

L'échaudure superficielle des pommes.

P. MARCELLIN*

L'ECHAUDURE SUPERFICIELLE DES POMMES

P. MARCELLIN

Fruits, Jan. 1978, vol. 33, n°1, p. 43-47.

RÉSUMÉ - Les deux théories avancées sur l'origine de l'échaudure d'immatunité considérée comme véritable échaudure, sont successivement présentées. La théorie des volatils proposée et analysée par de nombreux travaux, suggère que l'échaudure résulte de l'action de deux facteurs (X) et (Y). Le facteur (X) volatil est produit tôt en cours de conservation et non absorbé par le papier huilé d'emballage des fruits. Le second (Y) peu volatil apparaîtrait tardivement et provoquerait la maladie par combinaison avec (X). Il semble que l'on ait identifié maintenant (X) comme l' α -farnésène.

La théorie de l' α -farnésène due à HUELIN et coll. est beaucoup plus récente. A basse température, on constate une accumulation de l' α -farnésène sous le revêtement cuticulaire de la peau des pommes. Une bonne corrélation est établie entre le taux d'échaudure et les teneurs en composés d'oxydation de l' α -farnésène. Cependant cette théorie ne constitue sans doute qu'une étape dans l'étude de l'échaudure.

GÉNÉRALITÉS.

On donne le nom général d'échaudure superficielle (ou «superficial scald») à diverses formes de brunissements d'origine non parasitaire de la peau des pommes et des poires au cours de la conservation. L'altération, d'un brun plus ou moins intense et plus ou moins étendue à la surface des fruits, se limite aux cellules de l'épiderme et de l'hypoderme ; le parenchyme sous-jacent peut toutefois être légèrement affecté à un stade très sévère de la maladie. Il existe deux groupes bien distincts d'échaudure superficielle (MARTIN et LEWIS, 1961) ; l'échaudure d'immatunité et l'échaudure de sénescence. Cette dernière se rencontre fréquemment chez les poires ainsi que chez certaines variétés de pommes telles que Golden Delicious après un

entreposage par trop prolongé. Nous nous limiterons au cas de l'échaudure d'immatunité, considérée comme la véritable échaudure.

L'échaudure d'immatunité - désignée encore par échaudure ordinaire (RYAL et PENTZER, 1974) - présente certaines caractéristiques fondamentales. D'abord, elle se développe uniquement sur les fruits conservés au froid, mais s'aggrave au retour au chaud. En outre, elle se manifeste de préférence sur les récoltes précoces et apparaît le plus souvent sur les parties vertes de la peau, jamais sur les parties rouges. Dans le cas des pommes, étudiées ici, l'on a décrit en France et en Angleterre (MARCELLIN et LEBLOND, 1957 - FIDLER, 1973) trois formes essentielles de la maladie. La plus répandue semble être l'échaudure dite rugueuse caractérisée par des zones brunes où les lenticelles restées saines font saillie sur les tissus morts légèrement affaissés, ce qui confère à la peau une certaine rugosité. L'altération revêt parfois une forme plus banale lorsque les régions cuticulaires et lenti-

* - C.N.R.S. 91290 Meudon Bellevue (France).

Communication présentée au Onzième Colloque de la Société française de Phytopathologie, Paris 18 mai 1976.

cellulaires sont atteintes simultanément ; ce type d'échaudure est appelé «browning» par FIDLER (1973). Enfin, plus rarement, le brunissement débute au niveau des lenticelles ; c'est l'échaudure lenticellaire qui donne aux fruits un aspect piqueté. Ce dernier type se rangerait dans le groupe de l'échaudure de sénescence (MARTIN et LEWIS, 1961).

Il est bien connu que les différentes variétés de pommes sont diversement sensibles à l'échaudure et qu'il existe des années davantage propices à la maladie que d'autres. Nous n'examinerons pas dans notre exposé l'influence de la variété, des conditions de la production et de la récolte ainsi que de certains facteurs de l'entreposage (température, humidité relative, teneurs en oxygène et gaz carbonique de l'atmosphère). On pourra consulter, par exemple, à ce sujet les revues d'ensemble de SMOCK (1961), PADFIELD (1969), MEIGH (1970) et FIDLER (1973). Par contre, nous nous pencherons sur l'origine de l'échaudure.

Malgré le nombre considérable de travaux effectués depuis le début du siècle, la cause de l'échaudure demeure encore inconnue. On sait que le désordre est induit au cours des premières semaines de séjour au froid, puis qu'il se manifeste - surtout au retour au chaud - après une conservation frigorifique suffisante. On sait également que divers moyens de lutte ont été successivement proposés (ventilation, enveloppes de papiers huilés, application d'antioxydants tels que diphénylamine et éthoxyquine). Les traitements ont conduit les chercheurs à avancer successivement deux théories sur l'origine de la maladie : celle des volatils, puis celle de l' α -farnésène.

LA THÉORIE DES VOLATILS

On doit, en particulier à PENTZER et HEINZE (1954) et plus récemment à MEIGH (1969) et FIDLER (1973), d'excellentes analyses de cette théorie. Nous empruntons à ces auteurs l'essentiel des observations qui suivent :

Dès 1903, POWEL et FULTON constatèrent que des corps gras, tels que huile d'olive, vaseline ou paraffine, appliqués à la surface de pommes retardent le développement de l'échaudure. C'était la première preuve que l'agent causal de la maladie est une substance liposoluble. Quelques années plus tard, BROOKS, COLLEY et FISHER, (1919 et 1923) montrèrent que le brunissement est diminué par l'emploi d'enveloppes de papiers imprégnés d'huile végétale ou minérale de même que par une ventilation énergique des pommes intervenant dès les premières semaines de l'entreposage. Ils pensaient aussi avoir réussi à provoquer artificiellement l'échaudure à l'aide de vapeurs entrant dans l'émission volatile naturelle des fruits. Ils conclurent alors que l'altération est due à l'accumulation d'esters ou de composés similaires dans l'atmosphère d'entreposage et dans les tissus. L'huile imprégnant les papiers était considérée comme absorbant la (ou les) substance(s) volatile(s)

nuisible(s).

BROOKS, COOLEY et FISHER distinguèrent alors quatre périodes dans le développement de l'échaudure :

- la première s'étend de la récolte à la sixième ou huitième semaine de conservation au froid ; au cours de cette période, les substances volatiles en cause sont produites de façon très active, mais leur action peut être entravée par la ventilation et les papiers huilés ;
- la deuxième correspond aux cinq à huit semaines suivantes ; la tendance à la maladie ne peut plus être enrayée par les traitements précédents ;
- la troisième phase représente le reste de la durée de l'entreposage frigorifique ; l'échaudure jusqu'alors à l'état latent peut se déclarer ;
- la quatrième période est constituée par la vie des pommes au retour au chaud ; l'échaudure se développe alors activement.

L'hypothèse de BROOKS, COOLEY et FISHER fut consolidée par KIDD et WEST (1935). Ceux-ci utilisèrent, en effet, avec succès un chauffage intermittent et de courte durée pour lutter contre l'échaudure ; le traitement appliqué régulièrement, tout au long de l'entreposage, était considéré comme un moyen de purger les tissus des volatils nuisibles qui tendraient à s'y accumuler. Après la seconde guerre mondiale, les expériences se multiplièrent pour essayer d'apporter la preuve du rôle des volatils et caractériser éventuellement les composés responsables. C'est ainsi qu'on étudia l'effet de l'accumulation des volatils dans le milieu de l'entreposage, soit en purifiant l'atmosphère par aération ou à l'aide de filtres à charbons actifs (FIDLER, 1950 ; SOUTHWITH et SMOCK, 1943 et SMOCK, 1961), soit, au contraire, en enrichissant cette même atmosphère par l'émission odorante d'autres pommes (ULRICH et al., 1961 ; STOLL, 1959 ; STADEN, 1961). Les résultats de telles expériences furent contradictoires et finalement inconsistants. L'intervention des volatils accumulés directement dans les tissus reçut, par contre, une certaine confirmation expérimentale ; on s'aperçut, par exemple, qu'en réduisant la résistance de la barrière cuticulaire par des solvants ou divers traitements mécaniques, l'on diminuait les risques d'échaudure (SHUTAK et al., 1953, PADFIELD, 1958, SHUTAK et CHRISTOPHER, 1960, HILKENBAUMER, 1961). Toutefois, il apparaissait très difficile de mettre en évidence le (ou les) composé(s) volatil(s) responsable(s) et HUELIN et KENNETT (1958) en concluaient que la cause de la maladie ne devait pas être recherchée parmi les constituants majeurs de l'émission volatile des pommes.

FIDLER fut conduit dès 1950 à modifier la théorie de BROOKS, COOLEY et FIDLER et à suggérer que l'échaudure résulte de l'action de deux facteurs : l'un (X), non

volatil, serait produit tôt en cours de conservation et absorbé par les papiers huilés ; le second (Y), peu volatil, apparaîtrait tardivement et provoquerait la maladie en se combinant avec X. SMITH (1959) montrait d'ailleurs que le réchauffage temporaire des fruits agit tardivement entre la douzième et la trentième semaine d'entreposage, en facilitant la volatilisation de Y (figure 1). En outre, il semble bien que l'on ait identifié aujourd'hui le facteur X comme étant l' α -farnesène.

LA THÉORIE DE L' α -FARNESÈNE

La théorie beaucoup plus récente de l' α -farnesène est due aux travaux de l'équipe australienne de HUELIN. Elle a comme point de départ la découverte par SMOCK (1955 et 1957) de l'effet inhibiteur exercé sur l'échaudure par deux substances antioxydantes : la diphénylamine et l'éthoxyquine. Cette découverte a fait considérablement progresser le problème pratique de la lutte contre l'échaudure, mais elle a aussi permis de faire avancer les recherches sur l'origine de la maladie.

Vers le début des années 60, HUELIN et son équipe entreprirent en Australie l'étude du mécanisme d'action de la diphénylamine. HUELIN et MURRAY (1966) mirent d'abord en évidence dans la peau des pommes, et principalement dans le revêtement cuticulaire, un sesquiterpène, l' α -farnesène, dont l'oxydation *in vivo* est inhibée par la diphénylamine (HUELIN et COGGIOLA, 1970 a). Il était observé que l' α -farnesène s'accumule dans les fruits au cours de l'entreposage frigorifique jusqu'à atteindre un maximum vers la dixième ou treizième semaine (figure 2) et que cette accumulation est limitée par absorption dans les papiers huilés (figure 3) ou encore par évaporation sous l'effet d'une ventilation active (HUELIN et COGGIOLA, 1968 et 1970 b et c). Les auteurs australiens établirent, en outre, une bonne corrélation entre les composés d'oxydation de l' α -farnesène (des triènes conjugués) et l'indice d'échaudure (figure 4). C'est pourquoi ils formulèrent l'hypothèse que l'échaudure est due à des produits d'oxydation partielle de l' α -farnesène (HUELIN et COGGIOLA, 1970 c).

Les collaborateurs de HUELIN ont apporté des précisions ces dernières années sur les composés d'autoxydation de l' α -farnesène et leur contrôle (ANET, 1972 a et b, ANET et COGGIOLA, 1974). Seuls parmi les composés d'autoxydation, les radicaux libres transitoires (alkyl et alkylperoxy) seraient susceptibles d'induire l'échaudure. Dans un excellent résumé de la théorie australienne, ANET (1974) explique comment agissent les moyens préventifs envisagés jusqu'ici et il montre qu'il existe quatre modes de contrôle du brunissement, à savoir :

- la diminution de la concentration d' α -farnesène (ex. : par la ventilation et les papiers huilés),

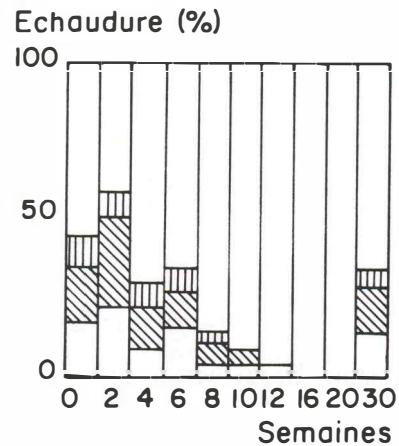


FIG. 1 • Effet sur l'apparition de l'échaudure d'un traitement de 5 jours à 15,5°C appliqué à des dates plus ou moins tardives au cours de l'entreposage à 0°C de pommes (var. Bramley's Seedling) (d'après Smith, 1959).

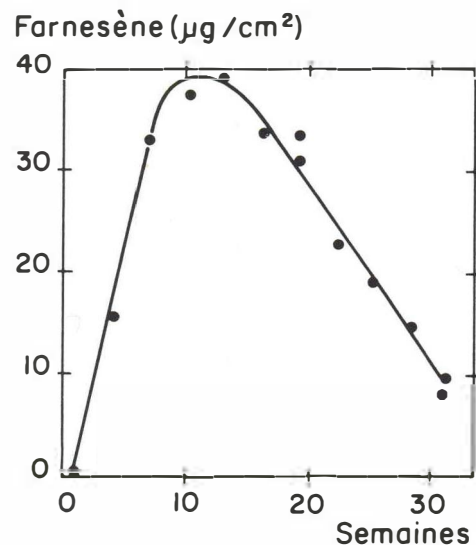


FIG. 2 • Accumulation d' α -farnesène dans la peau des pommes Granny Smith durant la conservation à 0°C (d'après Huelin et Coggiola, 1970c).

- le captage des radicaux libres de l'autoxydation de l' α -farnesène (ex. : par des antioxydants tels que diphénylamine et éthoxyquine),
- l'abaissement du taux d'oxygène atmosphérique (ex. : par l'atmosphère contrôlée),
- et enfin, la diminution des traces de métaux initiateurs de l'autoxydation (ex. : par chélation à l'aide de l'acide éthylène diamine tétraacétique).

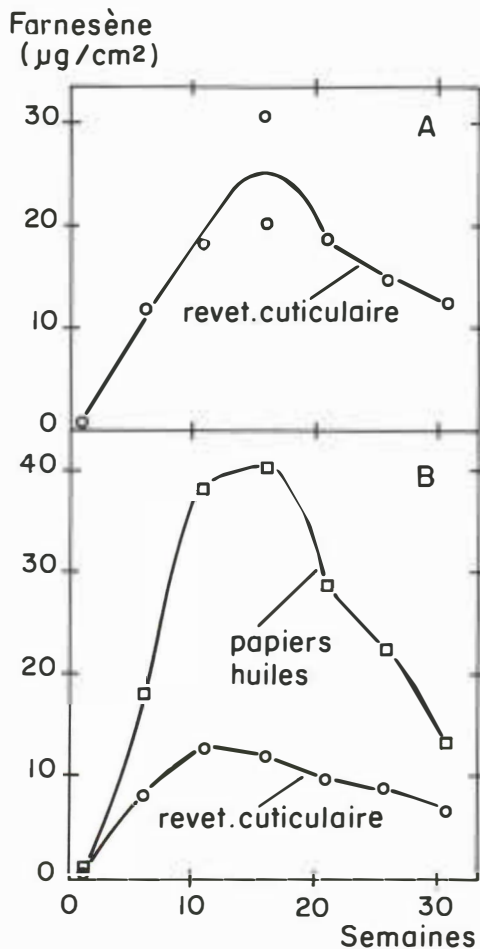


FIG. 3 • Accumulation d' α -farnesène au cours de l'entreposage à 0°C de pommes Granny Smith. A-dans le revêtement cuticulaire des fruits témoins non emballés, B-dans le revêtement cuticulaire et dans l'enveloppe de papiers huilés des fruits emballés, (d'après Huelin et Coggiola, 1968).

CONCLUSION

Bien que la théorie de l'autoxydation de l' α -farnesène apparaisse fort séduisante, de nombreux résultats expérimentaux restent à interpréter. Par exemple, il faudrait pouvoir comprendre comment de petites perforations artificielles de la peau des pommes peuvent freiner le développement de l'échaudure (SHUTAK et CHRISTOPHER, 1960). Existe-t-il un effet favorable de blessure sur l'accumulation de l' α -farnesène ou son oxydation ? L'accroissement des pertes d'eau est-il en cause ? On aimerait aussi pouvoir expliquer le fait qu'un verre de montre luté à la surface des fruits provoque localement la maladie (MARCELLIN et MAZLIAK, 1965). Selon ANET (1972 b) le recouvrement

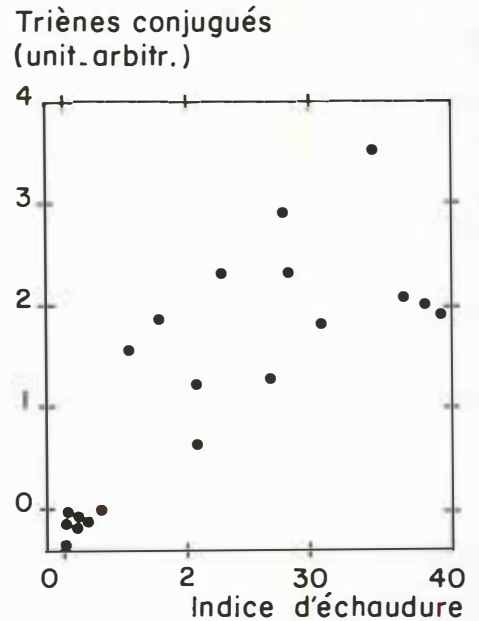


FIG. 4 • Relation entre le taux d'échaudure et les teneurs maximales en triènes conjugués chez les pommes Granny Smith (d'après Huelin et Coggiola, 1970c).

de la surface cuticulaire par le verre de montre freine l'évaporation de l' α -farnesène et facilite son accumulation. Mais pourquoi la même expérience réalisée avec un petit écran mince de polyéthylène n'entraîne-t-il pas de brunissement ? Il nous apparaît difficile aussi d'interpréter les résultats d'expériences récentes faites avec des atmosphères suroxygénées (MARCELLIN et al., 1975). Ces expériences prouvent, en effet, que de l'air enrichi à 50 p. 100 d'oxygène, appliqué un mois, soit au début, soit vers le troisième ou quatrième mois de l'entreposage diminue l'échaudure.

En définitive, il apparaît que la théorie de l' α -farnesène ne constitue sans doute qu'une étape dans l'étude de l'échaudure. D'autres mécanismes complémentaires restent à découvrir. On peut se demander s'il convient d'écarter définitivement le rôle des volatils et si les produits d'oxydation de l' α -farnesène sont bien les agents directement responsables de la mort des cellules.

BIBLIOGRAPHIE.

- ANET (E.F.L.J.). 1972 a.
Superficial Scald, a Functional Disorder of Stored Apple :
VIII.- Volatile Products from the Autoxidation of α -Farnesene.
J. Sci. Fd Agric. Res., 23, 605-608.
- ANET (E.F.L.J.). 1972 b.
Superficial Scald, a functional disorder of stored apples :
IX. Effect of maturity and ventilation.
J. Sci. Fd Agric. Res., 23, 763-769.
- ANET (E.F.L.J.). 1974.
Superficial scald.
C.S.I.R.O. Food Res. Quarterly, vol. 34, n 1, 4-8.

- ANET (E.F.L.J.) et COGGIOLA (I.M.). 1974.
Superficial scald, a functional disorder of stored apples :
X. Control of α -farnesene autooxidation.
J. Sci. Fd Agric. Res., 25, 293-298.
- BROOKS (C.), COOLEY (J.S.) et FISHER (D.F.). 1919.
Nature and control of apple scald.
J. Agric. Res., 18, 211-240.
- BROOKS (C.), COOLEY (J.S.) et FISHER (D.F.). 1923.
Oils wrappers, oils and waxes in the control of apple scald.
J. Agric. Res., 26, 513-536.
- FIDLER (J.C.). 1950.
Studies of the physiologically active volatile compounds produced by fruits : II. Rate of production of CO₂ and of volatile organic compounds by King Edward VII apples on Gas storage and the effect of removal of the volatiles from the atmosphere of the store on the incidence of superficial scald.
J. Hort. Sci., 25, 81-110.
- FIDLER (J.C.). 1973.
Conditions of storage. Part I in FIDLER J.C., WILKINSON (B.G., EDNEY K.L. and SHARPLES (R.O.). The biology of apple and pear storage.
Commonwealth Agricultural Bureaux ed. Farnham Royal, Slough SL 2, 3 BN, England, 235 p.
- HILKENBAUMER (F.). 1961.
The importance of the cuticle for the maturation and storage of fruits.
Bull. Intern. Inst. Refrig., Annexe I, 195-200.
- HUELIN (F.E.) et KENNETT (B.H.). 1958.
Superficial scald, a functional disorder of stored apples :
I. The role of volatile substances.
J. Sci. Fd Agric., 9, 657-666.
- HUELIN (F.E.) et MURRAY (K.E.). 1966.
 α -farnesene in the natural coating of apples.
Nature, 210, 1260-1261.
- HUELIN (F.E.) et COGGIOLA (I.M.) 1968.
Superficial scald, a functional disorder of stored apples :
IV. Effect of variety, maturity, oiled wraps and diphenylamine on the concentration of α -farnesene in the fruit.
J. Sci. Fd Agric., 19, 297-301.
- HUELIN (F.E.) et COGGIOLA (I.M.). 1970 a.
Superficial scald, a functional disorder of stored apples :
V. Oxidation of α -farnesene and its inhibition by diphenylamine.
J. Sci. Fd Agric., 21, 44-48.
- HUELIN (F.E.) et COGGIOLA (I.M.). 1970 b.
Superficial scald, a functional disorder of stored apples :
VI. Evaporation of α -farnesene from the fruit.
J. Sci. Fd Agric., 21, 82-86.
- HUELIN (F.E.) et COGGIOLA (I.M.). 1970 c.
Superficial scald, a functional disorder of stored apples :
VII. Effect of applied α -farnesene, temperature and diphenylamine on scald and the concentration and oxidation of α -farnesene in the fruit.
J. Sci. Fd Agric., 21, 584-589.
- KIDD (F.) et WEST (C.). 1935.
Cause and control of superficial scald in apples.
Rept Food Invest. Bd for 1934, 111-117.
- MARCELLIN (P.) et LEBLOND (C.). 1957.
Une grave maladie de l'entreposage des pommes et des poires :
l'échaudure.
Fruits, vol. 12, n 4-5, 147-161.
- MARCELLIN (P.) et MAZLIAK (P.). 1965.
Contribution à l'étude du mécanisme d'apparition de l'échaudure.
C.R. XIème Congr. Intern. Froid, Munich 1963, vol. 11, 851-856.
- MARCELLIN (P.), BLONDEAU (J.P.), DESSAUX (C.) et POULIQUEN (J.). 1975.
Effets de traitements en atmosphère très enrichie en oxygène sur l'échaudure des pommes Granny Smith.
C.R. 14ème Congr. Intern. Froid, Moscou 1975 (sous presse).
- MARTIN (D.) et LEWIS (T.L.). 1961.
Scald.
Bull. Intern. Inst. Refrig., Annexe I, 201-206.
- MEIGH (D.F.). 1969.
Production of farnesene and incidence of scald in stored apples.
Proc. of Intern. Symp. on «Biochemistry of fruit ripening and Senescence». Gorsem 1969. Qualitas plantarum et Materiae Vegetables. vol. XIX, n 13, 243-254.
- MEIGH (D.F.). 1970.
Apple scald.
in HULME A.C. *The biochemistry of fruits and their products. Academic Press, London*, vol. 1, chap. 19, 555-569.
- PADFIELD (C.A.S.). 1958.
Superficial scald : some methods of control reported overseas applied to New-Zealand grown Granny Smith apples.
N.Z. J. Agric. Res., 1, 231-238.
- PADFIELD (C.A.S.). 1969.
The storage of apples and pears.
Bull. N.Z. Dept. Sci. Ind. Res., 111, 117 p
- PENTZER (W.T.) et HEINZE (P.H.). 1954.
Postharvest physiology of fruits and vegetables.
Ann. Rev. Plant Physiol., vol. 5, 205-224.
- POWELL (G.H.) et FULTON (S.H.). 1903.
The apple in cold storage.
U.S. Dept. Agric. Bur. Plant Ind. Bull., 48.
- RYALL (A.L.) et PENTZER (W.T.). 1974.
Diseases and injuries of deciduous tree fruits during marketing.
in RYALL (A.L.) et PENTZER (W.T.) - *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. The Avi publishing Company Inc., Wesport Connecticut*, 417-464.
- SHUTAK (V.), CHRISTOPHER (E.P.) et PRATT (L.C.). 1953.
Role of cutin in storage scald.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 61, 228-232.
- SHUTAK (V.) et CHRISTOPHER (E.P.). 1960.
Role of cutin in development of storage scald in Cortland apples.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 76, 106-111.
- SMITH (W.H.). 1959.
Control of superficial scald in stored apples.
Nature, 183, 760.
- SMOCK (R.M.). 1955.
A new method of scald control.
Amer. Fruit Grow., 75 (11), 20.
- SMOCK (R.M.). 1957.
A comparison of treatments for control of the apple scald disease.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 69, 91-100.
- SMOCK (R.M.). 1961.
Methods of scald control on the apple.
Bull. Corn. Univ. Agric. Exp. Stat., 970, 55 p.
- SOUTHWICK (F.W.) et SMOCK (R.M.). 1943.
Lengthening the storage life of apples by removal of volatile materials from the storage atmosphere.
Plant Physiol., 18, 716-717.
- STADEN (O.L.). 1961.
Control of scald on apples.
Bull. Intern. Inst. Refrig. Annexe I, 211-216.
- STOLL (K.). 1959.
The problem of volatiles on scald as observed with apples in cold storage.
Z. Kältetechnik, 11, 400-403.
- ULRICH (R.), MARCELLIN (P.), LEBLOND (C.) et PAULIN (A.). 1961.
Quelques observations sur l'échaudure des pommes Stayman Winesap.
Bull. Inst. Int. Froid, Annexe I, 221-229.