et GALLOP (R. A.). — *Austr. Journ. Sci. Res.*, 1951, (B) 4, 533-43.
25. KIDD (F.) et WEST (C.). — D. S. I. R. *Ann. Rept. Food Invest. Board*, 1933, 58-62.
26. KIDD (F.) et WEST (C.). — D. S. I. R. *Ann. Rept. Food Invest. Board*, 1935, 111-17.
27. KIDD (F.) et WEST (C.). — *Journ. Pomol.*, 1938, 16, 274-79.
- 27 bis. KUC (J.), HENZE (R. E.) et QUACKENBUSH (F. W.). — *Journ. Agri. Food Chem.*, 1953, N. 19, p. 1104.
28. KUC (J.), HENZE (R. E.), BAKER (C. E.) et QUACKENBUSH (F. W.). — *Journ. Agri. Food Chem.*, 1953, 1, 1107-109.
29. KUPRIANOFF (J.). — Discussion Rapport Fidler. *Bull. Inst. Int. Froid*, Annexe I, 1954.
30. LUCKWILL (L. C.). — *Ann. Rept. Agri. Hort. Res. Stat. Long Ashton*, Bristol, 1947.
31. MARKLEY (K. S.) et SANDO (C. E.). — *Journ. Agric. Res.*, 1933, 46, 403-412.
32. MARKLEY (K. S.), HENDRICKS (S. B.) et SANDO (C. E.). — *Journ. Biol. Chem.*, 1932, 98, 103-107.
33. MAXIE (E. C.) et BAKER (C. E.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1954, 64, 235-240.
34. MEIGH (D. F.). — *Journ. Sci. Food Agr.*, 1956, 7, 396-411.
35. OVERHOLSER (E. L.) et LATIMER (L. P.), cités par ULRICH (R.), — « La conservation par le froid des denrées d'origine végétale », 1954, Paris, Ed. Baillière, 328 pp.
36. PENTZER (W. T.) et HEINZE (P. H.). — *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 1954, 5, 205-224.
37. PHILLIPS (W. R.) et POAPST (P. A.). — *Rapport d'activité Ferme Exp. Ottawa*, 1934, 48, 185-232.
38. PIENIAZEK (S. A.). — *Plant Physiology*, 1945, 20, 313-314.
39. PIENIAZEK (S. A.) et CHRISTOPHER (E. P.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1945, 46, 123-30.
40. PLAGGE (H. H.) et MANEY (T. J.). — *Refrig. World*, 1925, 24.
41. POWELL (G. H.) et FULTON (S. H.). — *U. S. Dept. Agr. Bur. Plant Ind. Bul.*, 1903, 48.
42. POWER (F. B.) et CHESTNUT (V. K.). — *Journ. Amer. Chem. Soc.*, 1920, 42, 1509-1526.
43. RASMUSSEN. — Discussion Rapport Fidler. *Bull. Inst. Int. Froid*, Annexe I, 1954.
44. RYALL (A. L.) et UOTA (M.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1955, 65, 203-210.
45. SANDO (C. E.). — *Journ. Biol. Chem.*, 1923, 56, 457-68.
46. SANDO (C. E.). — *Journ. Biol. Chem.*, 1931, 90, 477-95.
47. SHUTAK (V. G.), CHRISTOPHER (E. P.) et PRATT (L. C.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1953, 61, 228-232.
48. SHUTAK (V. G.) et SCHRADDER (L. A.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1948, 51, 245-257.
49. SMITH (E.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1946, 17, 79.
50. SMOCK (R. M.). — *Botan. Rev.*, 1944, 10, 551.
51. SMOCK (R. M.). — *Cornell Ext. Bull.*, 1949, 39 pp.
52. SMOCK (R. M.). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1955, 66, 111-117.
53. SMOCK (R. M.) et NEUBERT (A. M.). — *Apples and apple products*, New York, 1950, 486 pp.
54. SMOCK (R. M.) et SOUTHWIK (F. W.). — *Cornell Univ. Agr. Expt. Sta. Bull.*, 1945, 813.
55. STOLL. Discussion Rapport Fidler. *Bull. Inst. Int. Froid*, Annexe I, 1954.
56. THOMPSON (A. R.). — *Austr. Journ. Sci. Res.*, 1951, (B) 4, 283-92.
57. THOMPSON (A. R.) et HUELIN (F. E.). — *Austr. Journ. Sci. Res.*, 1951, (B) 4, 544-553.
58. ULRICH (R.) et LEBLOND (C.). — *Rev. Gén. Froid*, 1954, 680-81.
59. ULRICH (R.) et LEBLOND (C.). — *Rev. Gén. Froid*, 1955, 31-34.
60. ULRICH (R.) et LEBLOND (C.). — *Rev. Gén. Froid*, 1956, 139-45.
61. ULRICH (R.) et LEBLOND (C.). — *Rev. Gén. Froid*, 1957, 33-41.
62. ULRICH (R.) et MARCELLIN (P.). — *C. R. Acad. Agr.*, 1951, 37, 77.
63. VAN STUIVENBERG, cité par LUCKWILL.
64. WHITEHOUSE, cité par KIDD et WEST. — *Rev. Inter. Rens. Agr.*, N. S., 1924, 2, 628.
- 64 bis. SMOCK (R. M.). *Amer. Fruit Gaz*, 1955, 75 ; 11, p. 20 cité par MARTIN, Second Conference of Fruit Storage Investigators, Sydney 1956. Publ. Commonwealth Scientific Industrial Research Organization, Melbourne, 1957. (Référence communiquée en cours d'impression.)