

# QUELQUES ASPECTS DES RÉACTIONS PHYSIOLOGIQUES DES FRUITS AUX TRAITEMENTS FRIGORIFIQUES

par

**Roger ULRICH**

PROFESSEUR A LA SORBONNE.

*On considère souvent que le fait de placer un fruit en chambre froide a comme seule conséquence de ralentir son évolution vers la maturité ou la sénescence. La réalité est beaucoup plus complexe, et on peut tenter de grouper les phénomènes observés sous trois titres, abstraction faite de l'action mortelle des températures inférieures au point de congélation :*

- 1° *Le froid, agent de ralentissement du métabolisme normal.*
- 2° *Le froid, facteur favorable à la préparation de la maturation à température élevée.*
- 3° *Le froid, facteur de déséquilibre du métabolisme.*

## I. LE FROID, AGENT DE RALENTISSEMENT DU MÉTABOLISME NORMAL

Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques qui se produisent dans tout organe vivant, le fruit en particulier. La vitesse de ces réactions est fonction de la température ; elle n'est relativement grande que grâce à des catalyseurs, les diastases, dont l'activité décroît lorsque la température s'abaisse. Une fonction des cellules telle que la respiration fait intervenir de nombreuses diastases.

### A. Exemples montrant l'action de freinage du froid sur le métabolisme.

Si on étudie la respiration d'une pomme à  $t^0$ , on trouve une certaine intensité respiratoire  $I_t$ . Si, après cette mesure (supposée de courte durée), on place le fruit à la température  $t' = t - 10$ , on trouvera, après accomplissement de l'équilibre de température entre les tissus et l'extérieur, une nouvelle intensité respiratoire  $I_{t-10}$  de l'ordre de  $I_t/2,3$  (loi de Van't Hoff).

Si l'on fait de nombreuses mesures à des températures différentes, les valeurs  $I_t$  de l'intensité respiratoire, portées sur un graphique en fonction de la température, jalonneront une courbe exponentielle (branche AB de la courbe de la figure 1, la branche BC correspondant à la chute de la respiration provoquée

par l'altération des tissus aux températures trop élevées). Les valeurs  $I_t$  répondent à la relation :

$$I_t = c \cdot a^t \text{ qui peut se traduire par : } \log I_t = \log I_0 + bt$$

$I_0$  étant l'intensité respiratoire à  $0^0$ , et  $b$  une constante voisine de 0,03 environ. Si on considère deux températures  $t_1$  et  $t_2$ , avec  $t_1 - t_2 = 10^0$ , on trouve :

$$\frac{I_{t_1}}{I_{t_2}} = 2,3 \text{ environ (coefficient } Q_{10}\text{).}$$

L'intensité respiratoire est multipliée par 2,3 approximativement, lorsque la température s'élève de  $10^0$ .

Si, au lieu d'étudier *simultanément* l'action de différentes températures sur un certain phénomène en utilisant des fruits comparables, on suit *au cours du temps* l'évolution de ce phénomène à différentes températures, on retrouve encore l'action dépressive du froid (ex. : appauvrissement des fruits en acide ascorbique, fig. 2).

L'action frénatrice du froid est particulièrement évidente dans les expériences où des fruits, d'abord réfrigérés, sont ensuite placés à température élevée ; on assiste alors à une stimulation particulièrement nette des phénomènes chimiques (fig. 3).

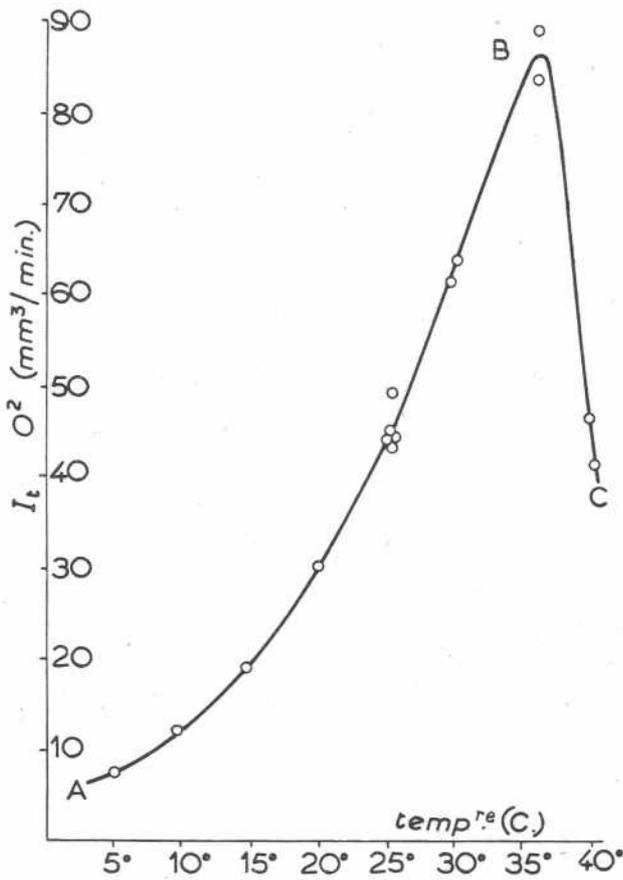


FIG. 1. — Variations de l'intensité respiratoire des fraises « Missionary » en fonction de la température. Valeurs exprimées en millimètres cubes d'oxygène fixés par 10g de fruits. D'après GERHART.

de la maturation sont beaucoup plus ralentis à 0° qu'on aurait pu s'y attendre sachant ce qui se passe à + 4 à + 7° (fig. 4). Ainsi, la chute de l'acidité et de la teneur en protopectines est longuement retardée à 0°, mais elle se produit cependant au bout d'un certain temps, comme si l'amorçage de ces réactions était difficile à 0°, la réaction se poursuivant ensuite. L'amorçage est-il dû à une substance qui se forme très lentement au froid ?

**B. Singularités du comportement des fruits, montrant que l'action de freinage du froid n'est pas toujours simple.**

Nous observons, il y a quelques années, à l'occasion d'expériences sur des pommes Calville ou Canada placées à 0, 4, 7 ou + 10°, que certains des phénomènes

FIG. 2. — Pertes en acide ascorbique des brocolis en fonction de la durée et de la température de conservation. D'après MORRIS.

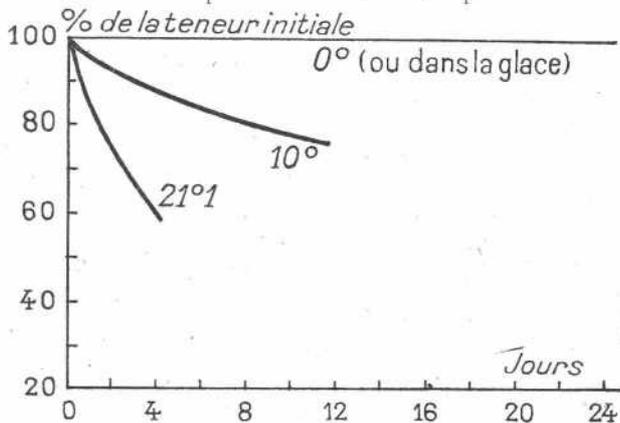


FIG. 3. — Le métabolisme des sucres dans la pulpe de bananes placées d'abord à 12° au temps A (—), puis portées à 20° au temps B (---) ou au temps C (—) fr : fructose; gl : glucose. D'après BARNELL.

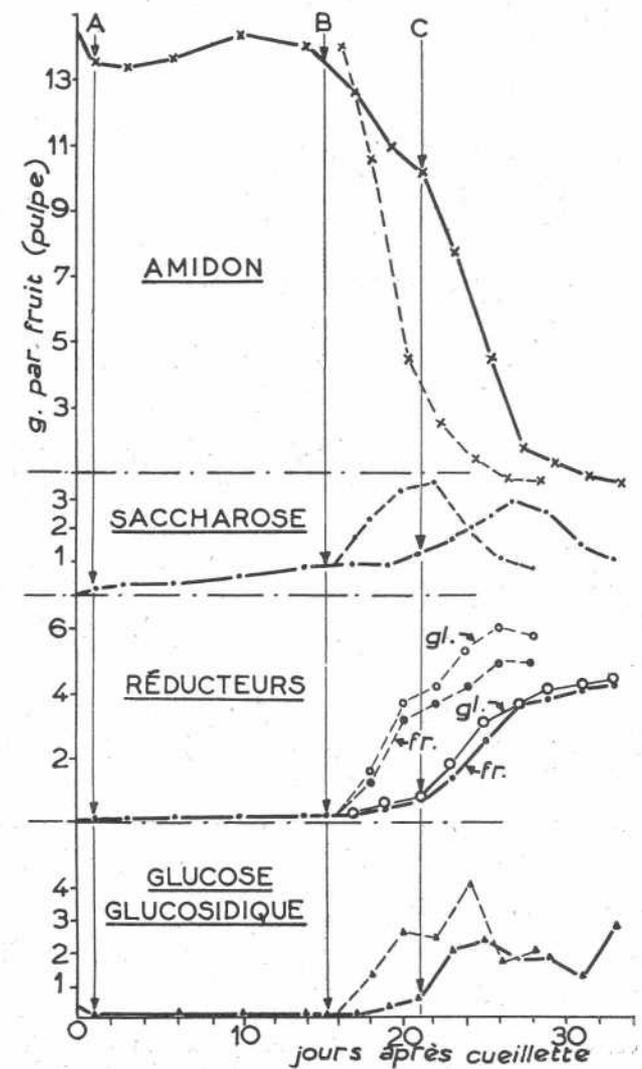
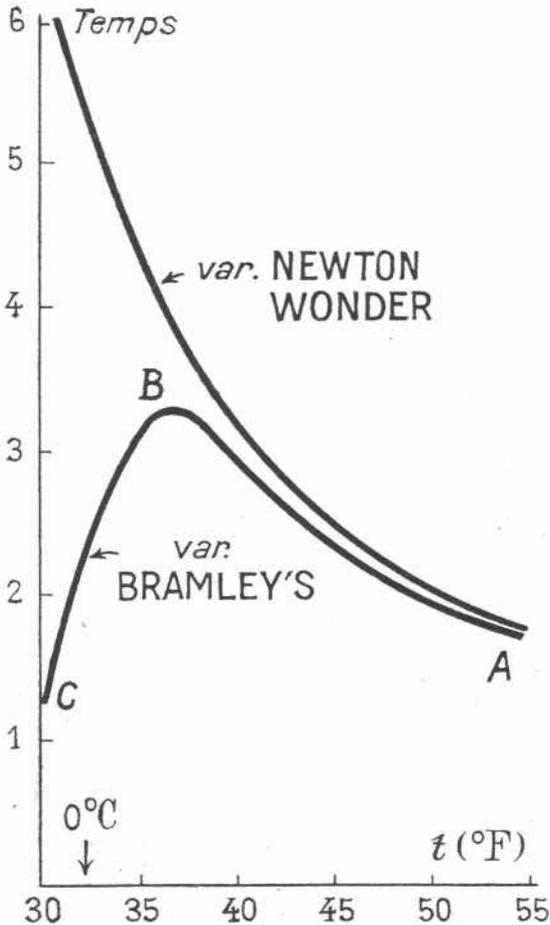
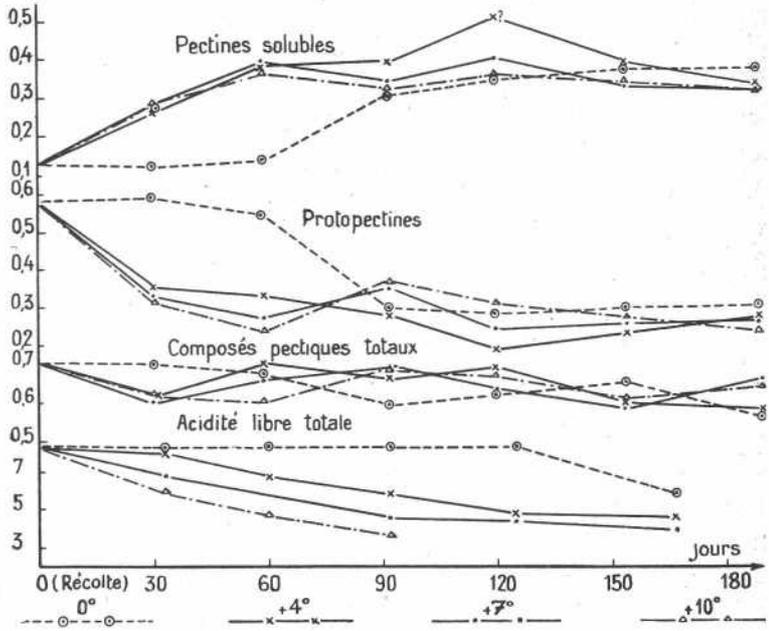


FIG. 4. — Variations de la teneur en composés pectiques et de l'acidité libre de pommes Calville conservées à 0, +4, +7 ou +10° à partir de la récolte. Composés pectiques solubles à froid (pectines) ou extractibles en milieu chlorhydrique à chaud (composés pectiques totaux ; Méthode de CARRÉ et HAYNES) en grammes dans 100 g fruits. Acidité totale exprimée en milliéquivalents dans 100 g de fruits frais. D'après ULRICH, RENAC et MIMAUT.

Il faut noter aussi qu'au-dessus d'une température maximum, la maturation n'est plus accélérée mais troublée ; elle prend des caractères anormaux. De même, en dessous d'un certain minimum, la maturation n'est plus simplement ralentie ; elle devient anormale ou impossible. Nous en reparlerons plus loin.

Un autre fait troublant est le suivant : on a parfois observé qu'un réchauffement passager d'un fruit suffit à amorcer l'amollissement des tissus, caractéristique de la maturation, cet amollissement se poursuivant ensuite, même si le fruit est refroidi à nouveau.

On a l'impression que, dans les expériences précédentes, certaines réactions telles que la transformation pectique ( $R_1$ ) sont conditionnées par le dérou-



lement de réactions  $R_2$ , génératrices d'énergie ou de certaines substances, les réactions  $R_1$  et  $R_2$  étant inégalement ralenties par le froid (rapports  $Q_{10}$  différents). Ainsi, il semble bien qu'une respiration active soit une condition de l'évolution pectique, mais il serait prématuré d'affirmer que la réaction  $R_2$  est une oxydation respiratoire ; nous retrouverons ce point de vue plus loin.

Si les basses températures ralentissaient seulement la maturation des fruits, la durée de conservation des pommes par exemple devrait augmenter régulièrement au fur et à mesure que la température s'abaisse ; or, c'est bien le cas pour certaines variétés, mais d'autres présentent un optimum vers +4° (fig. 5). On a dans ce dernier cas l'impression que deux phénomènes interviennent simultanément :

— l'action favorable du froid qui ralentit de plus en plus le métabolisme et tend à augmenter la durée de survie (action prédominante dans la zone AB de la courbe) ;

— une action nocive des températures les plus basses (action prédominante dans la zone BC de la courbe).

Nous reviendrons plus loin sur ce dernier point.

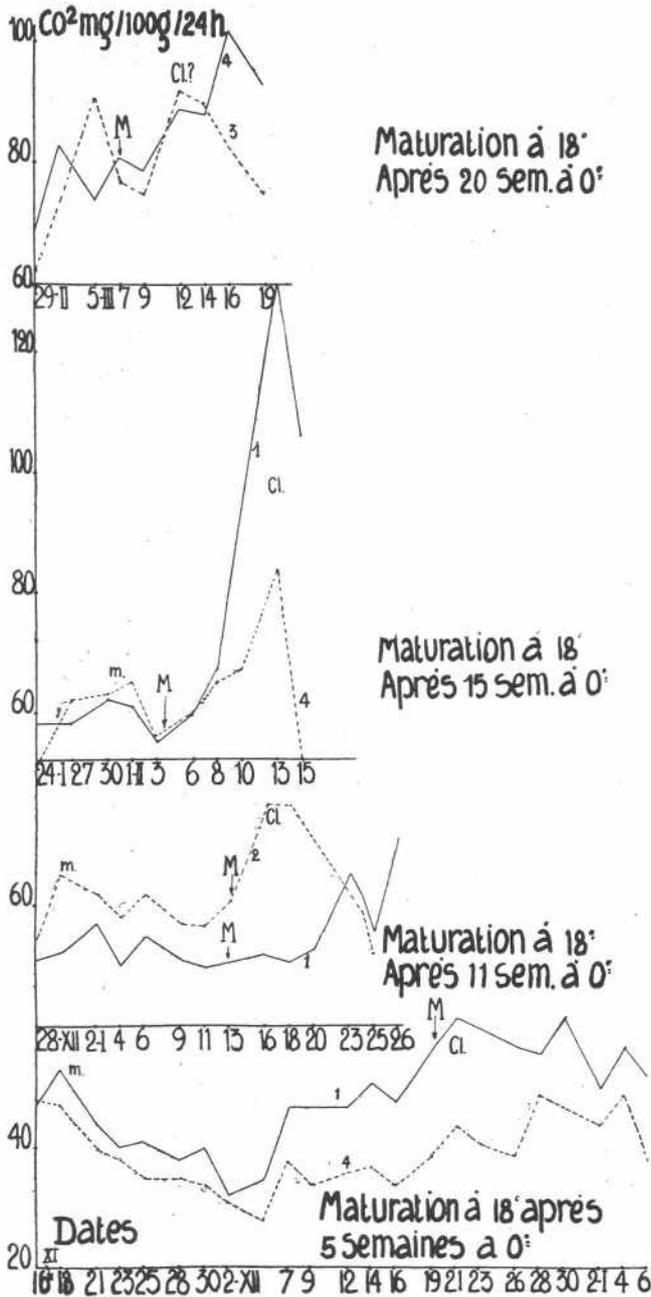
Ainsi, le froid ralentit incontestablement chacun des phénomènes chimiques élémentaires du métabo-

FIG. 5. — Relations entre la température et la durée maximum d'entreposage (en unités arbitraires) de deux variétés de pommes différemment sensibles aux basses températures. D'après KIDD et WEST.

lisme, mais lorsqu'on considère son action prolongée pendant une longue période de la vie du fruit, l'évolution simultanée de multiples réactions plus ou moins

dépendantes les unes des autres et plus ou moins sensibles aux variations de la température complique singulièrement l'interprétation des expériences.

## II. LE FROID, FACTEUR FAVORABLE A LA PRÉPARATION DE LA MATURATION A TEMPÉRATURE ÉLEVÉE



En maintes circonstances, le développement des plantes supérieures bénéficie d'un traitement par le froid. Le besoin de vernalisation de certaines espèces végétales (Digitales, Oenothère), la nécessité d'un séjour au froid des bourgeons des arbres, des bulbes de certaines plantes à fleurs sont des faits bien connus, mais dont l'explication nous échappe encore. Il se trouve que certains fruits présentent aussi un besoin de froid ; ils mûrissent mal lorsqu'on les place dès la récolte à température élevée (15° par exemple) alors qu'ils deviennent d'excellente qualité s'ils ont été placés à 0° (température ne permettant pas la maturation) avant d'être mis à mûrir à + 15°.

Ainsi, nos expériences des années précédentes sur la poire Passe Crassane nous ont conduit aux conclusions suivantes :

— A la température de 0°, la maturation est incomplète mais non troublée dans sa nature car, après un séjour suffisamment prolongé à 0°, elle peut se dérouler normalement à + 15° ou + 18°.

— La qualité la meilleure et le maximum d'homogénéité de maturation dans un lot de fruits s'observent après un séjour de 15 semaines à 0°. C'est aussi dans ces conditions que la crise respiratoire (climactérique) est la plus nette (fig. 6).

— A la température de + 4°, la maturation se produit normalement en 110-120 jours ; le maximum respiratoire est distinct dans ces conditions, mais de faible intensité.

— Une température de + 10, + 15 ou + 18° appliquée dès la récolte et maintenue constante ne permet généralement pas aux poires Passe Crassane de mûrir normalement ; les fruits restent trop fermes et leur parfum imparfait.

— Si les fruits conservés dès la cueillette à + 15

FIG. 6. — Variations de l'intensité respiratoire de poires Passe Crassane à 18° après un séjour préalable de 5, 11, 15 ou 20 semaines à 0°. Cl : maximum climactérique ; M : maturité ; m : maximum précédant fréquemment le maximum climactérique. Chaque courbe est relative à un fruit. D'après ULRICH et PAULIN.

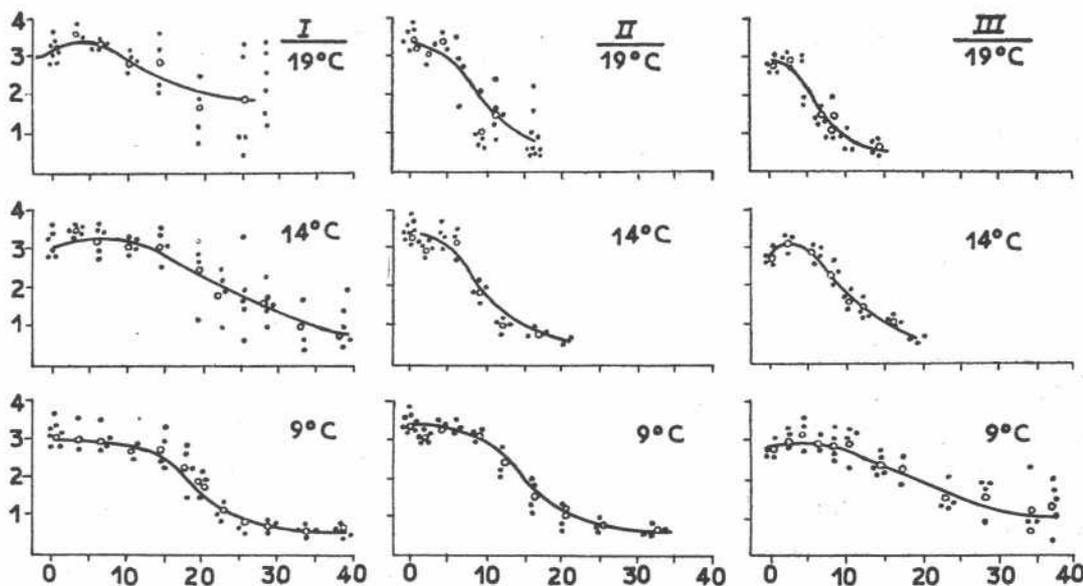


FIG. 7. — Résistance au cisaillement (« Scherfestigkeit ») de poires Alexander Lukas placées à 3 températures différentes (9, 14 et 19°), aussitôt après la récolte (colonne I), après 43 jours de séjour à 0° (colonne II) ou après 116 jours de séjour à 0° (colonne III). Chaque point correspond à un fruit. La dispersion des points est minimum quand la température est voisine de l'optimum. La température optimum est plus élevée en III qu'en II. (D'après KRUMBHOLZ et WOŁODKEWITSCH.)

ou + 18° subissent des traitements par l'éthylène, leur maturation normale devient possible.

— Alors que les poires de la région parisienne ont présenté chaque année depuis 1953 le comportement qui vient d'être décrit, mettant en évidence un certain besoin de froid pour qu'une maturation normale se produise ensuite, des poires venant de La Réole ont parfaitement mûri au laboratoire à + 18°.

Comment expliquer ces faits singuliers ? Tout donne à penser que, dans les fruits placés au froid, quelque chose s'accumule qui conditionne la maturation ultérieure au chaud. Nous avons pensé que ce pouvait être de petites quantités d'éthylène, mais si l'on fournit de l'éthylène aux poires pendant leur séjour à 0°, on ne diminue pas leur besoin de froid. Il ne serait pas impossible alors que les glucides inter-

viennent d'une manière encore inconnue, mais que nous cherchons actuellement à préciser.

Notre attention ayant été attirée sur l'effet favorable du froid par le cas des poires Passe Crassane, nous avons retrouvé un travail de KRUMBHOLZ et WOŁODKEWITSCH qui rapporte des observations analogues ; les auteurs ont étudié les variations de la fermeté de poires Alexander Lukas à trois températures (9, 14 et 19°) en fonction du séjour préalable au froid. On remarque sur leurs courbes (fig. 7) :

1° que les fruits mis à 19° immédiatement après la récolte s'amollissent incomplètement, alors qu'ils deviennent vite fondants à la même température après 116 jours de réfrigération à 0°,

2° que les fruits placés à 9° immédiatement après la récolte semblent évoluer normalement,

3° que les fruits se comportent de façon beaucoup plus homogène à 19° après séjour au froid (surtout après 116 jours) que lorsqu'ils sont immédiatement mis à mûrir.

Cependant, les mêmes poires Alexander Lukas nécessiteraient des températures de maturation de plus en plus élevées au fur et à mesure que le séjour au froid augmente (fig. 8).

Il ne faudrait pas généraliser et croire qu'un séjour préalable au froid soit toujours salutaire. Ainsi, Smock signale que les pommes Mc Intosh entreposées

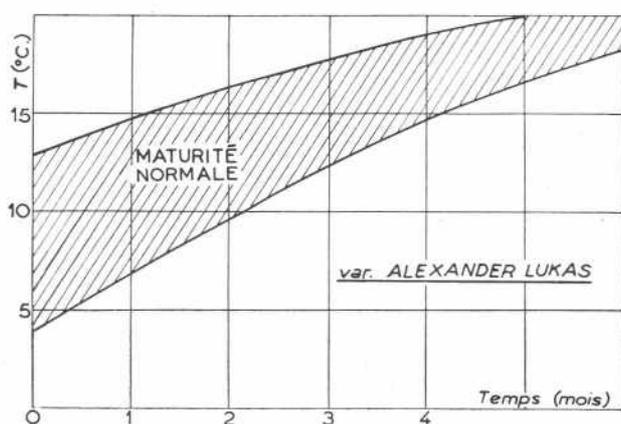


FIG. 8. — Variations, en fonction du temps de séjour préalable au froid, de la zone de température permettant une maturation normale des poires Alexander Lukas. (D'après KRUMBHOLZ.)

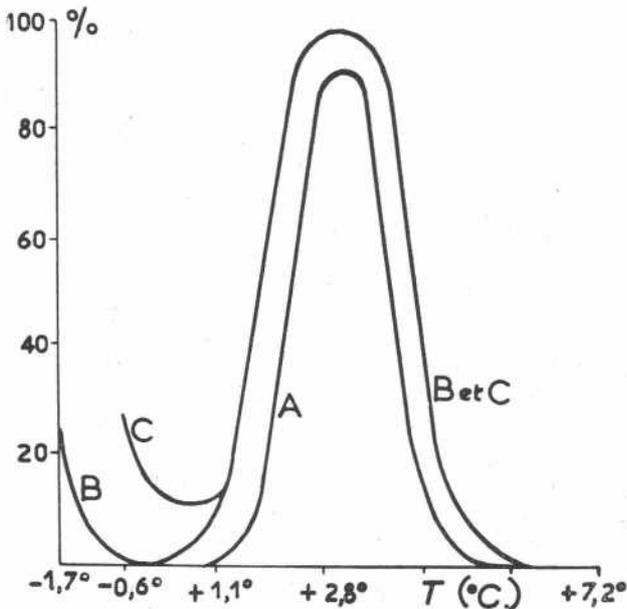
à 0° produisent moins de substances volatiles au retour à la température ordinaire que des fruits initialement comparables, mais entreposés à 4°5. L'auteur rapproche

cette observation du fait qu'après traitement au froid, cette variété de pomme n'acquiert plus tout son arôme. Étudions cette action défavorable de plus près.

### III. LE FROID, FACTEUR DE DÉSÉQUILIBRE DU MÉTABOLISME

On observe fréquemment, sous l'action du froid, aux températures supérieures au point de congélation, des troubles divers du métabolisme. Un séjour trop long à une température habituellement tolérée, ou un sé-

FIG. 9. — Variations des pourcentages de prunes Santa Rosa altérées du fait de maladies physiologiques, en fonction de la température d'entreposage. ABC désignent des degrés de maturité croissants. Durée de l'expérience: 25 jours. D'après REES DAVIES et collaborateurs.



jour plus ou moins prolongé à une température non adéquate peuvent troubler certaines réactions, alors que d'autres évoluent normalement ; il peut en résulter de graves maladies dites physiologiques, susceptibles d'entraîner la mort des tissus superficiels ou profonds. PLANK et SMITH ont particulièrement attiré l'attention sur ces déséquilibres.

La gravité de certains troubles physiologiques des prunes, des pêches, des pomelos ne varie pas régulièrement lorsque la température s'abaisse, mais passe par un maximum pour une température déterminée

(fig. 9). Nous avons fait une remarque analogue plus haut à propos de pommes. SMITH a observé que, dans le cas des prunes Victoria, deux types de maladies sont observables ; l'un (lorsque la température est inférieure à 2°8) est reconnaissable à un brunissement des tissus autour du noyau, l'autre (particulièrement grave vers 5°) se manifeste par une gélification. Des prunes Victoria exposées 21 jours à -0°5 présentent d'ordinaire des altérations visibles, mais si les fruits sont chauffés vers le 17<sup>e</sup> jour à 18° pendant 1 ou 2 jours, ils sont finalement indemnes d'altérations après 21 jours de séjour à -0°5.

Dans les cas de ce genre, PLANK considère les troubles dus au froid comme le résultat de l'accumulation d'un poison ; aux températures élevées, cette accumulation n'aurait pas lieu, car le poison serait détruit grâce aux oxydations respiratoires. Au froid, le ralentissement de la respiration expliquerait l'accumulation du produit nocif (1). En assignant certaines valeurs arbitraires aux coefficients de température des deux réactions chimiques précédentes (formation et oxydation de la substance toxique), et en adoptant quelques autres hypothèses complémentaires, PLANK retrouve les courbes établies expérimentalement par REES DAVIES et par SMITH. Il est facile de voir sur les deux courbes ci-jointes, empruntées à PLANK (fig. 10), que les vitesses  $\gamma$  et  $\gamma'$  des 2 réactions supposées, en fonction de la température, ont dans le cas de deux coefficients différents, des pentes différentes. En dessous de la température critique  $t_k$ , le poison s'accumule, au-dessus il est détruit.

La différence des ordonnées  $\gamma$ , à une certaine température, correspond à l'excès de poison résiduel ; on voit sur le graphique que cette valeur passe par un maximum pour une température ( $t_{max}$ ) inférieure à la température critique  $t_k$  ; ce maximum de dégâts par

(1) On peut noter à titre de comparaison que les pommes de terre deviennent sucrées au froid parce que la respiration, qui utilise normalement les sucres, est plus fortement ralentie aux basses températures que l'attaque de l'amidon qui leur donne naissance. Les châtaignes conservées au froid deviennent sucrées, probablement pour la même raison.

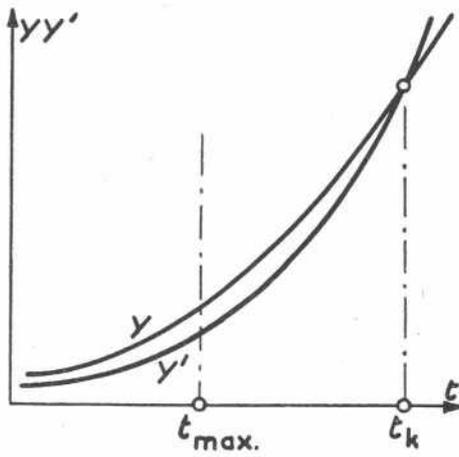


FIG 10.  
Courbes exprimant les variations, en fonction de la température, de la formation (courbe  $y$ ) et de la combustion par respiration (courbe  $y'$ ) d'un poison cellulaire.  
(D'après PLANK, légèrement modifié.)

suite de troubles physiologiques ne peut être distingué des accidents de gel que si la température  $t_{max}$  est supérieure au point de congélation.

On pourrait aussi admettre que l'élévation de température élimine la toxine du fait de sa volatilité. SMITH a mesuré l'émission volatile de prunes à 60° F après des séjours plus ou moins longs à - 0°5. Des quantités croissantes de substances volatiles pourraient s'accumuler au froid dans les tissus ; l'émission à l'extérieur du fruit diminue effectivement au fur et à mesure que le séjour au froid a été plus long. Un traitement par la chaleur pourrait volatiliser le poison, après quoi un certain temps serait nécessaire pour que la concentration dans les tissus atteigne à nouveau une valeur dangereuse ; ainsi pourrait s'expliquer l'action prophylactique d'un réchauffement au cours de l'entreposage, découvert par SMITH et signalé plus haut.

### Conclusions.

Les remarques qui précèdent ont pour seul but d'attirer l'attention sur le fait que l'action du froid sur les fruits n'est pas simple. Si les réactions du métabo-

lisme indissolublement liées à la vie sont fortement ralenties par un abaissement de température (cas de la respiration, de l'oxydation de l'acide ascorbique), les faits se compliquent fréquemment.

Une réaction  $R_1$  (exemple : transformation pectique), peut être conditionnée par une autre  $R_2$  qui doit lui fournir soit de l'énergie, soit un produit de base indispensable. Si la réaction  $R_2$  est très fortement ralentie par le froid,  $R_1$  ne pourra se dérouler en chambre froide qu'avec un grand retard, mais un réchauffement de courte durée sera indirectement favorable à  $R_1$ .

Si la réaction  $R_2$  se déroule à basse température plus vite que  $R_1$ , le séjour au froid préparera favorablement la maturation à température élevée (cas des poires Passe Crassane).

Le simple ralentissement d'une réaction normale du métabolisme ( $R_1$ ) doit permettre d'allonger la survie du fruit, mais aux températures les plus basses (supérieures cependant au point de congélation), un phénomène indésirable peut s'aggraver au fur et à mesure que la température s'abaisse, par exemple l'accumulation d'un poison habituellement non apparent parce qu'il est volatil ou brûlé aux températures élevées. La résultante de ces deux phénomènes, l'un favorablement, l'autre défavorablement affecté par le froid, se traduira par l'existence d'une température optimum de conservation, fait observé expérimentalement sur les prunes et certaines variétés de pommes par exemple.

Une analyse plus fouillée des phénomènes précédents, présentés ici par nécessité sous une forme un peu théorique, est vivement souhaitable, mais il est certain que, du point de vue pratique, l'entreposage frigorifique d'une variété de fruit n'a de chances de réussir que s'il est fondé sur une étude expérimentale très soignée.

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

### BIBLIOGRAPHIE

1. BARNELL (H. R.). — *Ann. Bot.*, 1943, 7, 1-22.
2. GERHARDT (R.). — *Botan. Gaz.*, 1930, 89, 40-66.
3. KIDD (F.) et WEST (C.). — *Food Invest. Leaflet* 6, 1950.
4. KRUMBHOLZ (G.). — *Obst und Gemüsebau*, 1939, n° 9.
5. KRUMBHOLZ (G.) et WOŁODKIEWITSCH (N.). — *Gartenbauwiss.*, 1942, 17, 543-90.
6. MORRIS (L. L.). — *Ice and Refrigeration*, 1947, nov., p. 41.
7. PLANK (R.). — *Planta*, 1942, 32, 364 et 1943, 33, 728.
8. REES DAVIES et BOYES (W. W.). — *Rep. Low Temp. Res. Lab., Capetown*, 1935-36, p. 69.
9. SMITH (W. H.). — *C. R. Congrès intern. Botan.*, 1954, section 12, p. 280-4.
10. SMOCK (R. M.). — *Botan. Rev.*, 1944, 10, 560-98.
11. ULRICH (R.) et PAULIN (A.). — *C. R. Acad. Agric.*, 1957, séance du 16 janvier.
12. ULRICH (R.), RENAC (J.) et MIMAUULT (J.). — *C. R. Acad. Agric.*, 1952, 38, 242-4.
13. ULRICH (R.), RENAC (J.) et MIMAUULT (J.). — *C. R. Acad. Agric.*, 1953, 39, 368-70.
14. VAN DER PLANK (J. E.) et REES DAVIES. — *Journ. Pomol. hort. Sc.*, 1937, 15, p. 226.