

Études sur le brunissement interne de l'ananas

Cl. TEISSON*

ÉTUDES SUR LE BRUNISSEMENT INTERNE DE L'ANANAS
Cl. TEISSON (IFAC)

Fruits, Sep. 1972, vol. 27, n°9, p. 603-612.

RESUME - Après avoir rappelé les données acquises sur les conditions d'apparition du brunissement interne (= B.I.), problème majeur de l'ananas frais en Côte d'Ivoire, l'auteur expose ses essais 1972.

Le B.I. n'apparaît pas à température tropicale, mais 7 jours à 20°C suffisent à provoquer ses premières atteintes. Un séjour préalable à 8°C (cf. transport maritime) l'aggrave fortement ; déjà sensible en 2 jours, cet effet plafonne en 10 jours environ. Mais les symptômes ne deviennent visibles qu'après 3 jours ou plus d'exposition subséquente à 20°C (cf. commercialisation en Europe). Au faciès parfois divers, ils paraissent dus à une oxydation enzymatique, résultant probablement d'un déficit saisonnier en acide ascorbique.

Des applications tardives de potasse n'ont pas diminué le B.I. cette année. L'acide p. phénoxyacétique a complètement supprimé la maturation du fruit, néanmoins, ce type de composés pourrait être intéressant. Des résultats très encourageants ont été obtenus à l'aide d'emballages plastiques à fenêtre en élastomère de silicone qui agissent pendant la phase de commercialisation et doivent être fortement chargés en fruits. D'autres moyens peuvent également être envisagés pour appauvrir l'atmosphère en oxygène autour des fruits.

Le brunissement interne de l'ananas est une anomalie de qualité comparable au brunissement enzymatique de certains fruits européens (1) et visible uniquement quelque temps après la récolte du fruit. Cette anomalie a été signalée depuis très longtemps sous des formes plus ou moins diverses dans de nombreuses régions productrices : Hawaï, Australie, Afrique du Sud, Côte d'Ivoire, Floride auxquelles sont venus récemment s'ajouter Formose puis, en tout dernier lieu, le Cameroun.

C'est en Floride que E.V. MILLER (2, 3) a entrepris les premiers travaux à ce sujet, puis le problème paraît être retombé dans l'ombre. En Côte d'Ivoire, principal fournisseur, et de loin, du marché européen en ananas frais, le problème revêt actuellement une extrême importance puis-

que, quoique saisonnier, il menace plus du tiers de la production. Le brunissement interne B.I. (**) rend les fruits totalement inconsommables et il est, à ce titre, beaucoup plus grave que les tâches noires de l'oeil (4) avec lesquelles il est souvent confondu.

Ce n'est qu'en 1966, par suite de l'augmentation importante de la production et donc des tonnages atteints, que l'IFAC a été saisi par différents importateurs de la gravité du problème. M.-A. et Renée TISSEAU en avaient entrepris l'étude et les résultats obtenus par eux peuvent être résumés ainsi :

- Le brunissement interne n'est visible qu'au moment de la commercialisation et uniquement après découpe du fruit, celui-ci présentant un aspect extérieur parfaitement sain.
- Il est absolument impossible de déterminer, au moment de la coupe et de l'emballage du fruit, des symptômes précurseurs.
- Il n'y a aucune trace de parasitisme particulier dans les fruits malades.

* - Agrophysiologiste à la Station de l'Anguédédou, IFAC, B.P. 1740, ABIDJAN (République de Côte d'Ivoire)

** - B.I. : abréviation utilisée dans le texte pour «Brunissement interne».

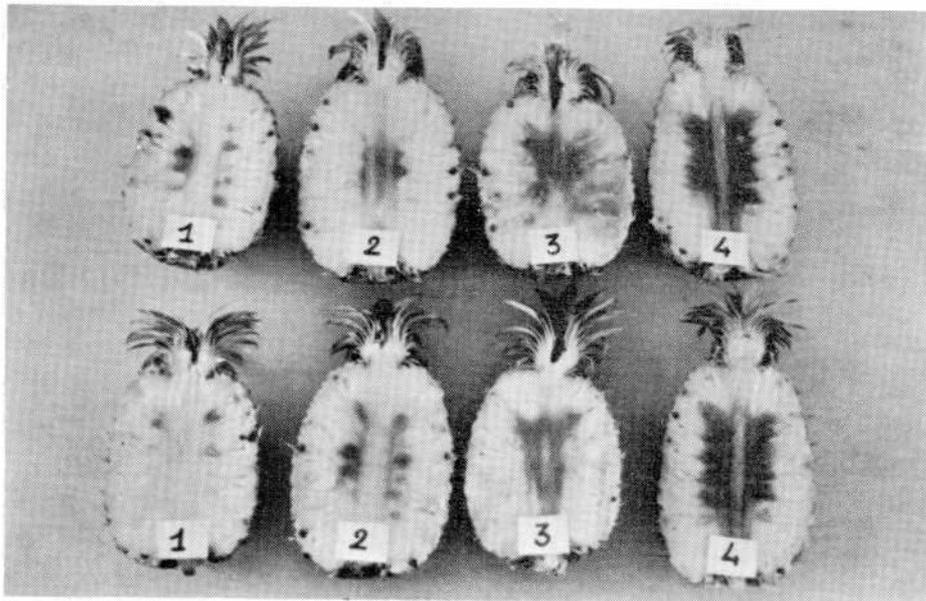


Photo 1. Les différents stades du brunissement interne.

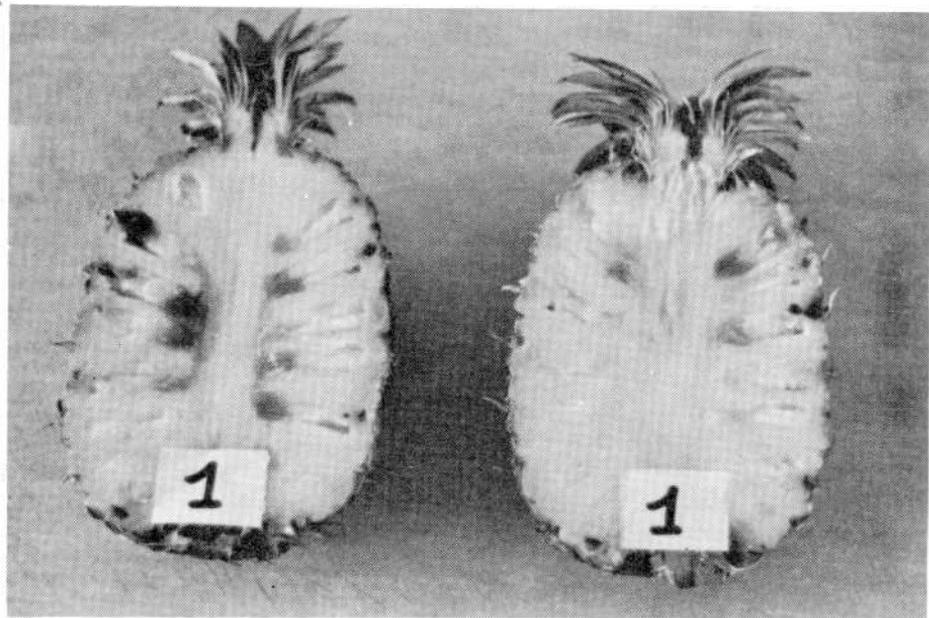


Photo 2. Détails du stade initial : brunissement au point d'attache des yeux sur le cylindre central.

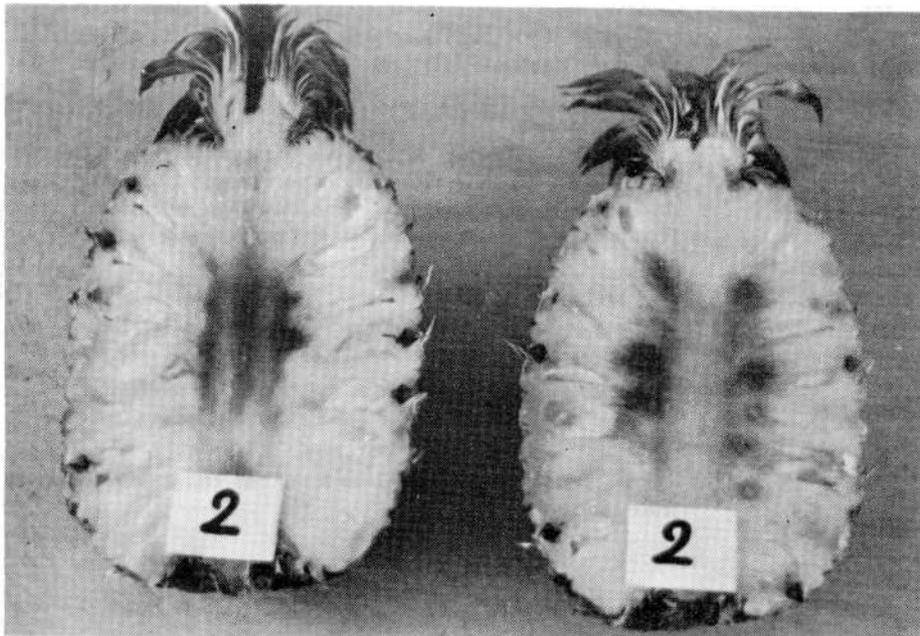


Photo 3. Détails du stade 2 : le brunissement forme un manchon autour du cylindre central.

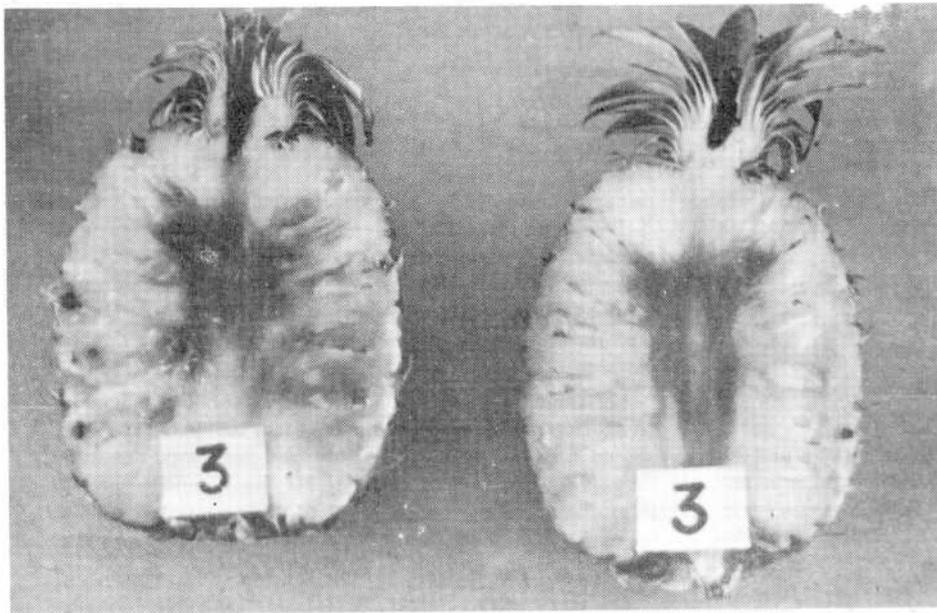


Photo 4. Détails du stade 3 :
le cylindre central est affecté.

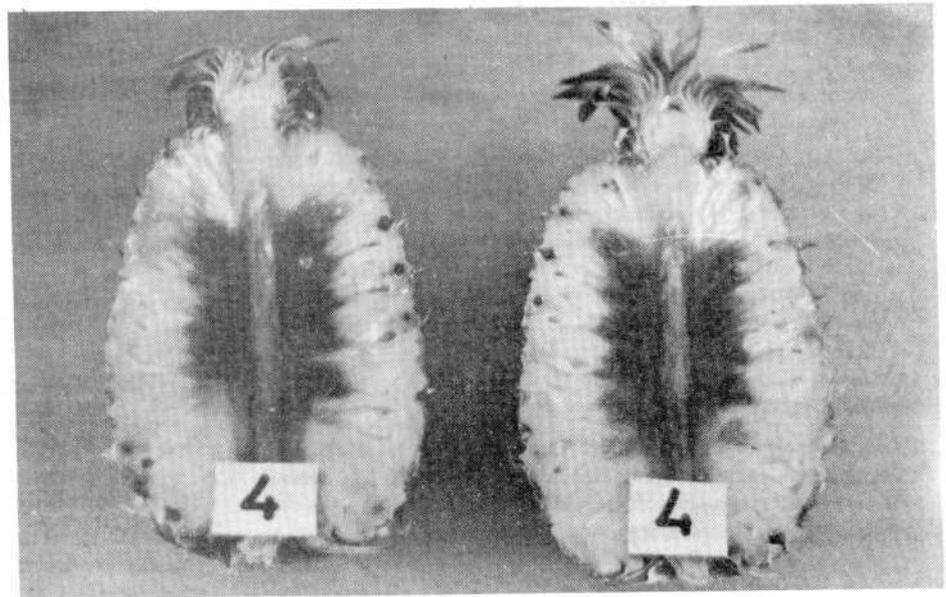


Photo 5. Détails du stade 4 :
le brunissement affecte
toute la partie centrale du fruit.

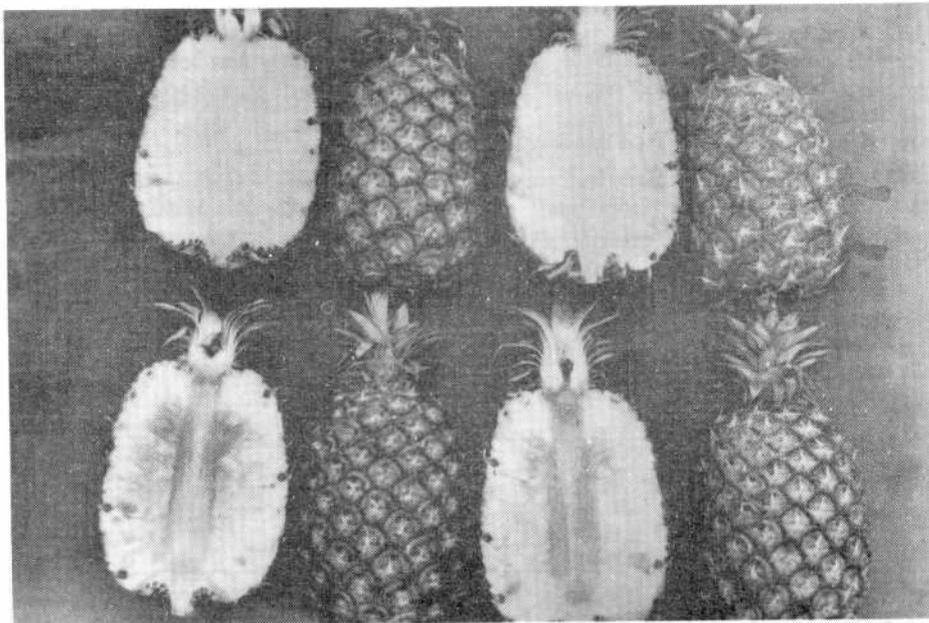


Photo 6. En haut : traitement, en bas : témoin.
Remarquer la coloration extérieure plus claire,
moins brune des fruits traités.

- Cette anomalie est saisonnière et sévit avec des variations annuelles dues sans doute aux conditions climatiques de janvier à mai.

- L'époque de brunissement interne correspond à l'époque de la plus faible acidité des fruits (8).

- Les fruits les plus gros sont les plus sensibles.

- La maladie n'apparaît que si les fruits ont subi une mise au froid.

- Les premiers symptômes, tels que ces auteurs les ont décrits, sont des petites tâches d'un brun grisâtre qui apparaissent vers le haut du fruit, au point d'attache des yeux sur le cylindre central. Les zones affectées s'étendent très rapidement, tout en devenant de plus en plus foncées, vers l'extérieur du fruit, d'une part, et vers le bas du fruit, le long du coeur, d'autre part. Elles peuvent finir par envahir tout le fruit, ne respectant qu'une mince couche sous-épidermique. M.-A. et Renée TISSEAU ont établi une échelle de notation de 0 à 5 - avec une note particulière de 0,5 pour le brunissement à l'état de trace - destinée à caractériser l'intensité du phénomène (photos 1 à 5).

Quand la Station IFAC de l'Anguédédou a pu disposer d'une chambre froide expérimentale d'assez grand volume, des études plus nombreuses et plus systématiques que précédemment y ont été entreprises. Les essais réalisés pendant la période d'apparition du phénomène, soit le premier semestre 1972, étaient axés autour de deux thèmes de recherche : l'étude du phénomène, d'une part, la recherche d'une solution au problème, d'autre part.

Méthodes de travail.

Pour étudier le brunissement interne, qui est seulement visible au stade de la commercialisation du fruit, nous avons fait subir aux ananas des simulations de transport dans des conditions comparables à celles de la réalité. On peut y distinguer deux phases nettement différentes :

- La phase de transport proprement dite qui correspond au trajet en cale réfrigérée jusqu'au port européen. Les caractéristiques théoriques de cette phase sont bien déterminées (9) : elle dure 10 jours environ pendant lesquels la température de la cale est habituellement maintenue à 8°, l'humidité relative de 90 p. cent et le taux de renouvellement horaire de l'air du local égal à 2. Toutes ces caractéristiques ont été respectées dans nos simulations de transport.

- La phase de commercialisation qui correspond à l'intervalle entre le déchargement du bateau et la consommation du fruit. Les caractéristiques de cette période sont très variables suivant le lieu de vente (les fruits peuvent être réexportés sur d'autres pays européens), les conditions climatiques et économiques du moment (importance de la demande et donc rapidité de la vente). Dans bien des cas, les fruits sont mis successivement à température ambiante, souvent inférieure à 10° en période de sensibilité au BI, puis à température plus élevée dans les hangars de stockage, puis remis à température ambiante pour être placés enfin à des températures plus élevées (plus de 20°) dans les magasins.

Dans nos premiers essais, la phase de commercialisation

durait 5 jours pendant lesquels les fruits étaient mis à 20° ± 2° avec une hygrométrie comparable à celle des pays européens (salle climatisée). Il nous a été précisé ultérieurement que, dans la réalité, cette phase était beaucoup plus longue et d'une durée moyenne de 8 à 10 jours ; c'est un tel laps de temps que nous avons respecté dans nos derniers essais.

Les ananas ayant des compositions et des comportements très différents suivant leur poids et leur maturité (10), nous avons, sauf exception, réalisé tous les essais avec des fruits de plus de 1,5 kg et de maturité M2 (fruit jaune sur près de la moitié de sa hauteur au moment de la coupe). Dans tous les essais, le nombre minimum de fruits par traitement était de 24.

Les observations étaient effectuées sur une coupe longitudinale et médiane. On notait, en particulier, le pourcentage de fruits atteints de brunissement interne et l'intensité moyenne des symptômes appréciée d'après l'échelle mise au point par M.-A. et Renée TISSEAU. Il s'agit là de notes très subjectives, dont la signification n'est pas très rigoureuse surtout pour la comparaison entre deux essais réalisés à des dates différentes, la sensibilité des fruits au BI étant variable suivant la date de coupe. D'autre part, les symptômes ayant pris des faciès relativement différents selon les traitements, la comparaison des différentes notes est très délicate.

ETUDE DU PHENOMENE

Conditions d'apparition du brunissement interne.

Plusieurs essais ont été mis en place pour préciser le rôle de la température dans le déclenchement du phénomène.

Effet de la température ambiante.

Les fruits, récoltés dans un essai (Essai 1), ont été laissés à température ambiante - variant dans les conditions de l'essai entre 33 et 21°C - et observés 4, 6, 8 ou 10 jours après la coupe. A aucun moment, il n'est apparu de brunissement interne même à l'état de trace ; à 10 jours, les fruits présentaient de grandes zones translucides dans leur moitié inférieure, signes normaux de surmaturité et de sénescence.

Effet d'une température moyenne.

Dans les Essais 2 et 3, des fruits ont été stockés pendant des temps plus ou moins longs à la température de 20°C. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 1.

TABLEAU 1

	Durée de conservation à 20°C	p. cent B.I.	Intensité
Essai 2	2 jours	0	0
	5 jours	0	0
	7 jours	37,5	0,5
	10 jours	66,0	0,6
Essai 3	10 jours	45,8	0,5
	15 jours	95,8	1,1
	20 jours	100	1,9

Contrairement à ce que l'on croyait, une température inférieure à 10°C n'est pas nécessaire pour déclencher le phénomène, qui peut très bien apparaître, même si les fruits ne subissent jamais une température inférieure à 20°C. La comparaison avec l'essai précédent où il n'était pas apparu de BI, mais où la température minimale avait été de 21°C, montre que les températures de cet ordre n'interviennent que si le fruit leur est soumis pendant une certaine durée.

Comparaison des effets d'une température basse : -8°C, et d'une température moyenne : -20°C.

Dans l'Essai 2, précédemment cité, il a également été réalisé des traitements avec simulation de transport à 8°C, d'une durée variable, suivie d'un entreposage pendant 5 jours à 20°C. Comparés à la seule mise à 20°C, ces traitements ont eu les effets indiqués au tableau 2.

Pour une même durée totale de conservation, le brunissement interne est beaucoup plus important, tant par le pourcentage de fruits atteints que par l'intensité des symptômes, si les fruits sont placés initialement à 8°C, même pour une durée très courte.

Effet d'une longue mise au froid.

Dans l'essai précédent, l'anomalie était d'autant plus grave que la durée de conservation totale était plus grande, tout au moins, dans les limites de l'essai, c'est-à-dire 15 jours ; on a cherché à voir s'il en était toujours de même pour des simulations de transport de 15, 20 et 25 jours, suivies également d'une conservation de 5 jours à 20°C (tableau 3).

TABLEAU 3

Durée du transport simulé à 8°C	p. cent B.I.	Intensité
15 jours	100	1,8
20 jours	100	1,6
25 jours	100	2,4

L'intensification des symptômes n'augmente donc pratiquement plus au-delà de 10 jours de simulation de transport. Dans le dernier traitement, la note moyenne des symptômes est beaucoup plus importante mais les fruits cueillis présentaient des symptômes évidents de sénescence qui ont pu interférer dans cette notation.

TABLEAU 2

Durée totale de l'essai en jours	Nombre de jours à 8°C	Nombre de jours à 20°C	p. cent B.I.	Intensité
7	2	5	70,8	0,5
	0	7	37,5	0,5
10	5	5	100	1
	0	10	66,0	0,6
15	10	5	100	1,6

Étude de l'évolution des symptômes.

Dans un des essais précédents, les fruits étaient observés, soit le jour de la sortie de la chambre froide, soit 5 jours après. Quelle que soit sa durée, aucun symptôme n'est visible juste à la fin de la simulation de transport à 8°C, alors qu'ils le sont très nettement 5 jours plus tard.

Pour préciser l'évolution de ces symptômes, nous avons, après une simulation de transport de 10 jours, observé à différentes dates les fruits stockés à 20°C (tableau 4).

TABLEAU 4

Nombre de jours à 20°C après simulation de transport	p. cent B.I.	Intensité
1	0	0
3	96	0,5
5	100	1,9
7	100	2,7
9	100	3,2

Les symptômes ne commencent donc à apparaître à l'état de traces que trois jours après la mise à 20°C ; par la suite, ils se développent avec le temps, mais dès le cinquième jour, ils atteignent une intensité telle que les fruits sont difficilement commercialisables. Au neuvième jour, soit après un délai de commercialisation normal, l'état des fruits est tel qu'ils ne sont absolument pas consommables.

Dans un essai ultérieur, nous avons étudié l'influence de la température de la phase de commercialisation sur l'apparition des symptômes en stockant les fruits pendant 7 jours après la simulation de transport, soit à température ambiante, toujours comprise entre 20 et 30°C, soit à 20°C (tableau 5).

TABLEAU 5

Température des 7 jours qui suivirent la simulation de transport	p. cent B.I.	Intensité
- ambiante (20 à 30°C)	100	3,2
- 20°C	100	2,8

Il semble donc qu'il y ait une tendance à l'accélération des phénomènes lorsque la température augmente. Ce point mériterait cependant d'être précisé.

Remarque sur la variation des symptômes.

Nous avons rappelé, ci-avant, les symptômes classiques du B.I. Cependant, nous avons observé plusieurs faciès différents suivant les conditions expérimentales.

Dans le cas où les fruits ne sont jamais mis à 8°C mais conservés à 20°C, on observe, avant l'extension des symptômes en surface, une multiplication de petites tâches brunes à la base de tous les yeux du fruit. Ce phénomène ne se produit jamais dans les conditions expérimentales classiques.

Lorsque les fruits, après sortie de la chambre froide, sont stockés à température ambiante, les zones nécrosées s'étendent beaucoup moins vers le bas, si les fruits ont été stockés à 20°C, mais elles présentent une couleur brune très foncée qui, à 20°C, apparaît seulement dans des stades ultérieurs.

Hypothèse sur le mécanisme du brunissement interne.

A la suite de ces observations, on peut émettre l'hypothèse que le brunissement interne de l'ananas correspond à des oxydations enzymatiques consécutives à la dégradation d'une substance naturelle inhibitrice des oxydations. Cette dégradation est d'autant plus importante que les fruits sont exposés à une température plus basse, mais elle est déjà suffisante à 20°C pour que le brunissement se déclenche par la suite. A 8°C, cette dégradation - et, par la suite, l'intensité du brunissement - est proportionnelle à la durée du traitement, tout au moins, dans les limites de 10 jours, durée certainement suffisante pour qu'elle soit pratiquement complète.

Les phénomènes d'oxydation ne succèdent à cette première phase que si la température est suffisante, 20°C par exemple ; ils n'apparaissent pas à 8°C. A 20°C, les premiers symptômes apparaissent au bout de trois jours et s'accroissent ensuite très rapidement. Il semble que ces oxydations soient accélérées par une augmentation de température, l'optimum devant se situer, comme dans de nombreuses réactions enzymatiques, vers 30°C.

Le réducteur naturel le plus fréquent dans les fruits est l'acide ascorbique dont on connaît justement la fragilité thermique (11) et qui a déjà été mis en cause dans des brunissements enzymatiques de fruits (12). Bien que ce soit pour un B.I. de l'ananas présentant des symptômes sensiblement différents de ceux observés en Côte d'Ivoire, E.V. MILLER a montré (2, 3) qu'il existait une corrélation inverse entre la sensibilité des fruits et leur teneur en acide ascorbique, alors qu'il n'en existait pas avec leur teneur en peroxydases. Il est donc permis de supposer qu'en période de sensibilité au B.I., les fruits de Côte d'Ivoire sont moins riches en acide ascorbique - on rappelle qu'ils sont déjà moins acides - ou que celui-ci est sous une forme plus fragile et que c'est sa destruction pendant le transport à 8°C qui

entraîne le développement ultérieur des phénomènes d'oxydation caractéristiques du brunissement interne.

Un tel schéma pourrait être commun au brunissement interne de l'ananas dans toutes les régions où il a été décrit. Cependant, le phénomène étant saisonnier, son origine première est sûrement climatique ; mais elle est alors assez variable puisqu'en Côte d'Ivoire le brunissement interne est lié à des températures et à un ensoleillement élevé alors qu'il semble que ce soit exactement l'inverse dans les autres pays.

ESSAI DE CONTROLE DU BRUNISSEMENT INTERNE

Parallèlement à l'expérimentation précédemment décrite et destinée à mieux connaître le phénomène du brunissement interne, nous avons entrepris des essais dans l'espoir de le maîtriser, et ce sur deux plans nettement différents :

- traitements agronomiques modifiant la composition du fruit
- traitements physiques modifiant les conditions de transport et, en particulier, la respiration du fruit.

Essais agronomiques.

Potasse après floraison.

Il est bien connu que la composition de l'ananas peut être sensiblement modifiée par la fumure appliquée aux plantes (13, 14). En particulier, il a été plusieurs fois démontré qu'une augmentation de la fumure azotée entraînait une diminution de l'acidité des fruits alors qu'une augmentation de la fumure potassique entraînait l'effet inverse. Le brunissement interne semblait lié à la baisse d'acidité des fruits. M.-A. et Renée TISSEAU (15) ont essayé d'augmenter celle-ci par des applications de potasse après le traitement de floraison. L'effet de tels traitements sur l'acidité et le brunissement interne, bien qu'assez variable, semblait suffisamment prometteur pour que trois nouveaux essais soient réalisés. Malheureusement, dans ces trois essais, nous n'avons pu observer aucune action de l'apport de potasse sur l'intensité du brunissement après traitement de floraison, quelle que soit d'ailleurs la date exacte de cet apport.

De nouveaux essais seront entrepris pour étudier, en particulier, l'effet de fumures organiques et de différentes longueurs de cycle.

Traitement chimique du fruit.

Une seconde voie de recherche d'une solution par des traitements en champs se dégagait des travaux de E.V. MILLER (16). Cet auteur obtint une diminution sensible du brunissement interne en se basant sur ses études antérieures montrant une corrélation inverse entre la teneur en acide ascorbique et la sensibilité des ananas au B.I., et sur les travaux de MITCHELL, EZELL et WILCOX (17) montrant que des pulvérisations d'acide parachlorophenoxyacétique sur des haricots diminuaient les pertes, après récolte, en acide ascorbique.

Nous avons donc entrepris un tel essai dans des conditions identiques à celles de MILLER : traitement 10 jours avant récolte à la concentration de 600 ppm. L'effet de cette pulvérisation fut assez spectaculaire : elle stoppa complètement l'évolution du fruit. Bien que ceux-ci soient complètement verts, nous les avons récoltés et leur avons fait subir une simulation de transport. Le jour de l'observation, la coloration extérieure des fruits avait légèrement évolué mais présentait encore des zones d'un vert grisâtre. L'aspect intérieur des fruits était celui d'ananas encore trop verts pour être consommés : la chair était très blanche, les symptômes de brunissement interne n'ont pu être observés, et encore à l'état de traces, que sur 30 p. cent des fruits.

Il peut donc y avoir là une voie de recherche intéressante, mais les modalités de traitement, mises au point par MILLER, ne semblent pas applicables dans nos conditions, l'effet sur la maturation du fruit étant trop brutal. Dans l'avenir, nous nous efforcerons d'essayer des doses plus faibles d'acide parachlorophenoxyacétique appliquées plus tardivement et même après récolte. D'autre part, de nombreux autres composés voisins, qui ont une action semblable sur la maturité de l'ananas (18, 19) pourront être également testés.

Essais modifiant les conditions de transport.

Il est bien connu que des améliorations spectaculaires dans la conservation des fruits peuvent être obtenues par modification de l'atmosphère d'entreposage, et par là de la respiration et du métabolisme général des fruits (1). Bien que de tels essais nécessitent des connaissances assez précises sur la respiration du fruit étudié, alors que celles sur l'ananas sont assez réduites (20, 21), nous avons entrepris des essais empiriques en utilisant des emballages en polyéthylène épais ou «sacs A.C.» comportant une fenêtre en élastomère de silicone, mis au point par MM. MARCELLIN, LETENTURIER et LEBLOND (21, 22), fournis gracieusement par la maison RHONE-POULENC. Celle-ci ralentit, sans les supprimer, les échanges avec l'air extérieur de telle manière que le sac étant hermétiquement fermé et les fruits respirant, l'atmosphère interne s'appauvrit en oxygène et s'enrichit en gaz carbonique. La composition de l'air intérieur se stabilise au bout d'un certain temps à un niveau dépendant de la surface de la fenêtre et de l'intensité de la respiration des fruits : donc, pour un fruit donné, dans des conditions données, du poids de fruits enfermés dans le sac (*).

Pour mesurer la teneur en oxygène et en gaz carbonique à l'intérieur des sacs, nous disposons d'un appareil industriel de précision et de fidélité assez médiocre et ne pouvant fournir que des résultats isolés, mais tout de même de bonne valeur indicative.

(*) - Celui-ci comporte, en outre, une petite perforation destinée à équilibrer les pressions extérieures et intérieures. Dans tous nos essais, cette perforation a été laissée ouverte.

Premier essai.

Il visait à déterminer, pour les sacs à fenêtre de 400 cm² dont nous disposions, le poids optimum de fruits. Ceux-ci étaient mis en sacs A.C. le jour de la récolte, puis subissaient le cycle habituel des simulations de transport.

Nous avons réalisé les traitements suivants :

- 1 - Témoin : fruits en cartons sans sac A.C.
- 2 - 50 kg de fruits en carton par sac
- 3 - 65 kg de fruits en carton par sac
- 4 - 80 kg de fruits en carton par sac.

Le sac du traitement 3 s'étant accidentellement déchiré, son effet a été nul et nous n'en tiendrons pas compte. A la sortie de la chambre froide, la composition de l'atmosphère interne des sacs était sensiblement celle de l'air atmosphérique, montrant qu'à 8°C la respiration des fruits est trop faible pour la modifier sensiblement en 10 jours.

Par contre, pendant la simulation de la phase de commercialisation, c'est-à-dire à 20°C, la respiration de l'ananas est nettement plus importante et pratiquement, dès le deuxième jour, l'équilibre suivant était atteint :

Traitement	p. cent O ₂	p. cent CO ₂
2	12,5	6,5
4	8	plus de 8

Les observations, cinq jours après la sortie de chambre froide, ont donné les résultats présentés au tableau 6.

TABLEAU 6

Traitement	p. cent B.I.	Intensité
1 : témoin	61	1,2
2 : 50 kg par sac A.C.	44	1,0
4 : 80 kg par sac A.C.	37	0,8

L'emploi des sacs A.C. a donc entraîné une baisse sensible, tant du pourcentage de fruits atteints que de l'intensité des symptômes, et ce d'autant plus que la charge du sac était importante.

Deuxième essai.

Nous avons donc réalisé un second essai en portant uniformément la charge des sacs à 90 kg, maximum possible avec les emballages dont nous disposions, mais en différenciant les traitements suivants :

- 1 - Témoin
- 2 - Fruits en sac A.C. uniquement pendant la simulation de la phase de transport
- 3 - Fruits en sac A.C. uniquement pendant la simulation de la phase de transport et de la phase de commercialisation
- 4 - Fruits en sac A.C. uniquement pendant la simulation de la phase de commercialisation.

Comme dans l'essai précédent, le sac du traitement 3 s'est déchiré accidentellement. Pour les autres traitements, les résultats ont été ceux du tableau 7.

TABLEAU 7

Traitement	p. cent B.I.	Intensité
1 : témoin	100	2
2 : sac A.C. pendant le transport	100	1,6
4 : sac A.C. pendant la commercialisation	39	0,5

On observe donc une baisse très importante de brunissement interne lorsque les fruits sont emballés en sacs A.C. pendant les 5 jours à 20°C de la phase de commercialisation. L'amélioration a été plus spectaculaire que ne le laisse entendre le tableau car tous les fruits atteints ne l'étaient qu'à l'état de traces très légères et ils étaient parfaitement commercialisables. Dans ce traitement, juste avant l'ouverture du sac, l'atmosphère intérieure comprenait 6 p. cent d'oxygène et plus de 8 p. cent de CO₂. L'emballage en sacs A.C. pendant la simulation de transport à 8°C n'a eu là encore aucun effet sur la composition de l'air à l'intérieur du sac ni sur la sensibilité au B.I.

Cette constatation suggère que le sac A.C. agit seulement par inhibition des phénomènes d'oxydation qui se déroulent pendant la phase de commercialisation, par suite de l'appauvrissement en oxygène de l'atmosphère autour des fruits. Il est donc vraisemblable que toute conservation en atmosphère pauvre en oxygène - atmosphère presque pure d'azote par exemple - ait un effet semblable. Cette hypothèse doit cependant être confirmée.

Troisième essai.

Un troisième essai a été réalisé pour obtenir une confirmation des résultats précédents et déterminer si l'effet des sacs à fenêtre de silicone était identique pour une phase de commercialisation plus longue et suivant qu'ils sont ou non utilisés pendant toute sa durée.

Les traitements avec 85 kg de fruits chacun ont été les suivants, après une simulation de transport commune de 10 jours à 8°C :

- 1 - Témoin
- 2 - Fruits en sacs A.C. pendant les 9 jours à 20°C de la phase de commercialisation
- 3 - Fruits 7 jours en sacs A.C., puis 2 jours en atmosphère normale
- 4 - Fruits 5 jours en sacs A.C., puis 4 jours en atmosphère normale.

Ces deux derniers traitements avaient pour but de reproduire ce qui pourrait être effectivement réalisé dans la pratique, où il est impossible que les fruits soient en atmosphère contrôlée jusqu'au jour de leur consommation.

L'équilibre gazeux atteint dans tous les traitements a été le plus pauvre en oxygène de tous les essais puisque sa composition était de 4 p. cent d'oxygène et de plus de 8 p. cent de CO₂.

Le tableau 8 donne les résultats des observations.

L'amélioration de la qualité est strictement proportionnelle au temps pendant lequel les fruits ont été maintenus en atmosphère pauvre en oxygène. Cela renforce l'hypothèse suivant laquelle les sacs A.C. agissent seulement en bloquant les oxydations enzymatiques par manque d'oxygène. De plus, c'est dans cet essai - traitement 2 - que l'effet le plus spectaculaire a été observé (photo 6), or, c'est également dans cet essai que la teneur en O₂ relevée à l'intérieur des sacs a été la plus faible.

Les améliorations obtenues avec les traitements susceptibles d'être appliqués dans la pratique sont très importantes mais encore incomplètes. Si de tels procédés sont utilisés, on aura donc intérêt à réduire au strict minimum l'intervalle entre la sortie des sacs A.C. et la consommation des fruits.

L'intensité des symptômes, obtenue en 2 jours dans le traitement 4 de cet essai, étant supérieure à celle obtenue en trois jours dans l'étude de l'évolution des symptômes, il est possible que, malgré le sac A.C., il se déroule dans les fruits des réactions préliminaires à celles du brunissement proprement dit et que celui-ci apparaisse alors plus rapidement après la mise à l'air des fruits. Toutefois, il faudrait pour étayer cette hypothèse reprendre les comparaisons sur un même lot de fruits.

Il faut souligner, d'autre part, que la conservation en sacs A.C. a également fortement amélioré l'aspect extérieur des fruits qui étaient encore d'un bel orange alors que les témoins commençaient à brunir. Là encore cette amélioration a été d'autant plus nette que la conservation en sacs A.C. a été plus longue.

Dans cet ensemble d'essais réalisés avec les sacs à fenêtre de silicone, l'atmosphère intérieure des sacs était très vite sursaturée en humidité par suite de la transpiration des fruits, ce qui limitait de 4 à 2 p. cent les pertes en eau mais entraînait, dès que la conservation dans ces sacs durait plus de 5 jours, un développement de moisissures superficielles sur la couronne des fruits altérant ainsi leur présentation. Il s'agit là cependant d'un handicap mineur par rapport au brunissement interne et qu'il ne sera probablement pas impossible d'éliminer.

TABLEAU 8

Traitement	Nombre de jours en sacs A.C. sur les 9 jours à 20°C	p. cent B.I.	Intensité
1	0	100	3,3
2	9	0	0
4	7	78	1,1
3	5	86	1,6

CONCLUSION

Il est évident que la solution idéale au problème du brunissement interne serait un traitement agronomique modifiant la composition des fruits et les rendant insensibles à ce phénomène. Il est malheureusement tout aussi évident que c'est sûrement là la voie de recherche la plus délicate et la plus longue. Si les analyses, actuellement en cours sur les essais réalisés, montrent que l'hypothèse émise quant au mécanisme du brunissement interne est correcte, il faudra donc s'appliquer à mettre au point des traitements culturaux susceptibles d'augmenter ou de rendre moins fragile l'acide ascorbique des fruits. Il serait donc souhaitable de faire de la teneur en acide ascorbique un facteur de qualité du fruit aussi couramment analysé dans les essais agronomiques que l'acidité ou l'extrait sec du jus.

Dans l'immédiat, c'est plutôt en modifiant les conditions de transport et de commercialisation que l'on peut tenter de remédier à la situation présente. Dans l'état actuel des recherches, deux solutions théoriques sont envisageables :

- Prolonger la conservation des fruits à 8°C sans aucune rupture de froid le plus longtemps possible, puisque nous avons vu que les symptômes de brunissement ne commencent à apparaître que trois jours après la mise à 20°C. Cette solution ne semble pas pouvoir être appliquée pour l'instant dans la pratique.

- Conserver les fruits, dans une atmosphère pauvre en oxygène, jusqu'à une date la plus proche possible de leur consommation. Cette solution pourrait être envisagée à condition de disposer de sacs à fenêtre de silicone ou de tout autre emballage ayant des caractéristiques telles qu'il puisse doubler intérieurement les emballages en carton dans lesquels les fruits sont exportés. Ces cartons ne contenant que douze fruits au maximum, les fruits pourraient être conservés en atmosphère contrôlée jusqu'à un stade avancé de la commercialisation. Les emballages en polyéthylène seraient disposés à l'intérieur des cartons sur les lieux de production mais fermés seulement au déchargement du navire dans un port européen, afin de limiter au maximum les inconvénients secondaires tels que le développement des moisissures.

Des études poussées sur la respiration des fruits et les échanges gazeux avec les différents matériaux disponibles sont cependant indispensables avant tout début d'application.

Cette solution cependant, pour être idéale, doit être combinée avec l'utilisation courante des containers frigorifiques qui pourraient être chargés sur les lieux de production et ouverts sur les lieux de consommation. Dans cette optique, une attention particulière peut être apportée aux containers réfrigérés à l'azote liquide ou à la carboglace puisque leur utilisation entraînera également un appauvrissement en oxygène de l'atmosphère de conservation.

L'auteur adresse ses plus vifs remerciements à M. le Professeur ULRICH, Directeur du Laboratoire de Physiologie des Végétaux après la Récolte (CNRS), et à M. MARCELLIN, Directeur adjoint, qui, soit directement, soit par l'intermédiaire de ses collègues en poste au siège de l'IFAC à Paris, l'ont conseillé et guidé dans ses premiers travaux.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ULRICH (R.).
La conservation par le froid des denrées d'origine végétale.
Lib. J.B. Baillière et Fils, Paris, 1954.
- 2 - MILLER (E.V.).
Physiological studies of the fruits of the pineapple with special reference to internal break-down.
Plant Physiology, vol. 26, n°1, p. 66-75, 1951.
- 3 - MILLER (E.V.) and HEILMAN (A.S.).
Ascorbic acid and physiological break-down in the fruits of the pineapple.
Science, vol. 116, n°3019, p. 505-506, 1952.
- 4 - FROSSARD (P.).
Répartition des taches noires dans les fruits d'ananas de Côte d'Ivoire.
Réunion annuelle IFAC, 1970, doc. 48.
- 5 - TISSEAU (Renée).
Evolution de quelques caractéristiques des ananas frais au cours de leur transport.
Réunion annuelle IFAC, 1970, doc. 67.
- 6 - TISSEAU (Renée).
Observations sur le brunissement interne des ananas en Côte d'Ivoire.
Réunion annuelle IFAC, 1970, doc. 68.
- 7 - TISSEAU (M.-A.).
Problèmes de qualité de l'ananas.
Réunion annuelle IFAC, Synthèse 1970.
- 8 - TISSEAU (Renée).
Variations de l'acidité et de l'extrait sec du jus d'ananas en basse Côte d'Ivoire au cours de la campagne de production 1962-1963.
Réunion annuelle IFAC, 1963, doc. 3.
- 9 - GINSBURG (L.).
Fruit and vegetable storage.
Food Ind. in S. Africa, 1967, vol. 20, n°7, p. 43-47.
- 10 - HUET (R.).
La composition chimique de l'ananas.
Fruits, 1958, vol. 13, n°5, p. 183-197.

- 11 - ULRICH (R.) et DELAPORTE (N.).
L'acide ascorbique dans les fruits conservés par le froid dans l'air et en atmosphère contrôlée.
Ann. Nutri. et Aliment., 1970, vol. 24, n°5, p. B 287-B 325.
- 12 - MACHEIX (J.J.).
Rôle de divers facteurs intervenant dans le brunissement enzymatique des pommes pendant la croissance.
Phys. Vég., 1970, vol. 8, n°4, p. 585-602.
- 13 - PY (C.), SILVY (A.), BARBIER (M.), HUET (R.) et HAENDLER (L.).
Influence des éléments minéraux sur la composition de l'ananas.
Qualitas Plantarum et Materiae Vegetabiles, 1958, vol. 3-4, p. 237-243.
- 14 - MARTIN-PREVEL (P.), HUET (R.), HAENDLER (L.) et DUGAIN (P.).
Potassium, calcium et magnésium dans la nutrition de l'ananas en Guinée.
Fruits, 1961, vol. 16, n°2, p. 49-56 ; n°3, p. 113-123 ; n°4, p. 161-180 ; n°7, p. 341-351, n°11, p. 539-557. 1962, vol. 17, n°5, p. 211-227 ; n°6, p. 257-261.
- 15 - TISSEAU (M.A.) et TISSEAU (Renée).
Application de la potasse sur ananas après différenciation de l'inflorescence.
Fruits, 1971, vol. 26, n°12, p. 823-829.
- 16 - MILLER (E.V.) and MARSTELLER (R.L.).
The effect of parachlorophenoxyacetic acid on physiological break-down of the fruit of the pineapple.
Food Research, 1953, vol. 18, n°4, p. 421-425.
- 17 - MITCHELL (J.W.), EZELL (B.D.) and WILCOX (M.S.).
Effect of parachlorophenoxyacetic acid on the Vitamin C content of snap beans following harvest.
V. Science, 1949, 109, p. 202-203.
- 18 - GORTNER (W.A.).
Relation of chemical structure to plant growth regulation activity in the pineapple plant.
J. of Food Science, 1969, vol. 34, n°6, p. 557-580.
- 19 - GORTNER (W.A.) and LEEPER (R.W.).
Studies on the relation of chemical structure to plant growth regulation activity in the pineapple plant. I. Post harvest delay of senescence of pineapple fruit.
Bot. Gaz., 1969, vol. 30, n°2, p. 87-97.
- 20 - DULL (G.G.), YOUNG (R.E.) and BIALE (J.B.).
Respiratory patterns in fruit of pineapple ananas comosus detached at different stages of development.
Physiologia Plantarum, 1967, vol. 20, n°3-4, p. 1059-1065.
- 21 - AKAMINE (E.K.) and GOO (T.).
Controlled atmosphere storage of fresh pineapple.
Research Bulletin 152, Hawaii agricultural Experiment Station, 1971.
- 22 - MARCELLIN (P.), LETENTURIER (Y.) et LEBLOND (C.).
Brevet CNRS, 1964, n°1, 425, 388.
- 23 - CHARRIER.
Emballage de matière plastique pour la conservation des fruits en atmosphère contrôlée.
4ème Colloque international des Plastiques en Agriculture, Paris, juin 1970. Comité français des plastiques en agriculture, 1971, 365 p.

