

L'ananas : qualité du fruit, son contrôle.

J. MARCHAL et A. SOLER

L'état de mûrissement des ananas est habituellement estimé par leur coloration externe et par la valeur du rapport Extrait Sec Soluble (ESS)/Acidité libre totale du jus. Le mûrissement met en jeu un ensemble de réactions enzymatiques dont tous les mécanismes n'ont pas encore été totalement élucidés.

L'ananas n'est pas un fruit à crise climactérique. Le mûrissement de chacun des fruits individuels («yeux») constituant le syncarpe est donc progressif. En outre la maturité et la maturation, à un instant donné, suivent un gradient décroissant de la base vers l'apex du fruit lié à la différence d'âge des «yeux». De ce fait, seules des caractéristiques moyennes sont habituellement mesurées.

Des travaux sont en cours actuellement, principalement en Côte d'Ivoire (SOLER), pour compléter les connaissances sur les mécanismes de la maturation et sur l'activité de produits employés pour contrôler cette dernière. Ces études doivent permettre ensuite de constater les déviations éventuelles pouvant provoquer des accidents de maturation - translucidité par exemple - et d'en rechercher les causes.

Les techniques de sélection génétique permettent une diversification des variétés pouvant être cultivées. L'analyse comparative de certaines de leurs caractéristiques biochimiques est initiée.

EVOLUTION DE QUELQUES CONSTITUANTS BIOCHIMIQUES DU FRUIT EN COTE D'IVOIRE

Au cours du mûrissement des fruits, l'ESS augmente progressivement à partir de 115 jours après le TIF. Ainsi, au stade fruit tournant (début de jaunissement), des niveaux de 16 à 18 p. 100 sont mesurés, ils sont peu influencés par les conditions saisonnières. Ces dernières ont par contre un effet très sensible sur le taux d'acidité libre qui atteint un maximum compris entre 9 et 17 meq/100 ml de jus 145 jours après le TIF selon la saison. Il chute de près de 50 p. 100 au cours des deux semaines suivantes.

Le stade fruit tournant est observé dans des délais variant également avec les conditions externes (143 jours après le TIF en juillet, 163 jours en octobre en Côte d'Ivoire). Il est observé avant le maximum d'acidité (en juillet-août) ou nettement après (en octobre-novembre).

La coloration complète des fruits est atteinte également plus ou moins rapidement. Elle est suivie de la sénescence lorsque les fruits restent en place. L'évolution de l'ESS, de l'acidité libre et de la coloration externe traduisent les modifications des différents constituants des fruits.

Les pigments.

Très normalement, avec l'évolution de la coloration jaune de la peau, le taux des chlorophylles décroît très rapidement jusqu'à leur disparition totale après avoir atteint un maximum, 135 à 145 jours après le TIF selon les saisons. Les caroténoïdes, dont la teneur est pratiquement stable durant cette période, sont ainsi démasqués.

Les sucres.

Les concentrations du glucose et du fructose sont pratiquement constantes ; celle du glucose (2 p. 100 de la matière fraîche) est sensiblement plus importante que celle du fructose (1,2 p. 100) excepté en fin de maturation.

L'essentiel de la variation de l'ESS dépend de celle du saccharose dont le niveau très faible à l'origine (< 1,0 p. 100) atteint un maximum (12-13 p. 100) environ 160 jours après le TIF pour se stabiliser ou légèrement régresser.

A aucun stade, l'ananas n'accumule de réserves carbohydratees sous forme d'amidon.

Les acides organiques.

L'acide citrique est l'acide organique le plus abondant. Après 125 jours ses teneurs évoluent parallèlement à l'acidité totale (entre 2 et 13 meq pour 100 ml de jus) et passent donc par un maximum puis régressent. La concentration en acide malique est légèrement supérieure à celle de l'acide citrique seulement aux stades les plus jeunes (4 meq à 125 jours) pour augmenter faiblement ensuite (4,5 meq) et diminuer de plus de 50 p. 100 après le stade fruit tournant.

L'éthylène.

Comme tout fruit l'ananas produit de l'éthylène. A l'opposé des fruits à crise climactérique (banane, mangue, pomme ...) cette production reste faible ; elle contrôlerait les processus de vieillissement des fruits et la maturation n'est pas liée à une émission accrue d'éthylène précédant une crise respiratoire.

● Emission totale d'éthylène.

La teneur en éthylène de l'atmosphère interne de l'ananas est tout d'abord très faible (0,1 à 0,2 ppm). Elle augmente progressivement environ 130 jours après le TIF. Une forte accélération est observée vers 150 jours lorsque l'acidité libre a atteint son maximum et commence à diminuer quand la coloration jaune de la peau se révèle. L'émission maximale atteint 1,5 ppm (figure 1). Après environ 160 jours, les fruits étant totalement colorés, elle est de nouveau très faible. Mais le développement de taches noires l'accroît (3 à 5 ppm). L'émission est d'autant plus variable d'un fruit à l'autre que la maturation est avancée.

Les évolutions de la concentration en polygalacturonases et de leur activité sont parallèles à celle de l'éthylène. Il est donc possible de fixer le début du mûrissement avec le début d'accroissement de concentration de ces constituants (vers 130 jours).

● Influence des zones du fruit.

La partie apicale, constituée des fruits individuels les plus jeunes donc les moins matures, produit le moins d'éthylène. L'émission décroît du coeur vers la périphérie (tableau 1). Chez les fruits translucides la production est accélérée puis diminue. Il s'agit d'une indication d'une sénescence prématurée.

TABLEAU 1 - Teneurs en éthylène de différentes zones d'un fruit très mûr, non translucide (ppm).

	Coeur	Pulpe	
		Centrale	Périphérique
haut	1.35	1.28	0.81
milieu	1.56	1.46	0.93
bas	1.61	1.44	1.05

● Influence de sels de cobalt et d'argent.

Ces deux métaux interviennent sur la production et l'activité de l'éthylène. Le cobalt bloque son métabolisme et l'argent inhibe son action.

Par des apports de cobalt, en injection dans le pédoncule l'émission d'éthylène est réduite de 30 p. 100. Mais l'évolution des caractéristiques biochimiques et de la couleur de la peau n'est pas affectée.

L'injection de thiosulfate d'argent provoque une légère augmentation de l'émission d'éthylène et l'ESS, seul, tend à diminuer. Des plages de peau, couvrant deux ou trois yeux, réparties sur toute la surface du fruit, restent vertes. L'ensemble du fruit ayant une coloration naturellement plus verte à l'apex qu'à la base. La pulvérisation de ce sel sur le fruit, à une concentration de 5 millimoles/litre, réduit de plus de moitié sa vitesse de coloration qui est très inhibée par une concentration de 10 millimoles.

L'éthylène endogène agit sur l'activité des chlorophyllases de la peau de l'ananas, mais son influence éventuelle sur le mûrissement de la pulpe n'a pas été constatée.

Les enzymes.

La teneur en protéines totales décroît régulièrement. Seule l'activité polygalacturonase est révélée chez l'ananas parmi les enzymes habituellement impliqués dans les réactions d'amollissement des tissus (cellulase, pectinéméthyl-estérase).

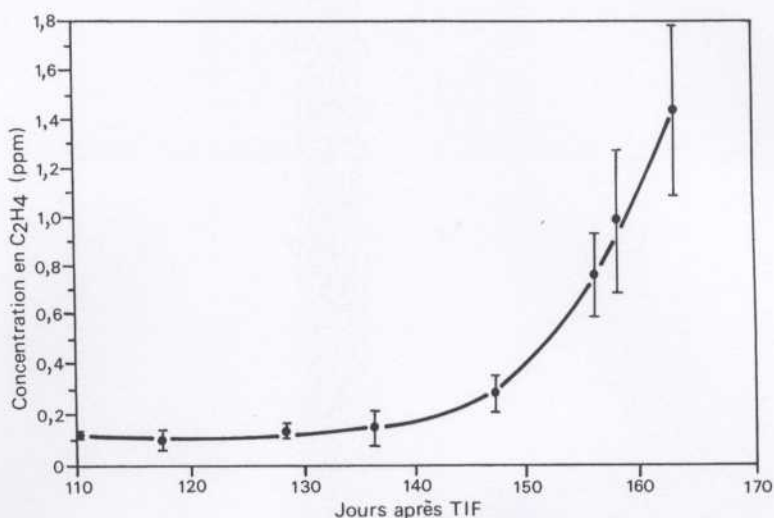


Fig. 1 • Evolution de la concentration en éthylène de l'atmosphère interne de l'ananas au cours des derniers mois de son développement.

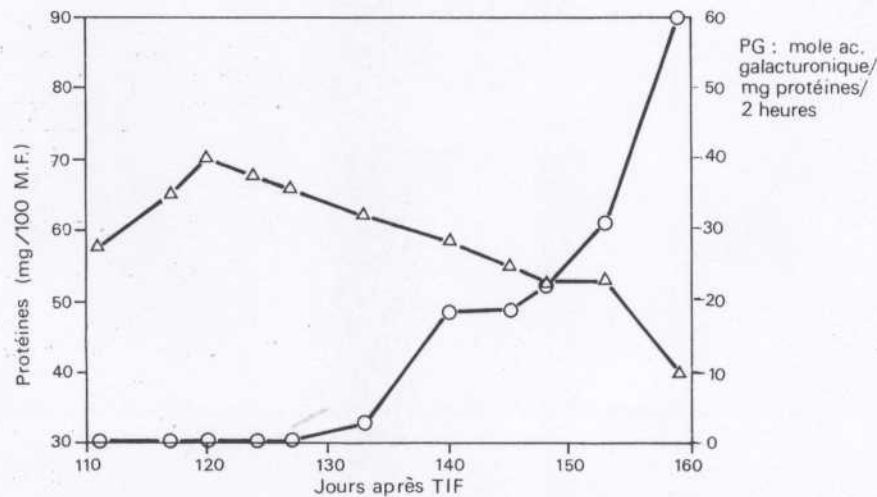


Fig. 2 • Evolution de la teneur en protéines totales de la pulpe (Δ — Δ) et de l'activité de la polygalacturonase PG (O—O) à la fin du développement des fruits.

Cette activité pratiquement nulle à l'origine s'accroît à partir du 130e jour et tout particulièrement durant la phase de coloration des fruits et de chute de l'acidité (figure 2). Sa relation avec la production d'éthylène n'est pas mise en évidence comme dans les fruits à crise climacérique.

D'autres activités hydrolasiques, principalement vacuolaires, sont reconnues au cours de la maturation ; elles s'accroissent plus ou moins intensément. Ce sont principalement la phosphatase acide mais aussi la diestérase, l'alpha et la bêta galactosidases et la N acétylglucosaminidase.

Les parois cellulaires - Les fibres.

La fraction de la pulpe insoluble dans l'alcool éthylique diminue jusqu'au 130e jour après le TIF et se stabilise à environ 1,4 p. 100 de la matière fraîche. Les fibres repré-

sentent environ 70 p. 100 de cette fraction et leurs teneurs suivent la même évolution. Les lignines sont toujours peu importantes (0,05 p. 100). Les hémicelluloses sont les plus abondantes (0,60 p. 100 après 130 jours et 0,40 p. 100 pour les celluloses). Leurs masses s'accroissent donc avec l'augmentation de poids du fruit durant son développement.

Gradients dans le fruit.

L'évolution de ces différentes caractéristiques est une évolution moyenne dans un fruit naturellement hétérogène. A tous les stades de maturité, des gradients de concentration des différents constituants sont mesurés entre les différents secteurs du fruit tant dans le sens vertical (base-apex) que diamétral. Le tableau 2 résume les variations de teneurs ainsi observées. Les protéines et les activités hydrolasiques évoluent parallèlement. DIEUDONNE (1977) a constaté que les composés phénoliques qui s'accumulent durant la

TABLEAU 2 - Distribution de certains constituants dans le fruit.

	Acidité libre meq/100 ml	ESS p. 100	Acide ascorbique ppm	Protéines mg/ml	Thiols mmoles
HAUT					
Coeur	9.0	12.5	125	0.10	0.06
Pulpe 1	14.9	12.8	140	0.24	0.13
Pulpe 2	15.5	12.4	151	0.26	0.25
Pulpe 3	16.7	10.4	146	0.26	0.26
MILIEU					
Coeur	11.8	14.1	128	0.09	0.05
Pulpe 1	13.9	16.5	133	0.21	0.08
Pulpe 2	14.6	15.5	152	0.26	0.16
Pulpe 3	15.7	12.3	158	0.27	0.27
BAS					
Coeur	9.4	15.5	130	0.07	0.06
Pulpe 1	12.8	19.6	119	0.21	0.08
Pulpe 2	14.1	17.7	132	0.24	0.12
Pulpe 3	14.9	13.7	150	0.27	0.20

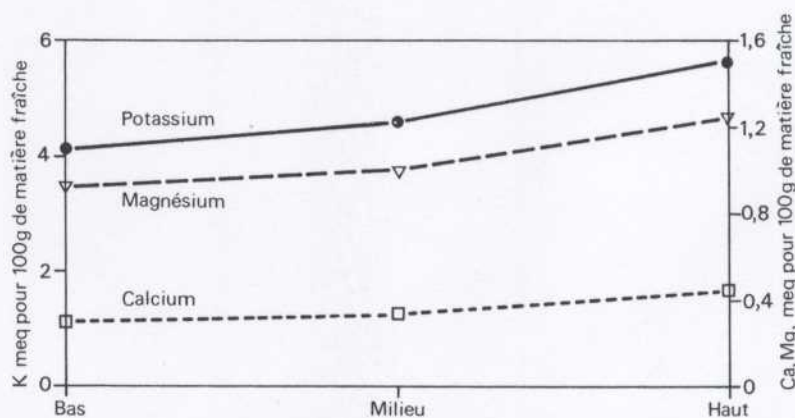


Fig. 3 • Gradients des cations K, Ca, Mg, de la base vers l'apex du fruit.

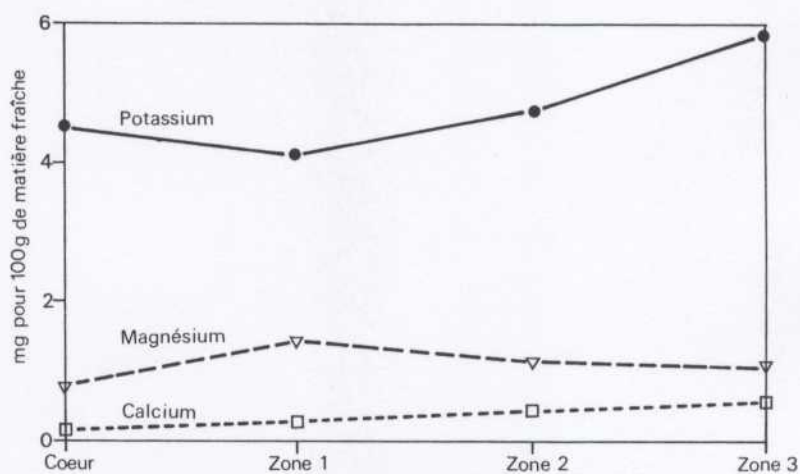


Fig. 4 • Gradients des cations K, Ca, Mg, du coeur vers la périphérie du fruit.

TABLEAU 3 - Activités hydrolasiques de la peau (unités arbitraires).

	Phosphatase	Alpha mannosid.	Alpha galactos.	Diestérase	N acétylgluc.
MILIEU					
Coeur	19.7	13.2	6.9	17.9	4.9
Pulpe 1	27.7	22.0	8.9	24.4	7.4
Pulpe 2	43.1	-	13.6	37.1	13.3
Pulpe 3	40.7	35.2	15.1	39.6	10.1

maturation, sont plus abondants dans les zones les plus évoluées (base du fruit). Leur concentration est également plus forte à la périphérie qu'au coeur, excepté le p. coumaryl-quinique.

La distribution des cations minéraux, parmi lesquels K est le plus abondant, suit également des gradients très nets (figures 3 et 4). Dans le sens diamétral le calcium, toujours le moins concentré, augmente du coeur vers la périphérie. K et Mg évoluent symétriquement (figure 4).

Hétérogénéité entre fruits.

Dans une même parcelle l'hétérogénéité entre fruits peut être très importante. Elle est la résultante de nombreux facteurs. Les potentiels des différents rejets, même de poids identiques, varient très probablement en fonction des plants mères et de leur position sur ceux-ci. Le développement de leur système racinaire et principalement du premier flush, au cours des deux mois suivant la plantation, serait primordial pour déterminer l'hétérogénéité. Il conditionne l'efficacité d'absorption des éléments. La

croissance du fruit résulte des possibilités de remobilisation des éléments des organes végétatifs et de la capacité photosynthétique de ces derniers. Les variations de poids de fruit sont liées à la variation du nombre d'yeux qui est importante (64 à 128) même pour des plants dont le poids de la FD est relativement homogène ($61,3 \pm 10$ p. 100).

Sénescence et surmaturité.

Si le fruit n'est pas récolté lorsqu'il est totalement coloré, son évolution se poursuit. L'acidité devient très faible et la chair se ramollit ; des fermentations et des pourritures se développent. Cette évolution est caractéristique de la sénescence normale d'un fruit. Mais la chute d'acidité peut être plus précoce dans certaines conditions climatiques (reprise des pluies), la peau reste verte alors que la chair devient translucide et fermente. Il s'agit d'un phénomène de surmaturité (le «jaune» de l'ananas).

Le fruit est peu dense. La présence d'une cupule florale et de trois locules dans chaque oeil provoque une macroporosité d'autant plus importante que les fruits sont jeunes. Celle-ci est doublée de la microporosité des espaces intercellulaires qui se réduisent au cours de la sénescence ou du développement de la translucidité. La densité des fruits augmente et constitue donc un paramètre permettant d'éliminer les fruits jaunes ou sénescents.

La forte chute d'acidité des fruits translucides est liée à la nette régression des teneurs en chacun des acides organiques identifiés (citrique, malique, succinique, oxalique, cis et trans aconitiques). La perméabilité membranaire aux composés phénoliques, aux hydrolases et aux ions K et Mg est accrue. Par contre les structures cellulaires ne sont pas désorganisées et il n'est pas mis en évidence une influence du flux minéral.

INFLUENCE VARIETALE SUR CERTAINES CARACTERISTIQUES BIOCHIMIQUES DU FRUIT

La sélection et l'obtention par voie génétique de nouvelles variétés sont réalisées afin de diversifier la production. Cette sélection est basée sur des critères physico-chimiques. D'autres, d'ordre biochimique, peuvent permettre de l'affiner, en particulier l'arôme mais aussi les équilibres entre les différents sucres, la composition en acides organiques ... Une étude comparative des fruits des collections de l'IRFA en Martinique et en Côte d'Ivoire est entreprise dans ce sens.

Pour qu'une telle étude soit valable les fruits doivent avoir atteint un stade de maturation optimale permettant la révélation de leurs qualités propres. Pour l'ananas un tel stade est toujours délicat à déterminer puisque seul un état moyen peut être mesuré. Chez la Cayenne lisse, grâce aux très nombreuses observations réalisées, ce stade est assez bien fixé (couleur de la peau, rapport ESS/acidité libre ...). Pour les autres variétés des études préalables sont nécessaires pour suivre l'évolution des différents paramètres du mûrissement afin de les corrélés et de définir les critères facilement observables et caractéristiques de l'état tout en tenant compte de l'influence des conditions externes, de la variabilité des individus ...

Les premiers travaux sur sept variétés d'*Ananas comosus* issues de la collection de Martinique apportent quelques informations :

- Les fruits du groupe SPANISH (Red Spanish, Singapour Canning) ont le rendement le plus élevé en jus (63 p. 100 contre 35 à 56 p. 100 pour les 5 autres : Cayenne, Pernambuco Jupi et Pérola, Queen, Primavera).

- Dans tous les cas, comme pour la Cayenne lisse, la variation d'acidité libre d'une variété à l'autre ou entre individus d'une même variété, est essentiellement due à celle des teneurs en acide citrique, acide le plus abondant. Il représente 95 p. 100 de la masse des acides identifiés (oxalique, cis et trans aconitiques, succinique, malique, citrique).

- Les teneurs en acide ascorbique sont largement sous l'influence des variétés bien que l'état de mûrissement ait un certain effet.

- Le saccharose est toujours le sucre le plus abondant, quand le mûrissement est suffisamment avancé. Mais il est relativement moins important dans la variété PRIMAVERA (hybride brésilien d'*A. comosus*) que dans les autres. Les teneurs en fructose et glucose sont toujours voisines et varient peu au cours des dernières semaines à l'opposé du saccharose.

- Les teneurs relatives en constituants aromatiques volatils de l'espace de tête de la pulpe évoluent avec le mûrissement; certains d'entre eux apparaissent progressivement (figure 5). L'intensité de l'émission aromatique varie avec les groupes : ainsi des fruits de variété JUPI et PEROLA, appartenant tous deux au groupe PERNAMBUCO, dont la maturation est relativement avancée (ESS/acidité libre = 1,22 et 1,58) ont une très faible émission aromatique. La composition de l'arôme des fruits des variétés Singapour Canning et Queen Mc Gregor - dont le mûrissement est peu avancé (ESS/acidité = 0,96 et 0,85) - est plus complexe que celle des fruits plus mûrs de la sélection de Cayenne (figure 6). Les constituants sont retrouvés dans les autres variétés. Des différences aromatiques entre variétés peuvent être dues à la variation des proportions entre les composés principaux mais aussi à la présence ou non de constituants quantitativement moins importants.

UTILISATION DU 3CPA RETARDANT LE MURISSEMENT DES FRUITS

Il peut être avantageux de retarder le mûrissement des fruits afin de provoquer un accroissement de leur poids. L'acide 2-3-chlorophenoxypropionique (3CPA) appliqué précocement, à la fin de la floraison vraie, a un tel rôle auxinique. La récolte peut être décalée de 1 à 4 semaines en fonction des doses appliquées : 1 à 1,5 l/ha de produit (à 75 g de matière active par litre) ; les poids moyens des fruits peuvent s'accroître de 30 p. 100. Cependant leur translucidité peut être accrue.

L'apport de 3CPA retarde d'environ 5 jours l'évolution de l'ESS et de l'acidité libre dont le taux maximum est réduit de 12 à 10 meq p. 100. La réduction de ces taux est sensible dès le 130e jour après le TIF. Les teneurs du fructose et du glucose sont légèrement affectées mais la con-

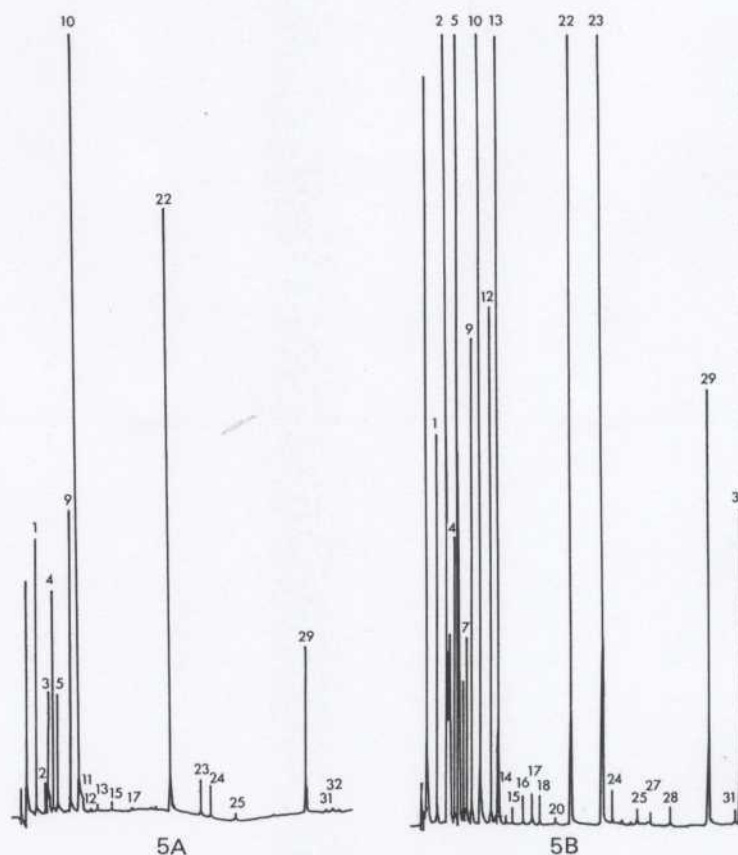


Fig. 5 • Influence de l'état de mûrissement des fruits sur l'émission aromatique de l'hybride brésilien BGA6, variété Primavera (*Ananas comosus*) cultivé en Martinique.

	5A	5B
ESS p. 100	13,8	14,0
Acidité libre (meq p. 100)	16,7	10,9
ESS/Acidité libre	0,83	1,28
Acide ascorbique (mg/100 ml)	17,2	17,0

FIGURES 5 et 6 - Identification de certains composés aromatiques constitutifs de l'arôme d'ananas (analyse de l'espace de tête).

Pic n°

1	acétate de méthyle
2	acétate d'éthyle
5	éthanol
7	isobutyrate d'éthyle
8	acétate de propyle + 2 pentanone
9	butyrate de méthyle
12	butyrate d'éthyle
14	acétate de butyle
17	acétate d'iso amyle + butyrate de propyle
29	cis 3 hexenol

Conditions chromatographiques.

- colonne 30 m DBWAX, diamètre : 0,32 mm.
- détection FID
- gaz vecteur helium 1,5 ml/mn
- température + injecteur 200°C
- + détecteur 210°C
- + programmation du four : - isotherme 2°C/mn de 30°C à 105°C
- isotherme 10°C/mn de 105°C à 200°C

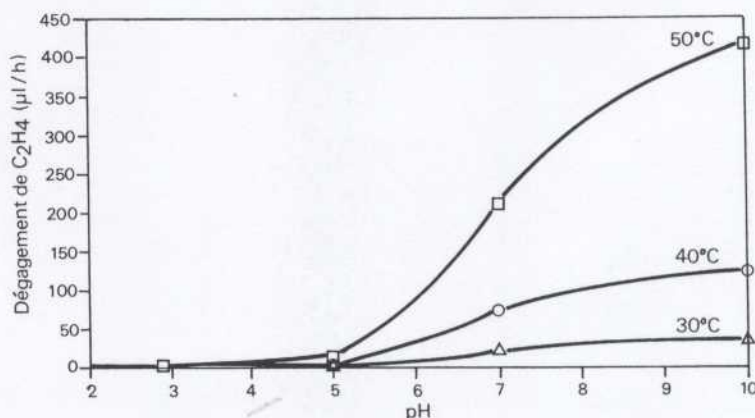


Fig. 7 • Influence du pH et de la température sur la dégradation *in vitro* de l'éthephon en éthylène.

TABLEAU 4 - Evolution de l'éthephon 48 h après le traitement d'un fruit.

VALEURS exprimées en mg d'éthephon	TEMOIN pas d'apport d'éthephon	Apport de 6 mg d'éthephon/fruit					
		à 23°C		à 43°C		à 50°C	
			p. 100 du total		p. 100 du total		p. 100 du total
Ethephon résiduel en surface de la peau	-	3.33	55.7	3.73	50.1	4.68	56.0
Ethephon absorbé par la peau	0.014	1.80	30.1	0.82	10.9	0.65	7.8
Ethephon sous forme d'éthylène gazeux dans l'atmosphère	0.040	0.85	14.2	2.92	39.0	3.03	36.2
Total	0.054	5.98		7.49		8.36	

Chez le témoin l'éthephon absorbé par la peau correspond à la fraction d'éthylène présent dans celle-ci.

ques (HARTMANN *et al.*, 1987) soit bloqué mais pas le système I seul actif chez les fruits non climactériques.

La dégradation de la chlorophylle est très probablement dépendante de la fraction d'éthylène formé restant dans la peau ; car un apport d'éthylène gazeux autour du fruit a peu d'influence sur sa coloration.

L'éthephon peut donc avoir une action sur la coloration par deux voies. D'une part par sa dégradation directe en éthylène ; d'autre part par son effet stimulant la production endogène. En période sèche et chaude le traitement est relativement inefficace ; la moindre réceptivité du fruit à l'éthylène pourrait être la conséquence d'une modification du métabolisme de la plante liée à ces conditions de stress. L'absorption et la dégradation sont comparables sur des fruits mûrs ou immatures ; cependant l'action de l'éthylène sur la coloration de la peau de ces derniers est plus lente ou incomplète. Ces résultats indiquent un état récepteur, vis-à-vis de l'éthylène, différent en fonction de l'état et de l'âge physiologique des plants et des fruits. L'ajout de produits pouvant favoriser l'absorption de l'éthephon (TRITON X 100 ou EXELL) a plutôt une influence négative.

CONCLUSION

Les connaissances sur la physiologie et la biochimie du mûrissement de l'ananas sont encore incomplètes. L'hétérogénéité du fruit complique les études. Le rôle et même l'identification de différentes fonctions et des réactions enzymatiques n'ont pas été totalement étudiés.

L'accroissement d'activité des polygalacturonases responsables de la dégradation des parois cellulaires, environ 18 semaines après le TIF, paraît indiquer le début du mûrissement. Il coïncide avec une augmentation du taux d'éthylène endogène qui reste toujours faible ; mais leurs relations n'ont pas été démontrées. La translucidité entraîne certaines modifications d'activités, de composition, sans cependant qu'une relation de cause à effet soit mise en évidence.

Par l'utilisation de certains produits il est possible de contrôler le grossissement et la coloration du fruit. Ces produits entraînent des modifications métaboliques. Elles peuvent altérer la qualité des fruits si ces techniques sont pratiquées sans une bonne connaissance de la plante et de son cycle.

BIBLIOGRAPHIE

Documents présentés à la Réunion annuelle,
exploités dans cette synthèse.

- SOLER (A.). 1990.
Avantages et limites d'utilisation du 3CPA (ac. 2.3 chlorophenoxy-propionique) en culture d'ananas.
Doc. R.A. n° 24, 11 p.
- SOLER (A.). 1990.
L'éthylène dans le fruit de l'ananas.
Doc. R.A. n° 26, 11 p.
- SOLER (A.). 1990.
Coloration artificielle de l'ananas : quelques caractéristiques de la transformation de l'éthéphon (ac. 2. chloroethyl phosphonique) en éthylène *in vitro* et *in vivo*.
Doc. R.A. n° 27, 13 p.
- SOLER (A.). 1990.
Etudes de quelques caractéristiques de la maturation de l'ananas.
Doc. R.A. n° 36, 14 p.

Bibliographie sommaire

- BARTHOLOMEW (D.P.) and PAULL (R.E.). 1986.
The pineapple. Handbook of fruit set and development.
Monselise S.P. ed., CRC Press, 371-388.
- BEAUDRY (R.) and KAYS (S.). 1987.
Effects of environmental factors on the release kinetics of ethylene from 2. chloroethyl phosphonic acid and 2. chloroethyl. methyl bis phenylmethoxy silane.
J. Am. Soc. Hort. Sci., 112 (2), 352-359.
- DIEUDONNE (G.). 1977.
Les dérivés hydrocinnamiques de l'*Ananas comosus*, variété Cayenne lisse (Côte d'Ivoire) et leurs relations avec le brunissement interne.
Thèse (Paris VI), 149 p.
- HARTMANN (C.), DROUET (A.) and MORIN (T.). 1987.
Ethylene and ripening of apple, pear and cherry fruit.
Plant Physiol. Biochem., 25 (4), 505-512.
- KLEIN (I.), LAVÉE (S.) and BENTAL (Y.). 1979.
Effect of water vapor pressure on the thermal decomposition of 2. chloroethylphosphonic acid.
Plant Physiol., 63, 474-472.
- YANG (S.) and YU (Y.). 1979.
Auxin induced ethylene production and its inhibition by amino-ethoxyvinylglycine and cobalt ion.
Plant Physiol., 64, 1074-1072.