

MATURATION NATURELLE ET ARTIFICIELLE DES FRUITS⁽¹⁾

par **Roger ULRICH**

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE CAEN,
DIRECTEUR DE LABORATOIRE
A LA STATION DU FROID DE BELLEVUE (CNRS).

Les fruits traversent au cours de leur développement une série de phases séparées par des repères plus ou moins bien définis ; on peut schématiser l'ensemble de la manière suivante, en s'en tenant aux fruits charnus.

DATES REPÈRES	PÉRIODES
Naissance du fruit (fécondation)	a) Nouaison ou démarrage de la croissance (s'opposant à l'avortement)
Véraison (début du virage de la couleur)	b) Croissance active du fruit vert
Maturité (couleur, odeur, saveur caractéristiques)	c) Maturation : virage de la teinte, différenciation du parfum et de la saveur
Mort.	d) Sénescence : vieillissement du fruit mûr, bletissement, etc...

On voit que la maturation est l'une de ces phases de l'histoire du fruit ; elle commence à la fin de la période de grande croissance et se termine à la matu-

rité. Ces limites ne sont pas rigoureuses, car la croissance continue souvent tant que le fruit reste sur l'arbre. Il faudrait d'autre part définir la maturité. Nous admettrons qu'elle correspond au moment où le fruit est à point pour la consommation.

Ainsi définie, la maturation comprend en particulier la période qui s'étend entre la cueillette et la vente au consommateur ; c'est ce qui explique l'intérêt pratique de son étude.

L'allure dans le temps du phénomène de maturation varie d'une espèce à une autre : la banane mûrit progressivement et assez vite, la pomme régulièrement et lentement, la poire très vite dès que l'amorçage est réalisé, et la qualité optima n'est conservée que pendant un temps très court.

Un lot de fruits en cours de maturation est rarement homogène ; ce n'est pas surprenant, car il n'y a pas deux organes vivants identiques ; aussi, lorsque les fruits d'un même lot sont presque tous à point subsiste-t-il quelques retardataires et remarque-t-on aussi quelques exemplaires « passés ».

Pour progresser dans cette étude de la maturation, nous nous demanderons successivement en quoi consistent les transformations du fruit qui mûrit, quels sont les facteurs susceptibles d'accélérer ou de ralentir la maturation, enfin quelles allures pathologiques la maturation peut prendre dans certaines circonstances.

I. LES PRINCIPALES TRANSFORMATIONS DU FRUIT QUI MÛRIT

Le fruit en cours de maturation échange des gaz ou vapeurs avec l'atmosphère et sa composition chi-

(1) Conférence prononcée au Conservatoire national des Arts et Métiers (Institut scientifique et technique de l'alimentation), le 3 mars 1953.

mique change peu à peu. En même temps, sa couleur, sa fermeté, sa saveur, son parfum évoluent progressivement.

Respiration. Au cours de son développement, la pomme présente de grandes variations de son intensité respiratoire (fig. 1) ; la maturation est marquée par un fort accroissement de cette intensité ; on donne à ce phénomène le nom de *climactérique* (KIDD et WEST). Cet accident se retrouve au cours de la maturation de nombreux autres fruits : poires, prunes,

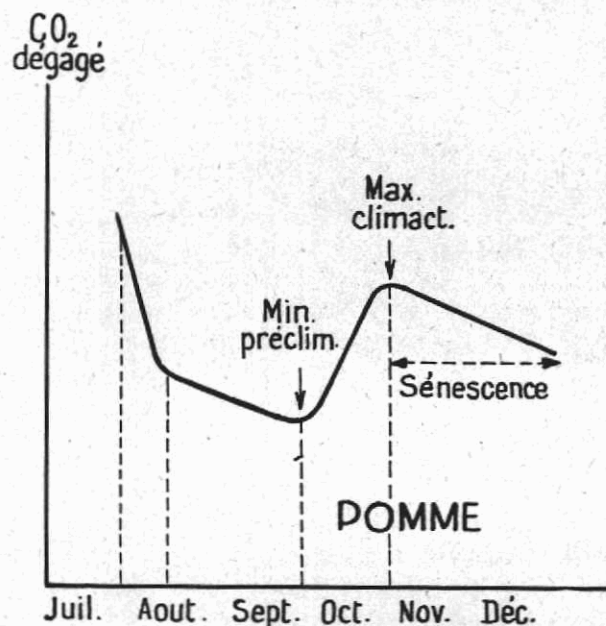


FIG. 1. — Variations de l'intensité respiratoire de pommes pendant la fin de la période de croissance, la maturation et la sénescence ; valeurs rapportées à l'unité de poids frais.

pêches, bananes, etc... L'émission de gaz carbonique respiratoire correspond à des combustions qui se produisent dans les tissus des fruits ; il en résulte un important dégagement de chaleur.

Le maximum de l'intensité respiratoire est souvent peu éloigné dans le temps de la pleine maturité. Les fruits blessés respirent plus encore que les fruits sains.

Lorsque l'oxygène tend à manquer, la respiration est remplacée par la fermentation propre, marquée par un dégagement de gaz carbonique et la production d'alcool et d'acétaldéhyde. Ce phénomène apparaît volontiers dans les fruits en tas.

Respiration et fermentation sont deux facteurs de variation de la composition de l'atmosphère des méats au contact de laquelle vivent la plupart des cellules d'un fruit.

Émission de substances volatiles oxydables. Les fruits dégagent à l'état gazeux diverses substances organiques volatiles, en particulier des essences d'odeur spécifique. La production de ces corps est particulièrement active au cours de la maturation. Il est probable que la présence dans l'air d'une quantité excessive de substances volatiles issues des fruits est susceptible de provoquer des accidents dans les entrepôts. Le papier huilé dont on emballage souvent les pommes absorberait ces substances en diminuant le risque de maladies.

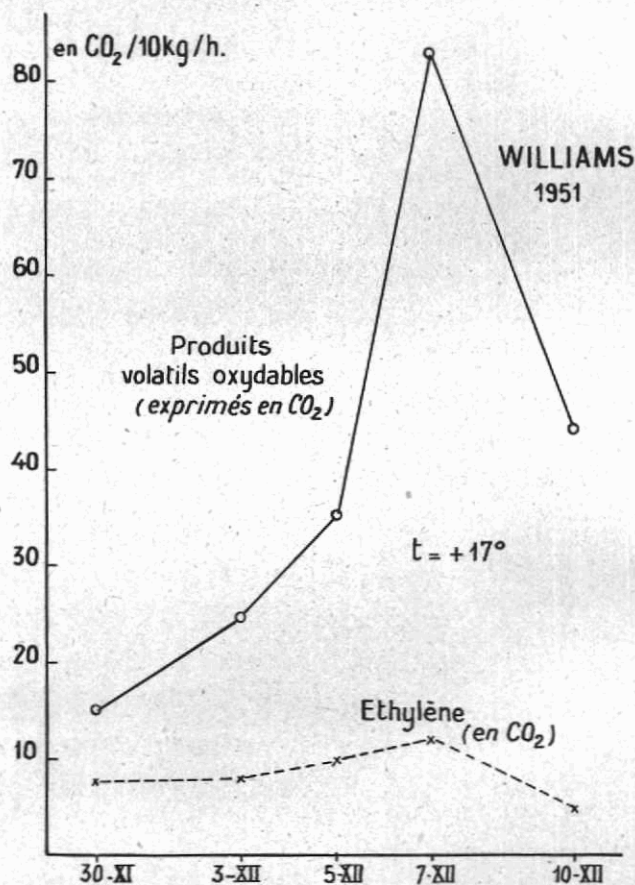


FIG. 2. — Variations quantitatives de l'émission de produits volatils oxydables (essences) et d'éthylène au cours de la maturation de poires Williams, dans une expérience à +17° (D'après ULRICH, RENAC et MIMAULT).

Émission d'éthylène. ELMER découvrit en 1932 que des pommes ou des poires mûrissantes émettent une substance capable de retarder la germination des pommes de terre. C'est cette observation qui conduisit à la découverte bien imprévue de l'émission d'éthylène ; celle-ci est particulièrement importante au cours de la maturation. Or nous verrons que l'éthy-

lène est l'un des meilleurs stimulants de la maturation que l'on connaisse (fig. 2).

Transpiration. Les fruits transpirent activement, c'est-à-dire émettent beaucoup de vapeur d'eau. Il est fréquent que la transpiration devienne très intense lors de la maturation (Banane, Papaye).

Transformations des matières sucrées (glucides). Les sucres formés dans les feuilles, puis transportés aux fruits en croissance s'accumulent d'ordinaire

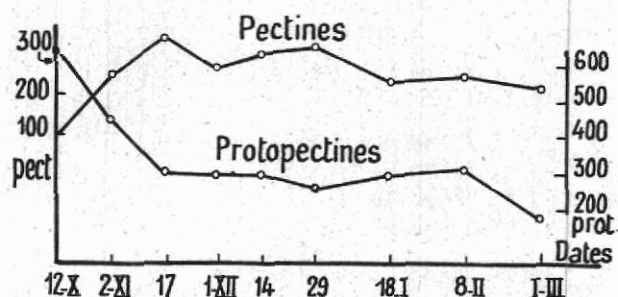


FIG. 3. — Variations de la teneur en pectines solubles et en protopectines de pommes Calville conservées à + 10° de la récolte à un stade avancé de la sénescence. Valeurs exprimées en mg dans 100 g de fruits pesés à la mise en route de l'expérience (D'après ULRICH, RENAC et M^{me} LAFOND).

dans les tissus de ces derniers, pour une part importante sous la forme d'amidon. Celui-ci disparaît au cours de la maturation, engendrant des sucres tels que le saccharose qui jouent un rôle important comme facteurs de la saveur. Le fait est particulièrement net dans la banane. On considère souvent l'abondance d'amidon comme un test de prématuration des fruits. La maturité est fréquemment marquée par une teneur maxima en saccharose. Au niveau des blessures l'amidon subsiste intact. Une atmosphère riche en gaz carbonique peut favoriser l'accumulation du saccharose (châtaignes). Les sucres ou certains produits de leur dégradation (acide pyruvique, acétaldéhyde, etc...) sont à l'origine

de corps importants tels que les acides gras, des acides organiques, certains constituants des essences, etc...

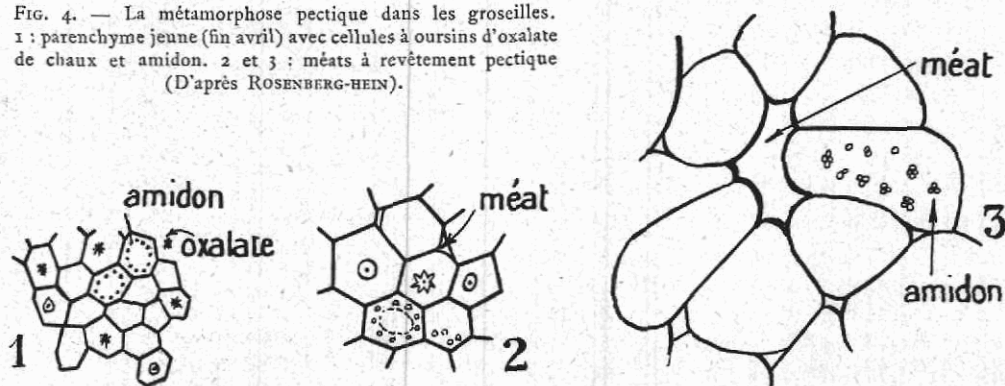
Transformations des composés pectiques. Les composés pectiques constituent une famille chimique ; ils sont de plusieurs sortes ; les uns, comme les protopectines, sont insolubles dans l'eau ; d'autres, comme les pectines, s'y dissolvent ou donnent en sa présence des sortes de gelées. Les pectines contribuent à rendre les fruits fondants et jouent un rôle important dans la prise des confitures. La transformation des protopectines en pectines est l'une des caractéristiques les plus frappantes de la maturation (fig. 3). C'est surtout le ciment intercellulaire qui est le siège de ces modifications (fig. 4). D'abord mince et tenace, il se gonfle en une gelée que l'on observe au microscope au niveau des méats où elle peut prendre l'aspect de verrues ; plus tard, cet enduit de pectine se résorbe. Dans les fruits fondants, dans les pommes dites farineuses, les cellules se séparent aisément les unes des autres du fait de cette évolution des membranes.

Les basses températures, l'enrobage en paraffine, l'enrichissement de l'atmosphère en gaz carbonique ralentissent la métamorphose pectique. La dureté du fruit, aisément mesurable avec un dynamomètre (pénétrromètre), est en relation étroite avec la métamorphose pectique. Dans certaines maladies, celle-ci est profondément troublée.

Évolution de l'acide ascorbique. L'acide ascorbique ou vitamine C croît ou décroît suivant les fruits au cours de la maturation.

Métabolisme des acides organiques. La jeunesse du fruit est le plus souvent une phase d'acidification, tandis que l'âge mûr et la vieillesse sont généralement caractérisés par un appauvrissement en acides organiques (malique, citrique, tartrique...). La régression n'affecte pas également tous les acides présents. Dans les pommes, c'est essentiellement l'acide malique qui

FIG. 4. — La métamorphose pectique dans les groseilles. 1 : parenchyme jeune (fin avril) avec cellules à oursins d'oxalate de chaux et amidon. 2 et 3 : méats à revêtement pectique (D'après ROSENBERG-HEIN).



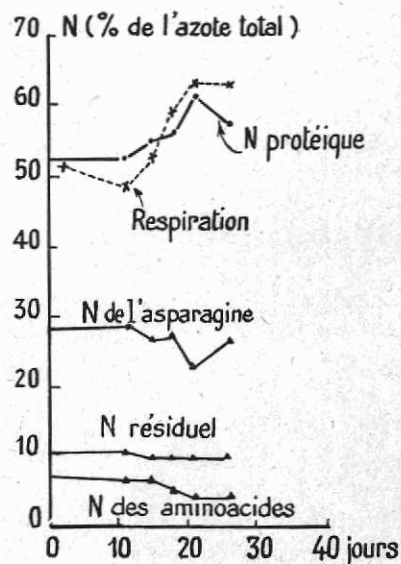


FIG. 5. — Modifications de l'importance relative des diverses fractions azotées de la pomme pendant la crise climactérique, à 12° (pomme Bramley's Seedling; d'après HULME).

est touché. Dans les raisins, l'acide malique et l'acide tartrique sont brûlés, mais l'acide citrique subsiste. Ce dernier résiste particulièrement à la respiration, ce qui explique sa persistance à maturité dans certains fruits acides tels que les agrumes, les groseilles, etc... Les transformations des acides organiques dans les tissus se font d'une manière assez complexe

très étudiée actuellement. Une partie se transforme en sels (formation de bitartrate de potassium dans les raisins), une autre peut-être en sucres, etc... GERBER a montré que la combustion des acides n'apparaît, dans le cas des fruits à acide citrique (oranges), qu'à des températures sensiblement plus élevées que dans celui des fruits à acide malique (pommes).

Évolution des tanins. On observe souvent une résorption des tanins au cours de la maturation; il en résulte une diminution de l'astringence. On pense que, dans certains cas au moins, les tanins ne disparaissent pas réellement, mais se fixent sur des substances colloïdales du fruit en complexes insolubles et par conséquent incapables d'agir sur nos papilles gustatives (LLOYD). On trouve en fait dans divers fruits mûrs ou blets des inclusions insolubles offrant divers caractères des tanins.

Origine des pigments. Au cours de la maturation, la matière verte ou chlorophylle des fruits (la même que celle des feuilles) disparaît. Les pigments jaunes ou rouges (caroténoïdes), d'abord masqués par la chlorophylle, ne varient guère ou augmentent suivant les cas. Une température élevée, la présence d'éthylène favorisent la résorption de la chlorophylle. Il apparaît parfois aussi des pigments rouges ou bleus dits anthocyaniques, dont la formation peut être activée en irradiation ultraviolette (pommes).

Lipides. Dans certains fruits oléagineux comme

l'avocat ou l'olive, la maturation est marquée par un enrichissement sensible en lipides.

Les substances azotées présentent des variations qui ont été étudiées (fig. 5).

Les essences enfin se forment d'une façon encore imparfaitement connue.

Le graphique ci-joint (fig. 6) groupe l'ensemble des modifications observées à notre laboratoire au cours de la maturation des pommes Calville.

II. LES FACTEURS SUSCEPTIBLES D'ACCÉLÉRER OU DE RALENTIR LA MATURATION

Déjà lorsqu'il est sur pied, le fruit subit certaines influences capables de modifier le cours de la maturation. Ainsi, la nutrition intervient. En effet, une incision annulaire du rameau fructifère qui provoque une accumulation locale de glucides hâte la maturation des pêches; plus les fruits sont nombreux sur un cerisier, plus la maturation est tardive et irrégulière; la maturation est plus satisfaisante lorsque le feuillage est abondant que lorsqu'il est rare. D'autre

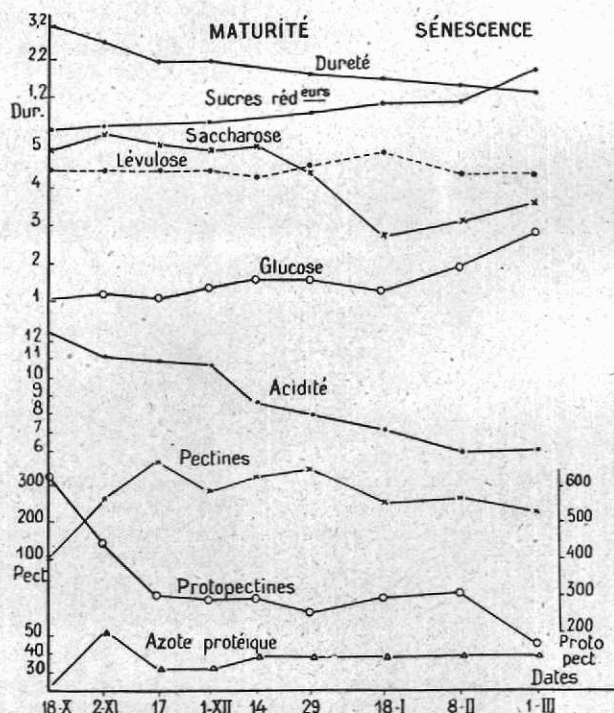


FIG. 6. — Variations de la dureté et de la composition de pommes Calville pendant la fin de la maturation et la sénescence à + 10°. Dureté mesurée au pénétromètre (en kg); sucres (en g) et composés pectiques (en mg) rapportés à 100 g originels de fruits frais. Acidité en milliéquivalents dans 100 cc de jus de presse. Azote protéique exprimé en pourcentage de l'azote total (D'après ULRICH, RENAC et M^{me} LAFOND).

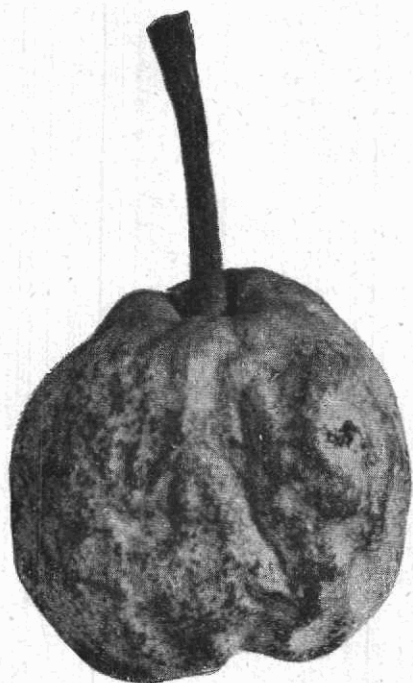


FIG. 7. — Poire Passe Crassane fortement ridée en entrepôt pour avoir été mise au froid insuffisamment mûre (Cliché des Laboratoires de Bellevue).

la suite de SCHÖNE et HOFFMANN), est capable, d'après KENNARD et ses collaborateurs, de retarder de quelques jours la maturation des framboises. Diverses substances de croissance synthétiques telles que l'acide 2-4-5 trichlorophénoxyacétique peuvent activer la maturation des fruits sur l'arbre (MARTH et collab.). Il faut bien avouer cependant qu'on connaît encore mal ce qui se passe tant que le fruit est sur l'arbre. Nous étudierons donc surtout le fruit cueilli.

Le degré de maturité au départ est très important. Certains fruits cueillis longtemps avant d'avoir atteint le maximum de taille mûrissent dans des conditions convenables (Bananes) alors que d'autres cueillis déjà gros mais verts mûrissent mal (poires ; fig. 7) ou pas du tout (fraises, tomates).

A. Les inhibiteurs de la maturation.

a) *Le froid* est l'un des plus importants. Ainsi, les poires Williams mûrissent particulièrement bien de 15 et 20°, mais mal au-dessous de 12° et au-dessus de 24° (fig. 8). D'après KIDD et WEST (1936), la maturation des poires Doyenné du Comice et Conférence est normale entre 3 et 8°. D'après nos propres observations, les pommes Calville et Canada mûrissent plus complètement à 7° qu'à 0 ou + 4°. KRUMB-

part, COMBES a montré qu'un éclaircissement intense des plantes est favorable à la maturation des fruits. En Californie, il existe, d'après MOORE, une relation directe entre les maxima de température de printemps et d'automne et la date de maturité des oranges. L'hydrazide maléique, utilisé par les physiologistes comme inhibiteur de la croissance (à

HOLZ a désigné sous le nom de *température critique* celle au-dessous de laquelle les fruits ne mûrissent plus ; elle serait de l'ordre de 0° pour les pommes, de + 10° pour la poire Williams, de + 10° pour la Louise Bonne, de + 3° pour la poire Comice, etc.

D'après FIDLER, les prunes mûrissent bien vers 18° mais anormalement à 7°. D'après TINDALE et ses collaborateurs, les pêches ne mûrissent bien qu'à partir de 7 à 13°. Les bananes ne mûrissent plus normalement à 12° ou au-dessous.

Beaucoup de fruits des régions chaudes redoutent les basses températures.

La zone des températures favorables s'élève lentement en fonction de la durée de conservation au frigorifique (KRUMBHOLZ).

b) *L'appauvrissement de l'atmosphère ambiante en oxygène et son enrichissement en gaz carbonique* sont également capables de ralentir la maturation des fruits. Des pommes Calville s'amollissent tardivement, restent plus ou moins vertes, acides et pauvres en essences dans une atmosphère à 5 % d'oxygène, 5 % de gaz carbonique et 90 % d'azote tandis que dans l'air, à la même température (+ 4°), elles deviennent plus vite tendres, plus jaunes et de meilleure qualité. Ce sont des faits de ce genre qui ont conduit les physiologistes anglais KIDD et WEST à la découverte d'une nouvelle méthode de conservation des fruits, procédé dit « en atmosphère contrôlée » (gas storage). Les fortes doses de gaz carbonique ralentissent la maturation du fruit même à la température ordinaire (40 % par exemple) ; le fait trouve son application dans le transport des fruits aux États-Unis.

Nous avons vu que la plupart des cellules d'un fruit ne vivent pas au contact direct de l'atmosphère ambiante mais baignent dans l'atmosphère interne intercellulaire dont la composition peut être sensiblement différente. Or des chercheurs australiens ont montré que les pommes restent vertes lorsque cette atmosphère interne renferme moins de 3 % d'oxygène (HALL). L'excès de gaz carbonique interne intervient d'autre part dans les modifications des composés pectiques. Le gaz carbonique doit bloquer des diastases, et le métabolisme des sucres, inachevé, se ramène à une accumulation dangereuse d'acétaldéhyde (FIDLER).

c) *L'enrobage des fruits* dans un produit cireux produit le même effet que la conservation en atmosphère contrôlée ; il gêne les échanges de gaz avec l'extérieur, ce qui entraîne un enrichissement de l'atmosphère des lacunes en gaz carbonique. Les produits utilisés sont des émulsions ou des solutions de

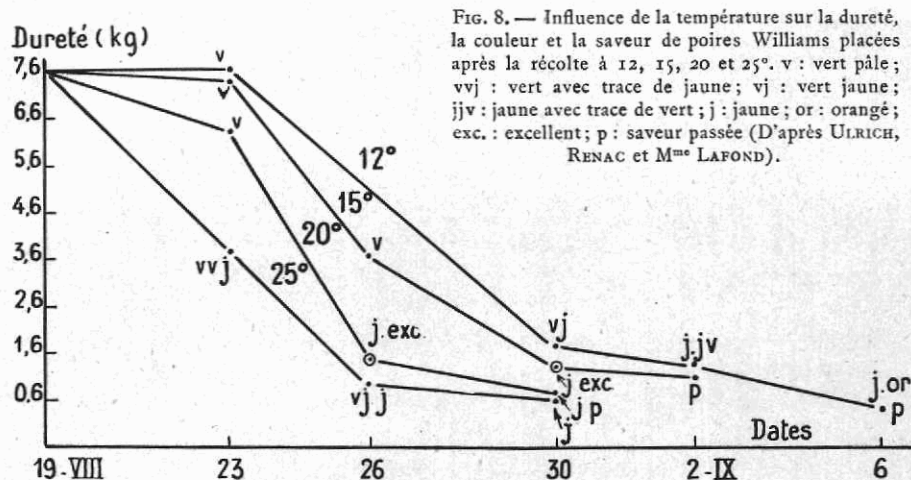


FIG. 8. — Influence de la température sur la dureté, la couleur et la saveur de poires Williams placées après la récolte à 12, 15, 20 et 25°. v : vert pâle; vvj : vert avec trace de jaune; vj : vert jaune; jjv : jaune avec trace de vert; j : jaune; or : orangé; exc. : excellent; p : saveur passée (D'après ULRICH, RENAC et M^{me} LAFOND).

diminuer les chances d'infection. Une maturation accélérée (3-4 jours) peut être obtenue par chauffage de la chambre à 21° (1 jour) puis à 20° jusqu'à début de coloration (H. R. = 0,95) puis à 19° (H. R. = 0,85). On ne ventile pas tant que les premiers signes de coloration ne sont pas apparus.

L'expérience a montré que la maturation est plus rapide à température variable qu'à température constante pour une même valeur moyenne (Banane; WARDLAW et LÉONARD, 1940).

paraffine, de cires ou d'autres produits en mélange avec divers corps et souvent appliqués sur les fruits par pulvérisation.

d) *Emploi de substances chimiques diverses.* MARSHALL, HAMNER et KREMER ont pu retarder la maturation des pêches et des poires Williams en les emballant dans du papier imprégné de l'ester méthylique de l'acide naphthalèneacétique et en emballant le tout en carton passablement étanche.

Indiquons pour terminer que l'ozone a été signalé comme inhibiteur de la maturation des bananes (GANE) et que COPISAROW a étudié les propriétés inhibitrices de l'acide maléique à l'égard de la maturation des pommes.

B. Les stimulants de la maturation.

a) *La chaleur.* Nous avons déjà signalé plus haut l'action favorable des températures élevées, mais nous devons ajouter quelques précisions à leur sujet. Il existe du côté des hautes températures une zone critique qui ne permet plus une maturation normale; elle commence vers 30° pour les poires Williams (OVERHOLSER et TAYLOR). Finalement, la maturation n'est possible qu'entre deux températures limites plus ou moins éloignées: proches dans le cas de la banane (18-21°), plus éloignées dans le cas des poires et des prunes (5-25° env.) et plus encore pour les pommes. C'est dans cette zone qu'on doit se placer dans la pratique; on utilise des chambres à paroi isolée où l'on peut régler la température, l'hygrométrie et l'aération. Dans une chambre à bananes par exemple, on peut réaliser les conditions suivantes: température: 20°, humidité relative: 0,90; lorsque les fruits commencent à jaunir, on réduit l'humidité relative (H. R. = 0,80) pour affermir la surface et

Il faut enfin noter que lorsqu'une élévation de température a déclenché le départ de la maturation, celle-ci continue même si les fruits sont reportés au froid (fig. 9). Cette remarque a son importance dans la pratique; on peut amorcer la maturation puis transporter et vendre les fruits pendant qu'ils sont encore fermes (prunes; FIDLER).

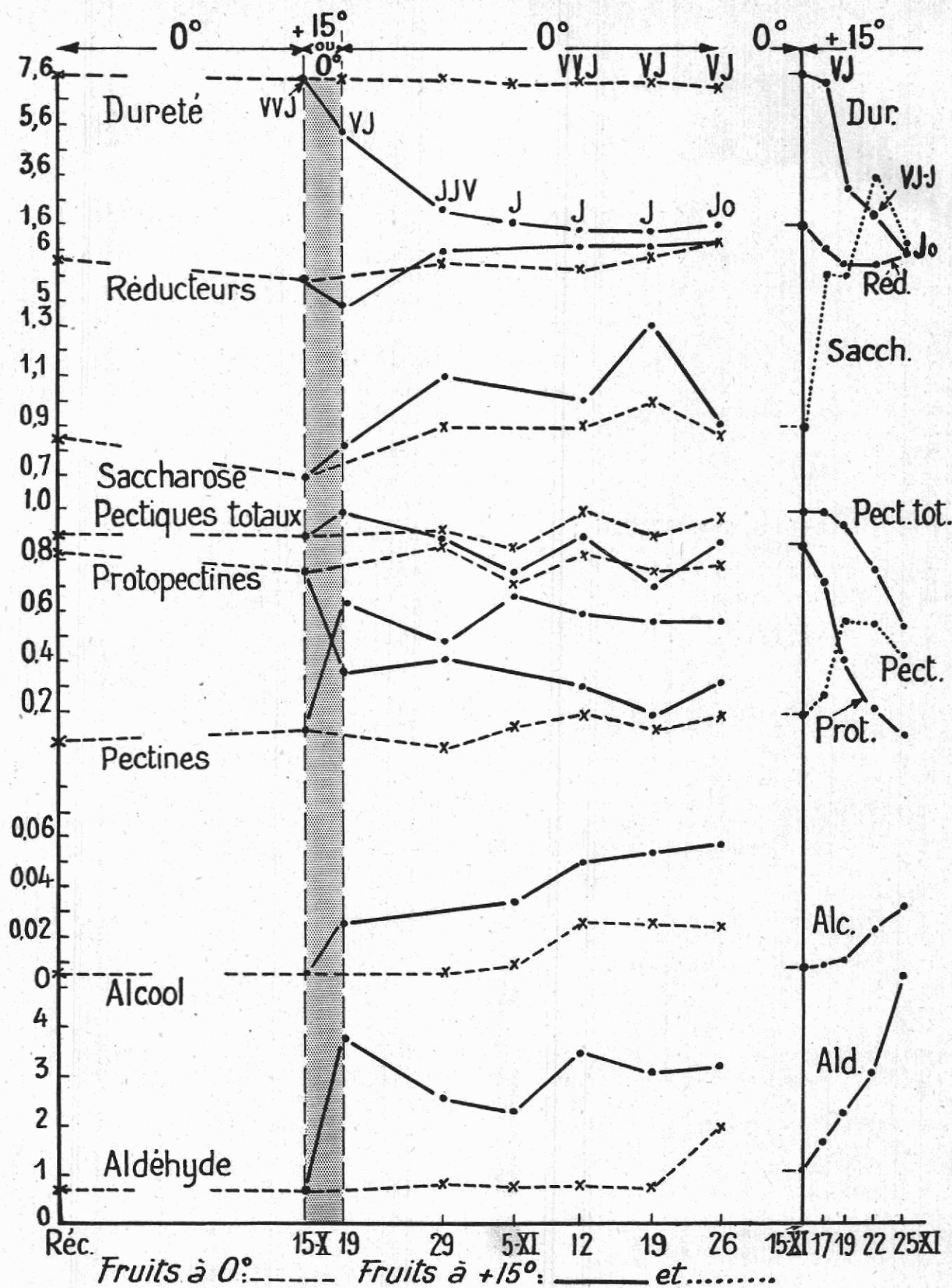
L'action de la chaleur sur la chute de l'acidité est particulièrement intéressante dans le cas du raisin. PEYNAUD a montré la désacidification rapide du raisin chauffé à 35°; une partie de l'acide malique disparaît, l'acide tartrique est brûlé, mais l'acide citrique résiste. Ce traitement dit passerillage permet d'achever la maturation des fruits après un été froid. On a parfois conseillé dans le même but l'utilisation de l'infra-rouge (OURNAC).

b) *L'enrichissement en oxygène de l'atmosphère* est capable de stimuler nettement la maturation des tomates et des bananes.

c) *Substances organiques volatiles diverses.* Les Chinois hâtaient, paraît-il, la maturation des poires trop fermes en les plaçant dans des chambres où ils faisaient brûler de l'encens (KALTENBACH).

SIEVERS et TRUE ont montré que les produits de la combustion incomplète des huiles minérales sont capables de donner aux oranges et aux citrons les

FIG. 9. — Modifications observées sur des poires Williams maintenues constamment à 0° (---) ou portées à un certain moment à +15°. A gauche, le séjour à +15° n'a duré que du 15 au 19 octobre; à droite, les poires ont été maintenues à +15° à la sortie du froid, le 15 novembre. La dureté de la chair est exprimée en kg. Les concentrations en sucres réducteurs, en saccharose, en composés pectiques, en alcool sont exprimées en grammes et rapportées à 100 g de fruits frais dépourvus de calice, de pédoncule et de graines. Les teneurs en aldéhyde sont exprimées en milligrammes. Couleurs: mêmes abréviations que sur la figure 8; en plus, jo: jaune orangé (d'après ULRICH, RENAC et MIMAULT).



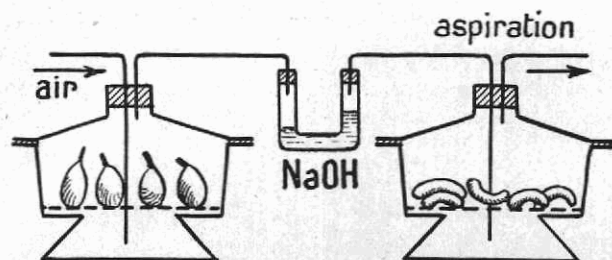


FIG. 10. — Schéma du montage d'une expérience montrant l'action stimulante de certaines émanations volatiles des poires sur la maturation des bananes. L'air est privé de gaz carbonique par barbotage dans de la soude; ce gaz n'est donc pas le produit actif.

couleurs de la maturité. Les gaz des moteurs à explosion, le gaz de ville peuvent avoir une action analogue.

Les fruits eux-mêmes émettent des produits volatils qui activent la maturation des fruits verts; le fait a été observé dès 1910 à la Jamaïque à propos d'oranges agissant sur des bananes. Si l'on place des poires dans un exsiccateur traversé par un courant d'air et si l'on envoie cet air dans un autre exsiccateur renfermant des bananes, le tout à + 15°, ces bananes mûrissent rapidement, alors que d'autres fruits comparables à l'origine, mais conservés dans l'air, n'évoluent pratiquement pas pendant le même temps. Si l'expérience est répétée en diluant au 1/10 le gaz qui sort du premier exsiccateur, le résultat est identique; si l'on intercale entre les deux récipients à fruits un ozoniseur, l'expérience ne réussit plus. Les poires émettent donc un gaz qui accélère la maturation à très faible dose, et ce gaz est facilement oxydable. La stimulation varie avec le degré de maturité initial, les variétés en présence, la température, le nombre de fruits, etc... (SMOCK, 1943). On sait, grâce à de nombreuses recherches, que la substance active issue de la combustion des huiles aussi bien que des fruits vivants est l'éthylène.

On a utilisé industriellement des foyers à huile lourde (kérosène) pour produire de l'éthylène qu'on envoie ensuite dans les chambres de maturation, mais on tend de plus en plus, aux États-Unis notamment, à utiliser l'éthylène pur, dont nous étudierons l'action dans un instant.

Signalons que des essais sur des poires nous ont montré qu'aux doses utilisées, l'acétaldéhyde, l'acétate d'éthyle, l'essence d'orange n'ont pas un effet favorable sur la maturation, mais que leur action est plutôt freinatrice et même toxique. BIALE a décrit l'influence stimulante exercée par les émanations de la moisissure *Penicillium digitatum* sur la maturation des citrons.

D'après GOTLIB, des chercheurs russes auraient

montré l'effet stimulant sur la maturation du divinyle ou 1-3 butadiène à 1 0/00, du chlorure d'éthylène, du bromure d'éthylène, de l'éther et de l'alcool (injection d'alcool dans des tomates).

d) *Éthylène*. Depuis les expériences de DENNY (1924), on utilise ce gaz pour faire jaunir les citrons. Dans le cas des agrumes, il semble qu'il n'exerce guère son action que sur la pigmentation des fruits (déverdissement; CHACE et CHURCH); cette action n'en est pas moins intéressante pour cela, car les oranges et les mandarines ont souvent la composition du fruit mûr sans en avoir l'apparence. L'effet de l'éthylène paraît beaucoup plus profond avec d'autres fruits tels que les pommes: on assiste alors non seulement à une accélération de la destruction de la chlorophylle et à une stimulation de la respiration, mais aussi à un accroissement de la teneur en sucres solubles, à une active évolution pectique, à une résorption des tanins, etc... Il est possible que l'éthylène agisse dans tous ces cas comme un effecteur stimulant les actions diastasiques (expériences de REGEIMBAL et HARVEY).

Les fruits traités doivent être très sains; dans le cas des oranges Navel, les parties meurtries restent vertes et s'altèrent facilement. Les oranges récoltées trop tôt restent jaune pâle à la fin du traitement. Avec les bananes, il faut, après avoir obtenu la coloration désirée, diminuer l'humidité de l'air, jusqu'à 75 % par exemple. Enfin, les concentrations trop élevées en éthylène peuvent provoquer l'apparition de taches sur les bananes, les pommes et les tomates. Le cas des prunes Kelsey, très cultivées en Afrique du Sud, est curieux; ces fruits ne virent du jaune au rouge que si on les traite par l'éthylène (la saveur et la fermeté ne sont d'ailleurs pas affectées par le traitement; FIDLER).

Industriellement, les traitements s'effectuent dans des chambres de maturation au centre desquelles l'éthylène est envoyé soit d'une manière continue, l'air étant constamment renouvelé, soit d'une manière discontinue deux à quatre fois par jour; dans ce dernier cas, la chambre est largement aérée pendant une demi-heure avant chaque insufflation d'éthylène. Il faut éviter en effet que la concentration du gaz carbonique ne s'élève d'une manière excessive. Les concentrations d'éthylène utilisées sont de l'ordre de 1/1.000 mais varient avec l'espèce de fruit traitée, et selon les conditions locales; on observe encore un jaunissement des citrons en 14 jours dans l'air à 1/5.000.000 d'éthylène (DENNY). La température est d'ordinaire de 18 à 21°, et l'humidité de l'ordre de 85-95 %; cette humidité élevée est nécessaire pour

éviter le flétrissement des tissus. Il faut noter que ces conditions sont également très favorables au développement des champignons susceptibles d'altérer les fruits. Le stade du développement atteint au moment du traitement est important ; des fruits traités trop tard ne répondent plus à l'action de l'éthylène ; nous l'avons observé nettement avec la variété de poire Passe Crassane.

Pour les agrumes auxquels ces traitements sont souvent appliqués, on doit noter que l'action de l'éthylène favorise les altérations, surtout si les fruits n'ont pas subi préalablement de traitement antiseptique (borax...) ; d'autre part l'éthylène provoque la chute du moignon de pédoncule.

De bons résultats ont été également signalés avec les dattes, les melons, persimmons, mangues, avocats, etc... ; les données dont on dispose en ce qui concerne les poires et surtout les pommes sont moins encourageantes.

Les poires de la variété Dr Jules Guyot, précoces puisqu'elles mûrissent normalement avant Williams, sont parfois traitées par l'éthylène pour arriver plus tôt encore sur le marché. Au cours d'une expérience faite à notre laboratoire, mon collaborateur RENAC a observé que des poires traitées 24 ou 48 heures par l'éthylène (environ 1/5.000), à + 20°, sont devenues fondantes et juteuses plus rapidement que les témoins non traités.

Dans une expérience plus récente, nous avons essayé, sur la demande d'arboriculteurs, d'obtenir des poires Passe Crassane mûres à Noël ; les résultats ont été satisfaisants dans les conditions suivantes. L'entreposage a eu lieu à + 10° au lieu de 0°. Les fruits sortis du fruitier le 17 décembre ont été traités à 18° par l'éthylène (2 ‰) pendant 4 heures par jour, chaque opération étant suivie d'un intense renouvellement d'air pendant 1/4 d'heure. Le 26 décembre, les fruits étaient jaunes, fondants et sucrés, de qualités très supérieure à celle des témoins mis à mûrir à 18° dans l'air.

D'après GOTLIB, on préparerait à Leningrad, à partir du pétrole, un mélange gazeux efficace renfermant :

C ² H ⁴ (éthylène).....	35 %
C ³ H ⁶ (propylène).....	18 %
C ⁴ H ⁸ (butylène).....	4 %
Carbures saturés.....	43 %

Ce gaz serait envoyé dans des chambres de maturation chauffées à 18-21° ; les traitements aux gaz seraient quotidiens.

e) *Acétylène*. L'acétylène est, lui aussi, un stimulant

de la maturation (DENNY, 1924) ; il présente l'avantage d'être facile à préparer. On l'a utilisé avec succès pour faire mûrir des bananes (HARTSHORN), des tomates, des agrumes, des ananas, des prunes Kelsey, etc... D'une manière générale, les effets de l'acétylène sont comparables à ceux de l'éthylène, mais moins énergiques à dose égale ; les concentrations utilisées sont de l'ordre de 2 ‰.

Pour utiliser l'acétylène, on place au centre de la chambre de maturation un récipient renfermant du carbure de calcium sur lequel on fait tomber de l'eau goutte à goutte. Dans le cas des citrons et des clémentines, la Station expérimentale de Marrakech a conseillé d'employer 25 g de carbure par m³ de la chambre de maturation ; les fruits doivent être traités secs en surface et lorsque leur couleur commence à « tourner » ; l'humidité doit être élevée et l'aération fréquente.

f) *Hétéroauxines*. MITCHELL et MARTH (1944) ont observé que les bananes, les pommes, les poires, immergées pendant une seconde dans une solution d'acide 2-4 dichlorophénoxyacétique mûrissent plusieurs jours avant les témoins non traités. Les concentrations efficaces étaient, dans ces expériences, de 500 à 1.000 parties par million pour les pommes, de 200 à 1.600 pour les bananes, de 100 à 1.000 pour les poires. L'aérosol de 2-4 D a également donné des résultats satisfaisants. Ce dernier produit a été en outre utilisé avec succès par HANSEN pour faire mûrir les poires Williams.

Dans le cas des pêches, SOUTHWICK (1946) a constaté une accélération de la maturation sous l'effet de l'acide 2-4 dichlorophénoxyacétique ; la consistance du fruit diminue et la respiration est activée ; le 2-4 D était utilisé dans ces essais sous forme de solution d'acide à 500-1.000 parties par million additionnée de 0,5 % de carbowax 1.500 ; les fruits étaient immergés pendant 5 à 10 secondes. D'autres substances se sont révélées capables, dans certains cas au moins, d'accélérer l'évolution du fruit : α -naphtylacétate de méthyle ou d'éthyle à la dose de 400 mg par kg de fruits, le produit imbibant des fragments de papier placés entre les pêches, naphtylacétate de méthyle à 3 % imprégnant des substances neutres, mêlées aux fruits.

VAN STUIVENBERG (1946) a constaté que l'acide α -naphtylacétique hâte la maturation des pommes sur pied lorsqu'on pulvérise l'arbre avec une solution concentrée ; on peut gagner quinze jours dans le cas de la variété Yellow Transparent ; SMOCK et GROSS sont arrivés à des conclusions analogues ; le traitement par cet acide est également efficace avec les fruits cueillis (pommes, poires).

Selon MARTH et MITCHELL (1949), le 2-4 D et l'éthylène peuvent agir comme antagonistes quant à leur effet sur la maturation des bananes.

D'après BLONDEAU et CRANE, l'acide 2-4-5 trichlorophénoxyacétique active énergiquement la maturation des figues Calimyrne ; les pommes et les pêches sont sensibles elles aussi à l'action de ce produit (MARTH et collab., 1950).

III. QUELQUES ANOMALIES DE LA MATURATION

Les anomalies de la maturation peuvent être classées selon nous de la manière suivante :

1) La maturation est seulement incomplète :

On peut noter par exemple la persistance de la chlorophylle (fruits restés à trop basse température, récoltés prématurément), l'absence d'amollissement (température trop basse), l'insuffisance de saveur (conservation trop longue ou à température trop basse). On observe souvent parmi les fruits d'une récolte des exemplaires en pourcentage variable qui ne veulent pas mûrir. Nous avons essayé cette année de faire mûrir des fruits de ce genre appartenant à la variété Reinette du Mans et parvenus au laboratoire en mai. Ni le traitement thermique simple à $+ 25^{\circ}$, ni l'action de l'éthylène à la même température n'ont permis d'obtenir la maturation.

2) La maturation est troublée dans sa nature :

On observe par exemple des brunissements des tissus, des saveurs étrangères (excès de gaz carbonique de l'atmosphère, température trop élevée pour les bananes, etc...), l'éclatement des fruits, etc... Une température non convenable peut freiner plus activement certaines réactions que d'autres et cela explique peut-être l'origine de maladies physiologiques ; dans les bananes par trop refroidies, l'amidon ne s'hydrolyse que très lentement alors que les hémicelluloses évoluent normalement (cité par FIDLER). Nous avons nous-mêmes noté l'action différente du froid sur l'évolution des glucides, des composés pectiques et des acides dans les pommes Calville selon que la température est de $0 + 4$ ou $+ 7^{\circ}$.

3) La maturation est anormalement accélérée :

Le fait s'observe par exemple sur des fruits blessés, attaqués par des insectes ou placés au voisinage d'autres fruits émettant de l'éthylène.

Ainsi la maturation des fruits est un phénomène complexe. Si son cours n'est pas toujours normal dans la nature, il tend surtout à prendre une allure pathologique lorsque l'homme cherche à obtenir des fruits mûrs à contre-saison. L'emploi du froid et l'utilisation de l'éthylène sont d'intéressants moyens d'action, mais il reste encore beaucoup à apprendre.

