

Aspects physiologiques de la maturation et du jaunissement accélérés des pommes 'Golden Delicious'

par **C. LEBLOND** ⁽¹⁾

Ingénieur au C. N. R. S.

ASPECTS PHYSIOLOGIQUES DE LA MATURATION
ET DU JAUNISSEMENT ACCÉLÉRÉS DES POMMES
'GOLDEN DELICIOUS'

par C. LEBLOND (C. N. R. S.)

Fruits, vol. 22, n° 11, déc. 1967, p. 543 à 555.

RÉSUMÉ. — Les moyens d'action fondamentaux à mettre en œuvre sont : la chaleur, l'oxygène, l'éthylène, une atmosphère très pauvre en gaz carbonique. Les résultats d'une étude systématique révèlent que les conditions d'application de ces moyens diffèrent selon l'âge des fruits et leur état sanitaire.

Pour les fruits très jeunes, un apport d'éthylène à 1‰ dans l'air à 20° est plus efficace qu'une suroxygénation, quelle que soit la concentration. Sur les fruits issus d'entrepôts frigorifiques, l'intérêt de l'éthylène décroît en fonction du temps de conservation. L'accélération du jaunissement est maximale avec 50 % d'oxygène en présence d'éthylène (1‰). En fin de conservation (plus de 5 mois), l'éthylène est sans action et, toujours à 20°, la suroxygénation seule, avec au moins 50 % d'oxygène assure le plus court délai de jaunissement. Le gaz carbonique a, dans tous les cas un rôle antagoniste mais une concentration de 1 % reste acceptable. Des informations sont données sur l'influence des traitements gazeux sur les caractères organoleptiques des fruits, les pertes de poids et les altérations. Les quantités gustatives des pommes parvenues à maturité sont étroitement liées à leur âge au moment de la récolte quel que soit le traitement gazeux appliqué.

L'obtention d'une maturation et d'un jaunissement rapides des poires et des pommes intéresse les producteurs de fruits. Une technique souvent décrite (1), basée sur l'effet stimulant de l'éthylène adjoint, à très faible dose, à l'air atmosphérique est d'ailleurs utilisée en France depuis 20 ans pour le jaunissement accéléré des poires 'Dr Guyot' et 'Williams'.

Le problème est posé depuis quelques années pour la pomme 'Golden Delicious' dont la maturation et le jaunissement rapides sont souhaités dans les circonstances suivantes :

1° pour les fruits de primeur (sur des récoltes prématurées) ;

2° à tout moment, pour faire jaunir rapidement pour la vente, les fruits verts entreposés au froid ;

3° en fin de campagne de conservation, pour les fruits récoltés trop tôt, donc trop verts, et placés à température trop basse, ou conservés en atmosphère contrôlée en présence de gaz carbonique.

Pour atteindre le but fixé, les moyens d'action fondamentaux sont connus, ce sont : la chaleur, l'oxygène, l'éthylène, une atmosphère très pauvre en gaz carbonique. Leurs effets sur le métabolisme des fruits mûrissants ont été décrits (2), mais les informations manquent sur les conditions optimales de leur utilisation.

La physiologie de la maturation de la pomme 'Golden Delicious' ne semble pas avoir été spécialement étudiée ; néanmoins une contribution récente de WORK-

(1) Avec l'active collaboration technique de M^{me} MITTARD.

MAN (3) mérite d'être citée et sera commentée plus loin. Nous avons, pour notre part, cherché à réunir d'autres informations quantitatives sur le rôle des gaz en nous efforçant d'établir dans quelle mesure des facteurs comme *l'âge et l'origine des fruits* pouvaient modifier la nature ou la vitesse des divers phénomènes de la maturation en atmosphères modifiées.

Après l'exposé des conditions de réalisation de nos expériences, nous développerons successivement les résultats acquis dans les domaines suivants :

- 1° l'intensité respiratoire ;
- 2° le jaunissement ;
- 3° les caractères organoleptiques ;
- 4° les pertes de poids et les altérations.

CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Nous avons expérimenté sur les fruits de trois campagnes successives, en comparant, dans certains cas, les fruits de trois vergers différents situés dans le Bassin parisien (S.-O., Est, Nord). Certains fruits ont été récoltés prématurément (âgés de 120 jours), d'autres ont été cueillis à l'âge recommandé (150 jours) et soumis, les uns et les autres, pour une part à une maturation accélérée immédiate, tandis que le plus grand nombre était, d'autre part, placé en chambre froide ordinaire, ou en chambre froide étanche renfermant le plus souvent un mélange (3)5 (1), exceptionnellement (3)10, en vue de maturations échelonnées ultérieures.

Les lots constitués, correspondant chacun à des conditions particulières de traitements gazeux, étaient composés de 60 fruits verts de calibre moyen. Ils étaient logés en cellules métalliques étanches parcourues par un flux d'air ou de mélange gazeux de débit 30 l/heure. Les cellules étaient groupées en chambre isotherme réglée à + 20°.

De nombreuses formules de mélange gazeux ont été expérimentées, toujours en comparaison avec l'atmosphère normale notamment :

- 1° la gamme des concentrations d'oxygène entre 21 et 90 % ;
- 2° la même gamme en présence de 1 0/100 d'éthylène ;
- 3° les mélanges contenant 21 ou 50 % d'oxygène

enrichis en gaz carbonique à des concentrations comprises entre 0 et 6 % ;

- 4° les mélanges ci-dessus en présence de 1 0/100 d'éthylène.

Pour le repérage du jaunissement, une échelle de référence était nécessaire ; nous avons choisi le Code Universel des Couleurs de SEGUY (2) et avons classé la couleur des fruits en 4 catégories, affectées chacune d'un coefficient :

- fruits verts n°s 332-333 : coefficient nul ;
- fruits jaune-vert n°s 316 et 316 légèrement plus vert : coefficient 0,4 ;
- fruits jaune-jaune-vert n°s 342 et 242 légèrement plus vert : coefficient 0,7 ;
- fruits jaunes : n°s 242 et 242-228 : coefficient 1.

La coloration de chaque lot a été exprimée en considérant le pourcentage des fruits dans chacune des catégories de couleur et le coefficient affecté à chacune des catégories.

Pour évaluer *les durées de traitement*, nous avons admis que le jaunissement à 80 % pouvait être considéré comme suffisant dans la pratique. *Les gains de temps* éventuellement réalisés avec certains mélanges gazeux ont été calculés en prenant comme référence la durée nécessaire pour le jaunissement à 80 % dans l'air normal (jaunissement standard).

ÉVOLUTION DE L'INTENSITÉ RESPIRATOIRE

a) INFLUENCE DE LA DATE DE RÉCOLTE.

Depuis les expériences de KIDD et WEST (4), il est bien établi que la pomme séparée de l'arbre à la fin

(1) Nous appelons (a) b, un mélange renfermant a % d'oxygène et b % de gaz carbonique, le complément 100 - (a + b) correspondant à de l'azote.

de sa croissance et placée à température moyenne (+ 20°) est le siège d'une crise respiratoire dite « climactérique ». Il s'agit d'une manifestation caractéristique du processus de maturation de ce fruit. WORKMAN (3) a établi que pour la pomme 'Golden

(2) Éditeur LE CHEVALIER, 12, rue de Tournon, Paris VI^e.

Delicious' placée à + 20° après récolte, le maximum climactérique apparaît d'autant plus tôt et l'intensité respiratoire est d'autant plus élevée au maximum que les fruits ont été récoltés plus tard (figure 1).

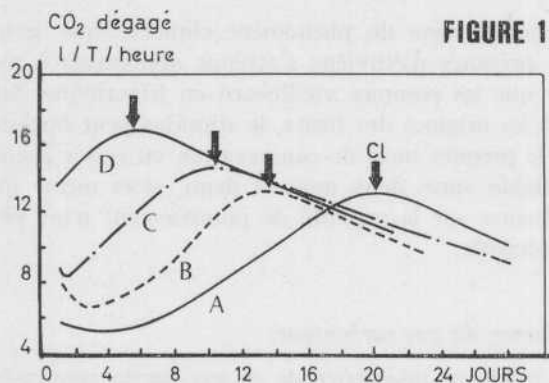


FIG. 1. — Influence de l'âge du fruit à la récolte sur l'intensité respiratoire de pommes Golden Delicious, au cours de leur maturation dans l'air à + 20°. Par rapport au lot A, récolté prématurément, les fruits des lots suivants (B-C et D) étaient respectivement plus âgés de 7, 21 et 35 jours au moment de leur cueillette. Le climactérique (Cl) est plus précoce et plus intense sur les fruits les plus âgés (d'après WORKMAN, 1963 simplifié).

De plus, 'Golden Delicious' présente la particularité de pouvoir effectuer sa maturation quasi-totale sur l'arbre. Les fruits peuvent y jaunir et y mûrir ; à ce stade, un séjour à + 20° après cueillette contribue seulement à parfaire la coloration et le développement de la saveur.

Sur un fruit de comportement semblable, la pomme 'Reinette du Canada', nous avons pu montrer (5) que la crise respiratoire climactérique toute entière pouvait se dérouler avant que n'interviennent les chutes naturelles.

b) INFLUENCE DES MÉLANGES GAZEUX.

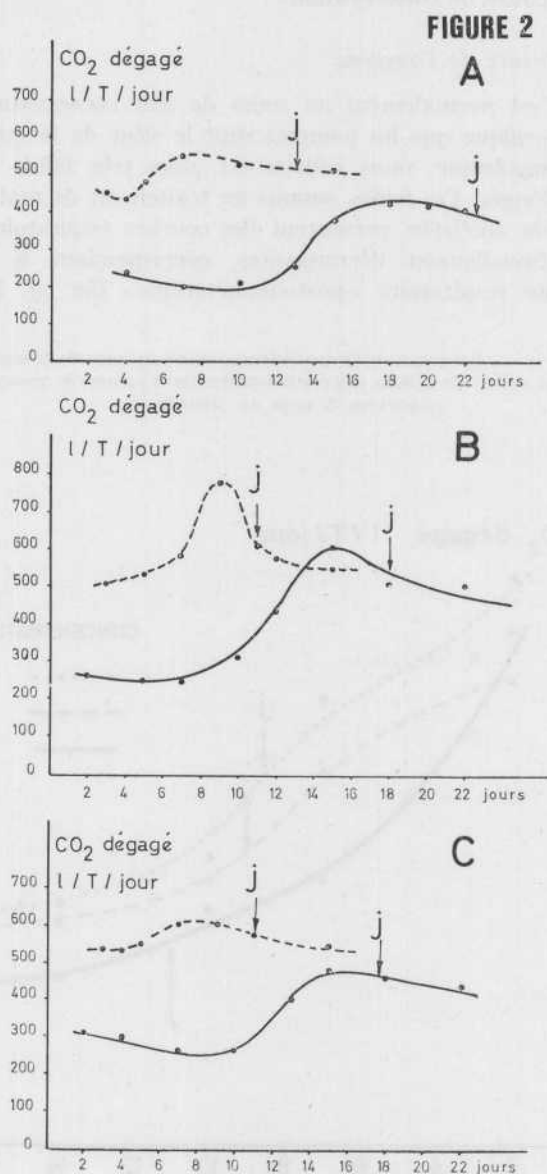
A la récolte.

Les trois graphiques de la figure 2 montrent le développement de cette crise dans l'air et en mélanges suroxygénés (à 50 % et 90 %) en absence d'éthylène (traits pleins) et en présence d'éthylène (traits discontinus). On remarquera l'intensité des crises en atmosphères suroxygénées à 50 %. Il est à noter qu'en atmosphère encore plus riche en oxygène (90 %) la respiration n'est pas accrue et les intensités respiratoires au maximum climactérique sont plus faibles.

Si l'on compare les influences respectives de la suroxygénation et de l'enrichissement en éthylène sur le phénomène climactérique, on peut noter que :

1° La suroxygénation (entre 20 % et 50 %) réduit le délai d'obtention du maximum respiratoire, mais qu'aucun avantage supplémentaire n'est obtenu d'une suroxygénation plus poussée (90 %).

FIG. 2. — Évolution de l'intensité respiratoire, exprimée en gaz carbonique dégagé, au cours de la maturation : A. dans l'air normal (tracé plein) ou en présence de 1 °/00 d'éthylène (tracé discontinu) ; B et C. Dans des atmosphères suroxygénées respectivement à 50 % et 90 % d'oxygène, en absence d'éthylène (tracés pleins) ; en présence de 1 °/00 d'éthylène (traits discontinus).



2° En observant les dates de jaunissement à 80 % (lettres « J » des courbes), la suroxygénation contribue à réduire également le délai entre le maximum respiratoire et le jaunissement standard, alors que l'éthylène (courbes à tracé discontinu) est sans effet sur cette relation, ce qui tend à prouver qu'en présence de concentrations élevées d'oxygène, l'harmonie dans l'évolution des différents phénomènes métaboliques est rompue, ce qui n'est pas le cas avec l'éthylène.

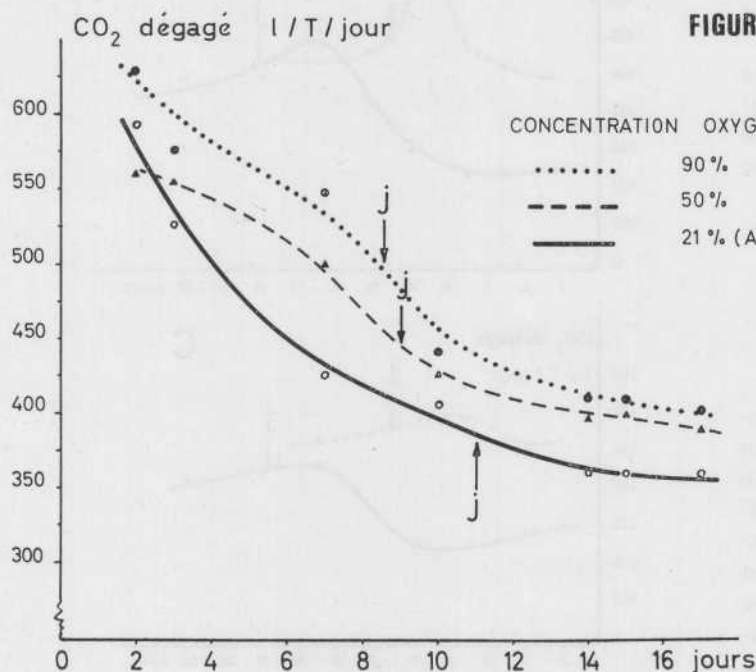
3° L'éthylène, à ce stade de la vie du fruit, accélère plus le phénomène climactérique qu'une suroxygénation, quelle que soit la concentration de l'oxygène.

En cours de conservation.

Influence de l'oxygène.

C'est normalement au cours de leur conservation frigorifique que les pommes sont le siège de la crise climactérique, mais celle-ci est alors très faible et prolongée. Ces fruits, soumis au traitement de maturation accélérée, présentent des courbes respiratoires continuellement décroissantes, correspondant à la phase respiratoire « post-climactérique » (fig. 3). La

FIG. 3. — Évolution de l'intensité respiratoire au cours de la maturation dans l'air et dans deux atmosphères suroxygénées de pommes conservées 6 mois en frigorifique.



corrélation positive normale entre l'intensité respiratoire et la richesse en oxygène de l'atmosphère apparaît ici nettement.

Influence de l'éthylène.

L'accélération du phénomène climactérique, grâce à la présence d'éthylène s'atténue doucement à mesure que les pommes vieillissent en frigorifique. Suivant les origines des fruits, le stimulus peut être nul dès le premier mois de conservation ou rester encore décelable après deux mois et demi, alors même que l'influence sur la rapidité de jaunissement n'est plus appréciable.

Influence du gaz carbonique.

L'influence inhibitrice de ce gaz sur la respiration est connue. Les anglais Kidd et West furent les premiers à donner à cette observation physiologique une application pratique avec leur méthode de conservation des pommes et des poires en atmosphère contrôlée (Gas storage). Dans le cas des pommes 'Golden Delicious' mises à mûrir à + 20°, après six mois de conservation à + 2°, la courbe de la figure 4 montre que les concentrations croissantes de CO₂ dans l'atmosphère entraînent une réduction de l'émission du gaz carbo-

FIGURE 3

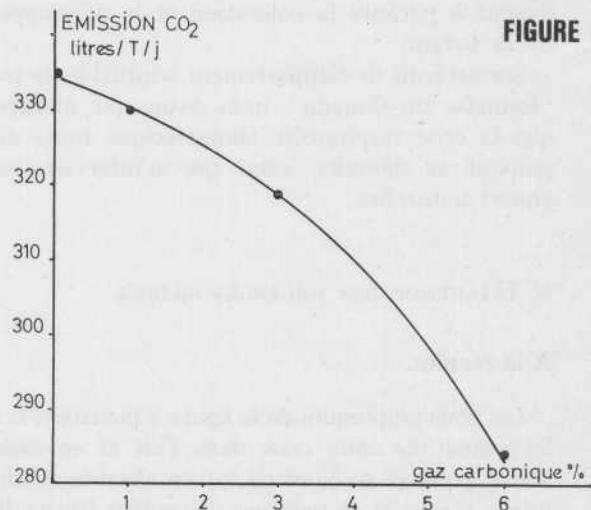


FIGURE 4

FIG. 4. — Variation de l'émission de gaz carbonique respiratoire au cours de la maturation dans l'air enrichi en CO₂. L'allure de la courbe reste la même si l'atmosphère est suroxygénée.

nique respiratoire de plus en plus marquée. Cette courbe établie pour l'air normal est de même forme pour des atmosphères diversement enrichies en oxygène.

Par des mesures simultanées de consommation d'oxygène, nous avons pu noter que le Quotient respiratoire (QR) est toujours compris entre 1 et 1,2 quels que soient l'âge et le traitement gazeux appliqué.

ÉVOLUTION DU JAUNISSEMENT

L'ÉVOLUTION PIGMENTAIRE ET SES CONSÉQUENCES VISUELLES.

Le jaunissement de la pomme 'Golden Delicious' résulte de l'évolution, au cours de la maturation, des divers pigments présents dans les différentes couches de cellules constituant la peau du fruit et, dans une certaine mesure aussi, dans la chair du fruit. Parmi les pigments en présence : les *chlorophylles*, qui donnent la coloration verte au fruit immature, vont presque complètement disparaître, laissant apparaître les *pigments caroténoïdes* de coloration jaune plus ou moins intense : les carotènes et les xanthophylles (ces derniers continuant à se synthétiser activement) enfin d'autres pigments d'un jaune plus pâle : des hétérosides de flavonols. On assiste donc à un phénomène de *démasquage*.

Sur pied, la pomme 'Golden Delicious' commence

à perdre ses chlorophylles bien avant le moment de la cueillette, ainsi qu'il apparaît dans le graphique de la figure 5.

Le déverdissement de la peau du fruit peut être apprécié à l'œil par référence à des cartes de couleurs (Code de Ségué) ou par photolorimétrie (3) (6). Si l'on établit une échelle de coloration portant, comme nous l'avons fait, sur le développement de la coloration jaune (entre 0 et 100), on constate qu'en fonction du temps (durée de la maturation) la courbe d'évolution de la coloration d'un lot de pommes mises à mûrir à la récolte dans l'air normal affecte une *forme sigmoïde* (fig. 6). Chronologiquement, trois phases successives sont discernables :

FIG. 6. — Courbes d'évolution du jaunissement en fonction du temps et leurs trois phases caractéristiques. La courbe en pointillé montre l'influence de l'éthylène qui abrège la phase I et rend plus complet le jaunissement en phase III.

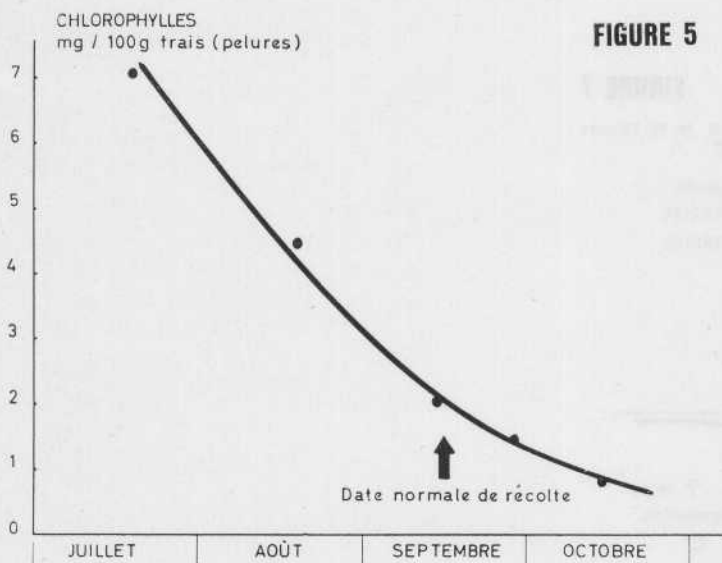


FIG. 5. — Évolution de la teneur totale en chlorophylles de pommes 'Golden Delicious' à la fin de leur croissance sur l'arbre (établie d'après WORKMAN, 1963).

FIGURE 5

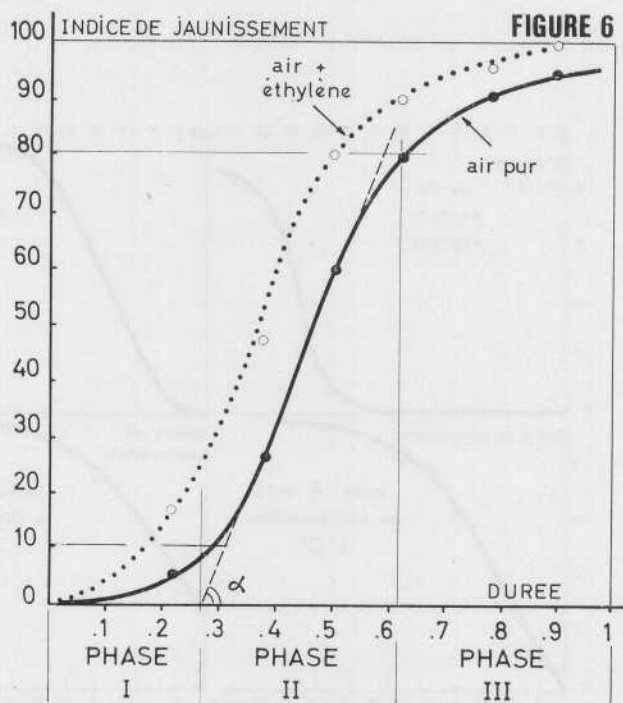


FIGURE 6

— une phase I, de durée très variable, pendant laquelle aucun changement appréciable de couleur n'est visible (en fait variation inférieure à 10 % de l'échelle) ;

— une phase II, période active de démasquage et de synthèse pigmentaires ; la courbe est presque assimilable à une droite. Sa pente est l'expression de la rapidité de jaunissement. Elle peut varier largement en fonction des facteurs suivants :

l'origine des fruits ;

l'âge des fruits ;

la composition de l'atmosphère.

— La phase III a une durée qui dépend de la plus ou moins grande vitesse de régression apparente des chlorophylles. Le phénomène observé est la résultante de l'hydrolyse plus ou moins rapide de ces pigments, peut être partiellement compensée, simultanément, par de nouvelles synthèses. L'inflexion de la courbe (qui caractérise cette phase) débute généralement lorsque le jaunissement a atteint l'indice 80 et présente peu d'intérêt pour le praticien puisqu'à ce stade, les pommes ont acquis une coloration « marchande ».

Si nous étudions la courbe de jaunissement des pommes (mûries à + 20°), en fonction de leur âge, lors de la récolte, puis au fur et à mesure de leur survie au froid, certaines modifications apparaissent, que les graphiques de la figure 7 montrent clairement :

1° La phase I s'abrège puis disparaît ; enfin, le

fruit se colorant naturellement au froid, la courbe s'amorce en cours de phase II.

2° La pente de la courbe en phase II décroît progressivement, rendant compte ainsi du ralentissement des évolutions pigmentaires sur le fruit vieillissant.

Nous avons noté aussi que la pente de la courbe, à un âge donné, était une caractéristique liée à l'origine des fruits.

Comment s'explique cette phase I que nous appellerons le « temps de latence avant jaunissement » (lag period) alors que pendant ce même temps la régression chlorophyllienne est si active ? (fig. 5). Ce temps de latence résulte du fait que, pour les fruits très immatures, les chlorophylles présentes dans la peau et la chair l'emportent en intensité de coloration sur les caroténoïdes, bien que les hétérosides de flavonoïdes soient en quantités relativement considérables :

A titre d'exemple, des pommes 'Golden Delicious' (dans une expérience de WORKMAN) avaient, deux mois avant la récolte normale, la composition pigmentaire suivante (zone épidermique) :

chlorophylles : 71 $\mu\text{g/g}$ frais ;

carotènes : 4,9 $\mu\text{g/g}$ frais ;

xanthophylles : 6,4 $\mu\text{g/g}$ frais ;

quercétols glucos. : 728 $\mu\text{g/g}$ frais.

Les fruits étaient verts avec l'indice 0 de notre échelle colorimétrique. Lorsque le démasquage devint effectif (10 à l'échelle colorimétrique) environ un mois

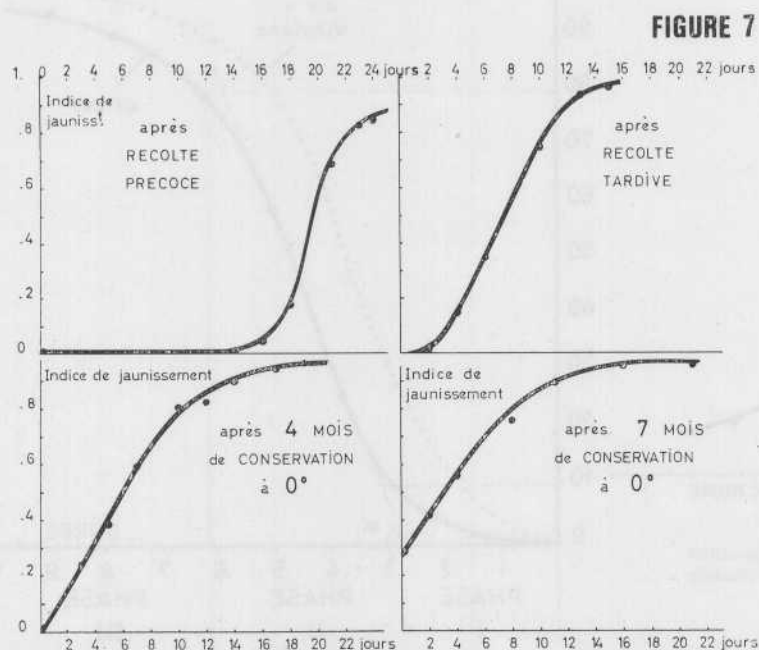


FIG. 7. — Quatre étapes dans l'évolution de la courbe de jaunissement en fonction de l'âge des fruits. Graphiques supérieurs : Fruits mûris lors de 2 récoltes successives à 1 mois d'intervalle. Graphiques inférieurs : Fruits mûris après une conservation frigorifique de 4 et 7 mois.

plus tard, la composition pigmentaire avait évolué de la manière suivante :

chlorophylles : 44 $\mu\text{g/g}$ frais ;

carotènes : 4 $\mu\text{g/g}$ frais ;

xanthophylles : 6,8 $\mu\text{g/g}$ frais ;

Quercétols glucos. : 694 $\mu\text{g/g}$ frais.

C'est au cours de la phase II (section 10 à 80 de l'échelle) que les xanthophylles sont activement synthétisées vraisemblablement au détriment des carotènes (accroissement de cinq fois de la quantité trouvée dans le fruit vert aussi bien pour la peau que pour la chair) tandis que la régression chlorophyllienne se poursuit plus lentement.

Ces évolutions pigmentaires simultanées et opposées contribuent à l'accélération du jaunissement apprécié à l'œil. Elles se poursuivent en phase III.

RAPIDITÉ DE JAUNISSEMENT EN FONCTION DE LA DATE DE RÉCOLTE.

Les deux graphiques supérieurs de la figure 7 (fruits mûris dans l'air à $+20^{\circ}$) montrent que pour des pommes récoltées à 1 mois d'intervalle (1^{er} et 30 septembre) la durée de jaunissement standard passe de 22 à 10 jours soit une réduction de moitié. On remarque dans ces deux exemples que c'est principalement le temps de « latence » qui conditionne la durée de l'opération de jaunissement. Ce temps de latence est considérable pour des fruits récoltés très précocement ainsi qu'il apparaît sur la figure 8 mais s'annule pour les fruits récoltés tardivement. La durée du jaunissement en fonction de la date de récolte représentée sur la figure 9 (d'après une expérience de WORKMAN) évolue selon une courbe sigmoïde qui est la résultante d'au moins trois variables nettement discernables dans la figure 7 :

— la durée du temps de latence (phase I) qui tend à s'annuler ;

— la durée de la phase II (qui croît avec l'âge des fruits) ;

— l'indice (1) de jaunissement initial (qui s'élève avec l'âge du fruit).

(1) Cette troisième variable n'intervient qu'après annulation de la première.

FIG. 8. — Évolution du « temps de latence » en fonction de l'époque de récolte (établie d'après WORKMAN, 1963).

INFLUENCE DES MÉLANGES GAZEUX SUR LA RAPIDITÉ DU JAUNISSEMENT.

1-1. Rôle de l'éthylène en fonction de l'âge du fruit.

Le temps de latence est réduit en présence d'éthylène et l'avance acquise est conservée par la suite car la pente de la courbe de jaunissement en phase II n'est pas modifiée (fig. 6).

Le gain de temps assuré par l'éthylène dépend étroitement de l'âge du fruit. Le gain est considérable (42 %) sur des fruits récoltés précocement (120 jours) ; il diminue sensiblement par la suite (10 à 30 %) avec les fruits d'âge compris entre 4 et 7 mois. Le gain est nul avec les fruits vieux de plus de 7 mois, donc conservés en frigorifique depuis plus de 3 mois.

1-2. Rôle des concentrations d'oxygène supérieures à celle de l'air.

La courbe inférieure de la figure 10 montre la variation du gain de temps assuré par la suroxygénation. La courbe s'infléchit considérablement lorsque l'oxygène est présent à une concentration supérieure à 50 %. Il est intéressant de signaler que la courbe d'intensité respiratoire d'une pomme est de forme analogue dans les mêmes conditions. Le fait important à retenir est que le gain de temps, par rapport au témoin air, reste sensiblement constant *quel que soit l'âge du fruit*. Sur les fruits mûris dès la récolte, c'est essentiellement par la réduction du temps de latence que le gain de temps se trouve réalisé. Par la suite, sur des fruits issus de frigorifique, le gain résulte d'un léger relèvement de la pente de la courbe en phase II.

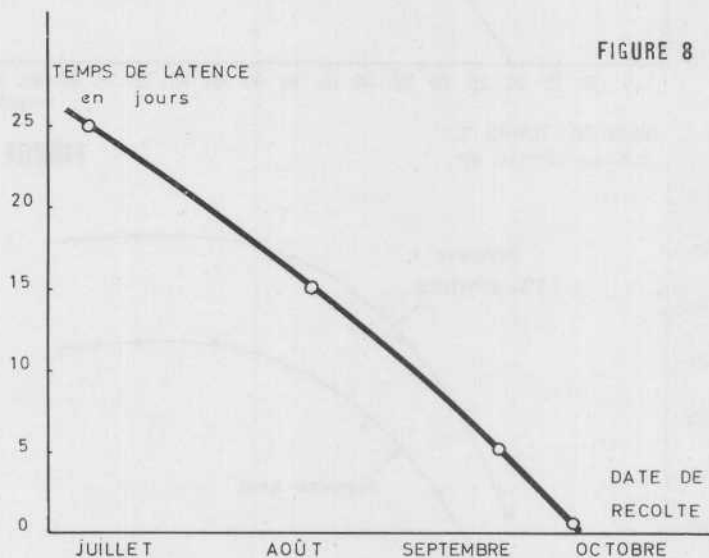
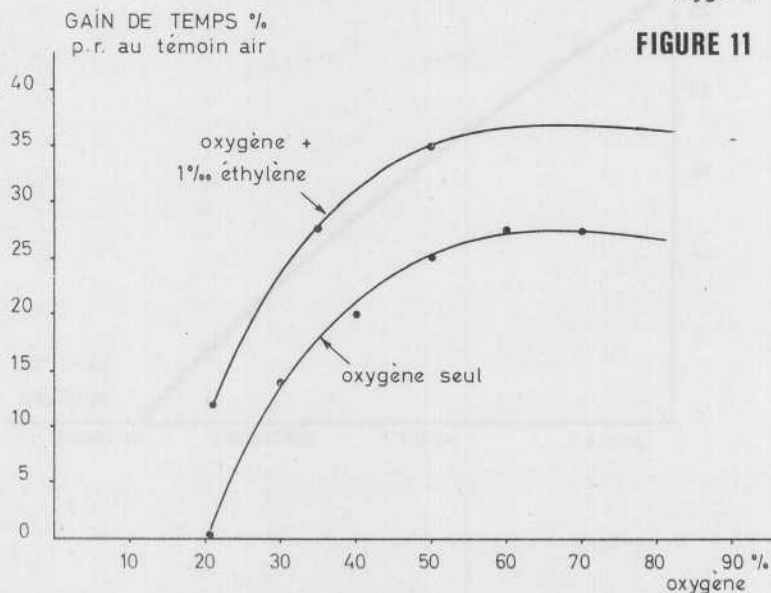
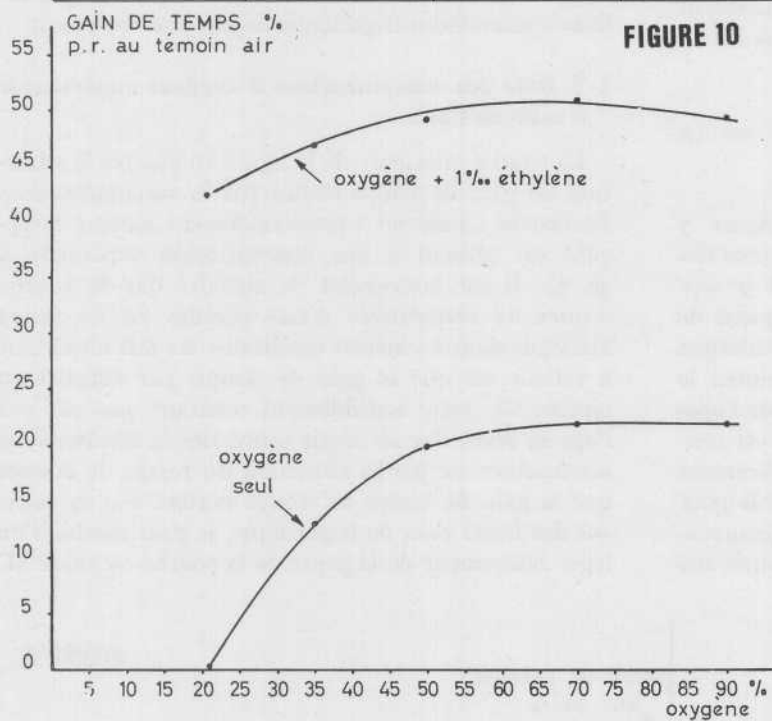
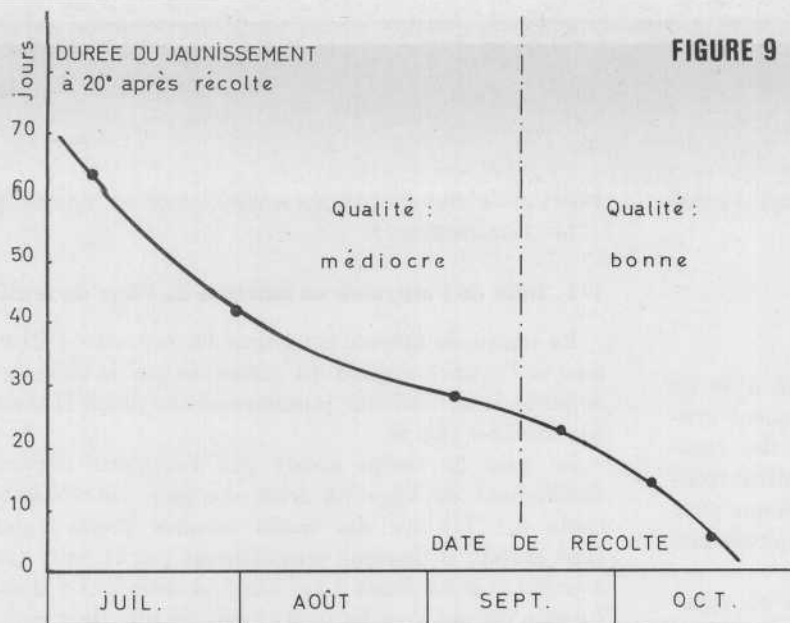


FIGURE 8



1-3. Action combinée oxygène-éthylène.

La courbe supérieure de la figure 10 montre le gain de temps assuré par les atmosphères suroxygénées en présence de 1 ‰ d'éthylène sur des fruits déjà âgés de 120 jours. L'éthylène présent dans l'air joue un rôle essentiel et la suroxygénation n'apporte qu'un gain supplémentaire faible.

Avec des fruits d'âge compris entre 4 et 7 mois, la courbe supérieure de la fig. 11 montre que si la présence d'éthylène dans l'air n'accroît que bien modestement la vitesse du jaunissement, l'action combinée de l'éthylène et de concentrations élevées d'oxygène est très intéressante (37 % de gain avec 50 % d'oxygène). Comme précédemment sans éthylène, la courbe s'infléchit considérablement pour les concentrations supérieures à 50 %.

Avec des fruits encore plus âgés (conservés plus de 4 mois au froid classique ou en atmosphère contrôlée), l'action de l'éthylène étant nulle comme il a été dit, la courbe « oxygène-éthylène » se superpose à la courbe « oxygène seul ».

1-4. Rôle antagoniste du gaz carbonique.

Dans une atmosphère enrichie en gaz carbonique, la régression chlorophyllienne des fruits verts est freinée.

FIG. 9. — Évolution de la durée du jaunissement (dans l'air à 20°) en fonction de l'époque de récolte. Le trait discontinu vertical marque approximativement la date de récolte à partir de laquelle les fruits ont pu, après maturation, acquies convenablement les qualités gustatives caractéristiques de la variété (établie selon WORKMAN, 1963).

FIG. 10. — Gains de temps pour un jaunissement à 80 %, réalisés par rapport au témoin air : par diverses concentrations d'oxygène dans le mélange gazeux en présence d'éthylène (courbe supérieure) ; par diverses concentrations d'oxygène dans le mélange gazeux en absence d'éthylène (courbe inférieure) avec des pommes Golden Delicious récemment récoltées.

FIG. 11. — Gains de temps réalisés, par rapport au témoin air, dans les mêmes conditions que pour la figure 10, avec des pommes Golden Delicious conservées à + 2° pendant trois mois.

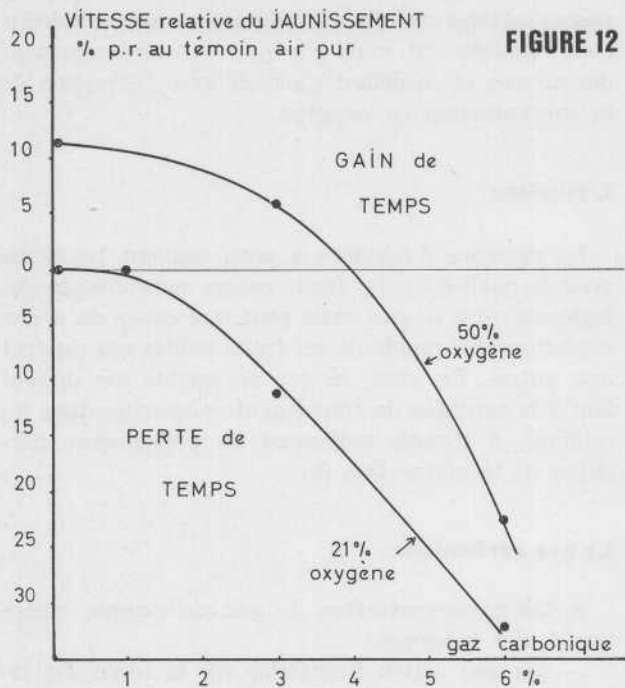


FIG. 12. — Vitesse relative du jaunissement, par rapport au témoin air, en atmosphère enrichie en gaz carbonique : dans l'air, en atmosphère suroxygénée (50 % O₂).

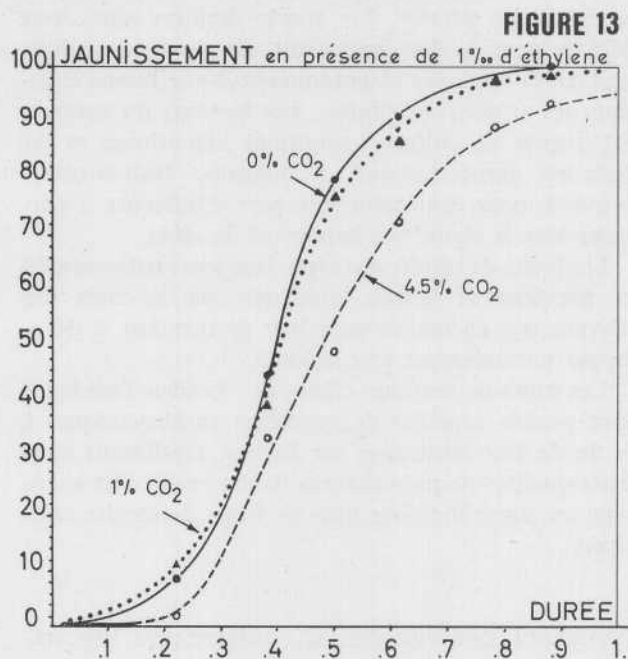


FIG. 13. — Conséquences d'un enrichissement en CO₂ de l'atmosphère sur la forme de la courbe de jaunissement (conséquences identiques en présence ou en absence d'éthylène).

Le fait est bien connu ; il est mis à profit dans la conservation frigorifique en atmosphères contrôlées.

En cours de maturation, nous avons constaté un ralentissement appréciable du jaunissement lorsque la teneur en CO₂ était, dans l'air ou dans le mélange gazeux, supérieure à 1 %. La figure 12 relative à une expérience effectuée sur pommes conservées 7 mois à 0° illustre le fait relaté ci-dessus et nous montre également que le gain de temps, assuré par l'utilisation d'une atmosphère suroxygénée était annulé si cette atmosphère était, de plus, enrichie de 4 % de CO₂.

Un enrichissement suffisant en CO₂ modifie l'allure de la courbe de jaunissement :

Dans l'expérience présentée figure 13, une concentration de 4,5 % de CO₂ contribue à augmenter légèrement la durée de la phase I, et par réduction de la

pente de la courbe en phase II à *prolonger* cette dernière.

On remarquera sur cette figure la similitude d'allure des courbes obtenues en absence de CO₂ et en présence de 1 % seulement de ce gaz.

Lorsqu'on étudie l'influence de l'enrichissement en CO₂ d'une atmosphère, en présence ou en absence d'éthylène, l'antagonisme de ces deux gaz sur le jaunissement peut être mis en évidence. Dans une expérience effectuée après 3 mois de conservation, donc à une époque où l'influence de l'éthylène était encore notable, ainsi que nous l'avons vu précédemment (conditions dans l'air, de la figure 11), nous avons observé qu'il fallait enrichir l'air, chargé de 1‰ d'éthylène avec au moins 4 % de gaz carbonique pour annuler le gain de temps propre à l'éthylène.

CARACTÈRES ORGANOLEPTIQUES

INFLUENCE DE L'ÂGE DES FRUITS.

Les qualités organoleptiques des fruits parvenus à maturité dépendent en grande partie de leur plus ou

moins complet développement sur l'arbre, en d'autres termes, de leur âge à la récolte.

On estime que les pommes 'Golden Delicious' cultivées dans le Bassin parisien n'ont un développement

suffisant sur l'arbre qu'après 150 jours, comptés depuis la chute des pétales. Les trente derniers jours sont décisifs pour le développement ultérieur de qualités gustatives correctes et notamment d'une bonne émission des arômes spécifiques. Les facteurs du verger : sol, région de culture, conditions climatiques et les facteurs agrotechniques : fumures, traitements... peuvent avoir également une part d'influence à partager avec le choix très important du *clône*.

Les fruits de récolte anticipée (120 jours par exemple) ne parviennent jamais, quel que soit le choix des moyens mis en œuvre pour leur maturation, à développer normalement leur arôme.

Les fruits de certains clones de 'Golden Delicious' sont parfois capables de synthèses anthocyaniques à la fin de leur croissance sur l'arbre, améliorant ainsi leurs qualités de présentation (fruits rosés). Cet avantage est supprimé pour tous les fruits de récolte anticipée.

INFLUENCE DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES MÉLANGES GAZEUX.

L'oxygène.

L'air normal, avec ses 21 % d'oxygène assure aux fruits le développement optimal de leur saveur sucrée et de leur parfum spécifique. La suroxygénation, en accélérant la chute de l'acidité et l'enrichissement en

sucres solubles contribue à l'obtention rapide de fruits consommables (7) mais elle nuit au développement des arômes et ce défaut s'accroît avec l'élévation de la concentration en oxygène.

L'éthylène.

La présence d'éthylène a paru souvent bénéfique pour la qualité sur les fruits encore sensibles physiologiquement à ce gaz, mais peut être est-ce dû à une évolution plus rapide de ces fruits traités par rapport aux autres. En effet, ce gaz ne semble pas donner lieu à la synthèse de constituants nouveaux dans les cellules ; il stimule seulement les phénomènes normaux de la maturation (2).

Le gaz carbonique.

A faible concentration, le gaz carbonique exerce une double influence :

— par son action freinatrice sur la régression de l'acidité spécifique il joue un rôle *favorable*, une acidité modérée étant un élément de la saveur. Cette influence est déjà sensible et intéressante avec 1 à 2 % de ce gaz dans l'atmosphère.

— en entravant la synthèse de certains composés volatils, *il nuit* au développement de l'arôme spécifique. La perte de saveur est déjà notable avec des concentrations en CO₂ voisines de 3 %.

PERTES DE POIDS ET ALTÉRATIONS

PERTES DE POIDS.

Au cours de sa maturation à + 20°, le fruit respire et transpire activement. La perte de matières carbonées résultant du phénomène respiratoire ne représente qu'une infime partie des pertes ; l'essentiel résulte de la perte d'eau par transpiration et ce phénomène physique peut être très notablement freiné si l'on prend soin de maintenir l'atmosphère du local de maturation à une H. R. (1) très élevée (réduisant ainsi l'écart des tensions partielles de la vapeur d'eau entre l'atmosphère interne des fruits et l'ambiance). Dans nos conditions expérimentales avec une H. R. d'environ 0,9, nous avons constaté que les pertes de poids étaient

toujours voisines de 0,2 % par jour, quels que soient les traitements effectués et l'âge des fruits.

PERTES PAR ALTÉRATIONS FONGIQUES.

Sur des fruits triés, les risques d'altérations par champignons parasites de blessures sont faibles. Par contre, les parasites latents notamment les *Gloeosporium*, installés surtout dans les lenticelles, bien que peu favorisés par une température trop élevée pour eux, trouvent néanmoins avec le mûrissement rapide des fruits (amollissement, enrichissement en sucres solubles) un terrain très favorable à leur extension. L'enrichissement de l'atmosphère en oxygène contribue également à une plus rapide prolifération des

(1) Humidité relative.

champignons. Les résultats que nous observons montrent une nette corrélation positive entre les dégâts par pourritures sur fruits et la concentration en oxygène de l'atmosphère (fig. 14). Il semble toutefois que c'est plus par l'action qu'il exerce sur la maturation des fruits que par son effet direct sur la croissance des champignons, que l'oxygène contribue au résultat global obtenu, car les rares observations effectuées par des mycologues sur ce sujet tendent à montrer que de nombreuses espèces sont indifférentes à la suroxygénation et n'accusent une réduction d'activité vitale que pour des concentrations en oxygène très basses.

Il semblerait intéressant de mettre en pratique cette observation faite par de nombreux arboriculteurs, et citée par MOREAU (8), selon laquelle une dessiccation légère des fruits, assurée par le maintien d'une humidité relative de 0,6 à 0,7 pendant les quatre premiers jours du traitement de maturation accélérée, entraîne la « fermeture » irréversible des lenticelles et entrave de ce fait l'extension des *Gloeosporium*.

La présence de gaz carbonique à faible concentration (au moins 1 %) annule par rapport au témoin air, l'effet activateur d'une concentration de 50 % d'oxygène (fig. 15).

En relation avec ces observations et dans le cadre des applications de la maturation hâtée par des atmosphères spéciales, il est intéressant de signaler qu'un

procédé visant à une estimation précoce (dès la récolte) des risques latents d'infection par le *Gloeosporium* sur les pommes 'Golden Delicious' conservées en frigorifique (Procédé MOREAU-BOMPEIX (9)) comporte une phase de traitement des pommes à + 12° en atmosphère suroxygénée et enrichie en éthylène.

PERTES PAR ALTÉRATIONS PHYSIOLOGIQUES.

Deux formes d'altérations épidermiques se rencontrent à l'occasion de la maturation des pommes Golden Delicious.

A) Des taches brunes, rugueuses et légèrement déprimées qui correspondent aux symptômes de « l'échaudure rugueuse ».

B) Des macules beiges, donnant l'impression de zones superficielles liégeuses, mates, que l'on pourrait assimiler aux symptômes « d'échaudure de sénescence » rencontrés sur les pommes 'Reinette du Mans' par exemple.

Pour la clarté de l'exposé, nous désignerons par « échaudure A » et « échaudure B », les deux formes d'altérations successivement décrites ci-dessus.

L'échaudure A est peu fréquente sur cette variété, par contre l'échaudure B, bien qu'assez nouvelle est déjà très commune. On la rencontre le plus souvent en fin de conservation frigorifique mais aussi quelque-

FIG. 14. — Pourcentage de fruits malades par altérations fongiques après traitement de maturation, en fonction de la concentration en oxygène de l'atmosphère.

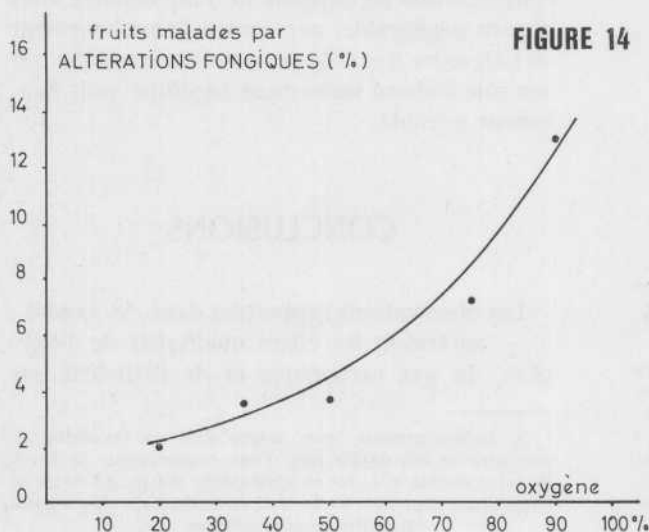
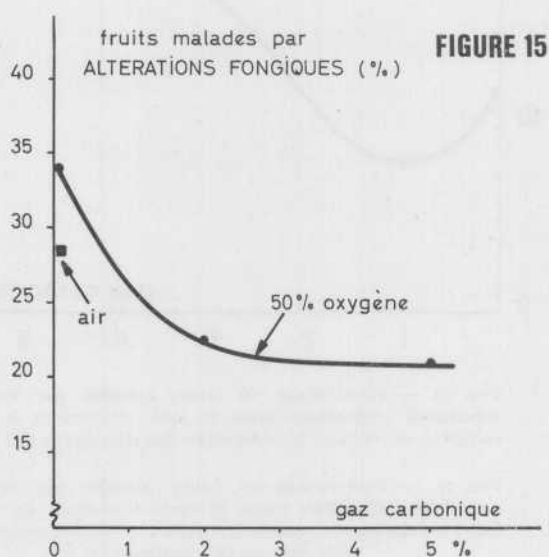


FIG. 15. — Pourcentage de fruits malades par altérations fongiques après traitement de maturation, dans une atmosphère suroxygénée enrichie en gaz carbonique. A titre de comparaison, pourcentage de dégâts enregistrés dans l'air pur.



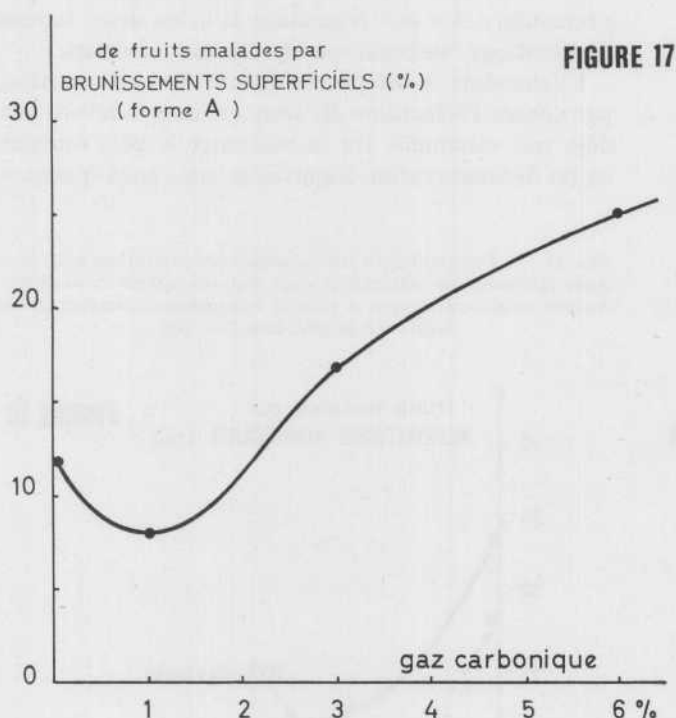
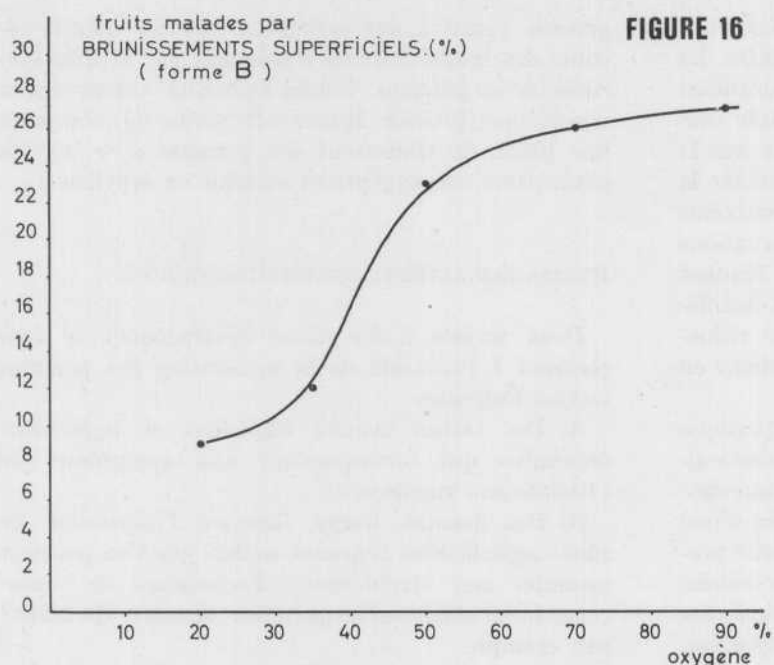


FIG. 16. — Pourcentage de fruits malades par brunissements superficiels (échaudure forme B) après traitement de maturation accélérée, en fonction de la concentration en oxygène de l'atmosphère.

FIG. 17. — Pourcentage de fruits malades par brunissements superficiels (échaudure forme A) après traitement de maturation; fruits préalablement conservés 6 mois à 2° en atmosphère contrôlée très riche en CO₂ (mélange (3) 10).

fois en fruitier. Lors de nos maturations expérimentales nous avons surtout noté les dégâts de cette forme B.

Sur la figure 16, nous voyons que la suroxygénation à partir de 40 % d'O₂ favorise grandement l'apparition de l'échaudure « B ». Dans une expérience menée à Bellevue avec des pommes 'Stayman Winesap' conservées dans de l'oxygène pur, une échaudure quasi complète des fruits avait été observée (10). Ces observations confirment le rôle toxique des fortes concentrations d'oxygène sur certains tissus vivants et complètent les données des nombreux chercheurs qui ont montré la nécessité de conserver les pommes sensibles à l'échaudure dans des atmosphères très pauvres en oxygène (2 à 4 %) pour réduire très nettement ce risque (11).

Un enrichissement en gaz carbonique paraît inhiber au moins partiellement le processus pathologique; le fait est connu (12) pour les pommes conservées au froid.

A température élevée le phénomène reste important car nos observations, concernant tout spécialement l'échaudure « B » font apparaître une corrélation négative très nette entre l'importance des dégâts et la concentration de l'atmosphère en CO₂.

Nous avons constaté une sensibilité à l'échaudure « A » pour des pommes 'Golden Delicious' préalablement conservées à + 2°, pendant 6 mois en atmosphère contrôlée de composition (3) 10 (1). Pour cette forme d'accidents, l'influence de la concentration en oxygène de l'atmosphère nous a paru négligeable, par contre l'enrichissement en CO₂ entre 0 et 6 % permet d'observer (fig. 17) son rôle d'abord légèrement bénéfique puis finalement nuisible.

CONCLUSIONS

Les observations rapportées dans cet exposé :
— confirment les effets qualitatifs de l'oxygène, du gaz carbonique et de l'éthylène sur

(1) Antérieurement, nous avons déjà eu l'occasion de constater de tels dégâts lors d'une conservation de fruits de cette variété à + 12° en atmosphère (10)10. Au cours de l'expérience rapportée ici, le seuil de toxicité du CO₂ n'a pas été atteint avec le mélange (3)5.

plusieurs phénomènes métaboliques de la maturation de la pomme 'Golden Delicious'.

— *précisent* quantitativement l'importance des effets élémentaires ou combinés de ces gaz à divers stades d'évolution des fruits cueillis ou conservés au froid, mais cela n'est pas suffisant.

Aux effets physiologiques des gaz, il faut ajouter ceux de la température. On sait que son élévation entraîne une accélération du métabolisme mais que, au-delà de + 30 + 35° son influence peut être défavorable à l'évolution pigmentaire et au développement des arômes.

Il est possible que, dans l'avenir, on fasse appel à d'autres substances capables d'accélérer également la maturation et le jaunissement, ou de protéger les fruits des altérations fongiques ou physiologiques. On sait déjà que certaines substances chimiques (des hormones de croissance) sont capables, à des doses très faibles, d'accélérer la maturation des pommes et de plusieurs autres espèces de fruits : ce sont notamment le 2-4-D et le 2-4-5-TP. D'autres peuvent protéger efficacement certaines variétés contre les brunissements superficiels (diphénylamine) et même jouer un rôle antifongique (ethoxyquine).

On sait aussi que les radiations ionisantes employées à des doses biologiques, activent le métabolisme, provoquent l'amollissement de la chair des pommes, favorisent quelquefois la régression des chlorophylles.

Les conséquences de ces traitements sur la physiologie des fruits ne sont pas encore entièrement connues et des considérations toxicologiques empêchent pour le moment leur utilisation commerciale.

Si nous voulons que les pommes, après maturation

et jaunissement accélérés soient saines, parfaitement colorées et pourvues de qualités gustatives optimales, il faut porter une attention toute particulière :

— sur l'origine des fruits et ses conséquences : caractéristiques des arbres et du verger, susceptibilité aux maladies physiologiques, potentiel infectieux des champignons parasites latents.

— sur l'état physiologique des fruits à la récolte. Nous pensons qu'en général, la pomme 'Golden Delicious' est récoltée trop tôt et que cela explique les difficultés rencontrées dans la pratique pour obtenir des fruits suffisamment colorés et parfumés (1). Du point de vue de la qualité, il serait intéressant de pouvoir déterminer l'âge à partir duquel la pomme peut être capable de développer complètement ses arômes spécifiques en cours de maturation. De nouveaux tests sont recherchés dans ce but.

Dans le même esprit, il nous paraîtrait souhaitable que les arboriculteurs décidés à commercialiser la pomme 'Golden Delicious' très tôt en saison cherchent plutôt à hâter l'évolution de leurs fruits *sur les arbres mêmes*, notamment par l'emploi d'hormones de croissance (type 2-4 D), plutôt que par des traitements postérieurs à la cueillette dont la rapidité d'action est acquise au détriment de la qualité.

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

(1) Il faut se rappeler qu'au stade optimal de récolte (phase pré-climactérique) une pomme 'Golden Delicious' est déjà de coloration *jaune-vert*, sa fermeté de chair est de 3,5 kg (mesurée au pénétromètre type Bellevue, et son amidon est déjà hydrolysé à 50 %.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- | | |
|--|--|
| <p>(1) LEBLOND (C.). — L'Arboriculture fruitière, 1954, mai 3-5.
 (2) KIDD (F.) et WEST (C.). — Plant Physiol., 1945, 20, 467-504.
 (2^{bis}) ULRICH (R.). — Bull. Soc. Sci. Hyg. Alim., 1966, 54, 234-253.
 (3) WORKMAN (M.). — Proceed. Amer. Soc. Hort. Sci., 1963, 83, 149-161.
 (4) KIDD (F.) et WEST (C.). — Annual Rep. F. I. B. 1924, 27-34.
 (5) LEBLOND (C.) et ULRICH (R.). — C. R. Acad. Sci., 1959, 249, 754-756.
 (6) GORINI (F. G.) et FERRADO (M. A.). — Frutticoltura 1966, 28 (8/9).</p> | <p>(7) MALLOCCI (D.). — Ann. della Sper. Agraria. Rome 1961, 15, n° 2.
 (8) MOREAU (C.) et (M.), BOMPEIX (G.) et MORGAT (F.). — Fruits, 1966, 21, (9) 467-488.
 (9) BOMPEIX (G.). — Rev. Gén. du Froid, 1966, 57 (10) 1385-1390.
 (10) ULRICH (R.), MARCELLIN (P.), LEBLOND (C.) et PAULIN (A.). — Bul. Inst. Inter. Froid, Annexe 1961-1, 221-229.
 (11) BLANPIED (G. D.) et SMOCK (R. M.). — Proceed. Amer. Soc. Hort. Sci., 1961, 78, 35-42.
 (12) PATTERSON (M. E.) et WORKMAN (M.). — Proceed. Amer. Soc. Hort. Sci. 1962, 80, 130-136.</p> |
|--|--|

Vient de paraître :

MALADIES FONGIQUES DES BANANES EN ENTREPÔT

par **E. LAVILLE**

(I. F. A. C.)

Le diagnostic des maladies et carences exige *une connaissance exhaustive des divers aspects* sous lesquels une même affection peut se présenter. En ce domaine, la photographie en couleurs est seule capable de suppléer dans une certaine mesure à l'information visuelle directe. Malheureusement, le coût élevé des reproductions ne permet pas à FRUITS d'en faire bénéficier ses lecteurs avec la fréquence souhaitable. Aussi l'I. F. A. C. a décidé l'utilisation d'un procédé de diffusion mieux adapté.

Une formule d'édition nouvelle offrant simultanément au lecteur sous un même boîtier cartonné de format 13 × 18 cm :

— un livret (texte de présentation) comprenant un répertoire des principaux champignons parasites des bananes et de leurs effets sur les différents organes du régime;

— une série de 30 diapositives en couleurs groupées 6 par 6 sous jaquette plastique transparente avec légendes, utilisables avec tous les projecteurs ou visionneuses usuels.

Prix de publication : **50 F** (l'album est désormais au prix de publication).

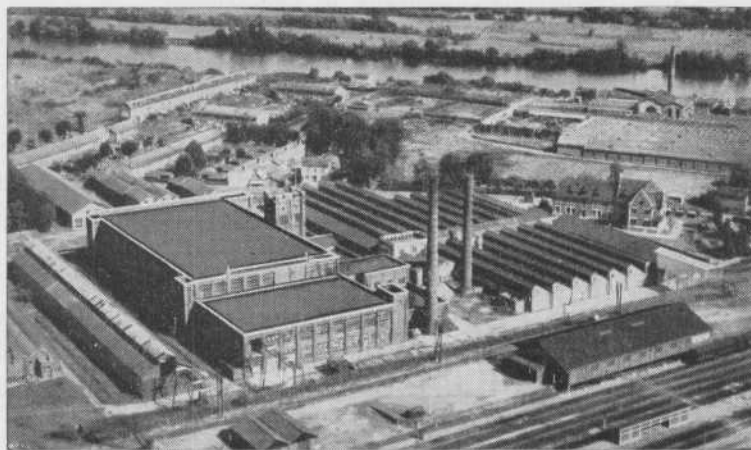
La souscription continue pour l'album en préparation de J.-M. Charpentier et P. Martin-Prével : Carences et déséquilibres minéraux du bananier (Prix de souscription : **80 F**).

Adresser commandes et souscriptions à :

Institut Français de Recherches Fruitières Outre-Mer (Service des publications)

6, rue du Général-Clergerie, Paris 16^e, France

ANTIPARASITAIRES
AGRICOLLES
ET
HORTICOLES



Nouvelle usine de Synthèse de OISSEL (Seine-Maritime)



SYMBOLE DE QUALITÉ

LA QUINOLÉINE - 43, RUE DE LIÈGE, PARIS (8^e) - EUR. 50-80