



MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE

P O L Y N E S I E F R A N Ç A I S E

N° 101 / IAA /SDR

SERVICE DU DEVELOPPEMENT RURAL  
DEPARTEMENT IAA

PAPARA, le 08 avril 2003

# « Ananas Queen Tahiti »

## Rapport de synthèse

Etude relative au brunissement interne de l'ananas Queen Tahiti : mise  
en évidence des facteurs de variations et rôle de la teneur en acide  
ascorbique des fruits.  
( du 05.11.2001 au 05.08.2002)

-----  
Par Corinne LAUGROST  
-----

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	3
I- MATERIELS ET METHODES .....	4
1 – MATERIEL VEGETAL D’ESSAI	4
2 – MILIEU NATUREL	4
3 – PROTOCOLE EXPERIMENTAL	5
4 – SUIVI EXPERIMENTAL	5
4.1- Caractéristiques physiques externes .....	5
4.2- Caractéristiques internes .....	5
5 – TRAITEMENT STATISTIQUE	6
II- RESULTATS .....	6
1 – VARIATIONS SELON L’ORIGINE DES FRUITS RECOLTES	6
2 – VARIATIONS SAISONNIERES	8
3 – BI ET COMPOSITION DES FRUITS EN VITAMINE C	12
III- DISCUSSION .....	14
CONCLUSION .....	17
BIBLIOGRAPHIE .....	17

**Etude relative au brunissement interne de l'ananas Queen Tahiti : mise en évidence des facteurs de variations et rôle de la teneur en acide ascorbique des fruits.**

**( du 05.11.2001 au 05.08.2002)**

## **INTRODUCTION**

Les essais de conservation menés sur l'ananas Queen Tahiti par le DIAA durant l'année 2000 ont soulevé un certain nombre de problèmes liés essentiellement à l'hétérogénéité de la production sur l'île de Tahiti mais aussi au développement de symptômes sévères de brunissement interne (BI) lorsque les fruits sont réfrigérés. Rappelons que ce sont par ailleurs ces mêmes problèmes qui sont à la base de l'échec de la tentative d'exportation du fruit vers les USA en 1989. Les autres pays producteurs de cultivars Queen ne semblent pas épargnés par le problème du BI qu'ils compensent actuellement par une exportation avion de leurs fruits sans réfrigération (Kruger et al, 2000).

Bien que nos essais aient apporté quelques éléments de réponse en matière de température de stockage et de stade de maturité des fruits à la récolte, l'insuffisance des données recueillies ne permet pas d'expliquer de manière satisfaisante les différences de sensibilité au désordre observées entre producteurs et selon la saison. Nous retiendrons que certaines productions, moins sensibles au brunissement interne des fruits induit par la basse température de stockage, présentent une meilleure aptitude à la conservation et que cette aptitude semble meilleure en saison des pluies (rapports 264/IAA.DR du 31.10.2000, 76/IAA.DR du 26.03.2001 et 115/IAA.DR du 10.05.2001).

Le brunissement interne (BI) se manifeste par une altération brunâtre de la chair du fruit qui débute à proximité du cœur ; c'est un désordre physiologique induit par le froid mais faisant intervenir 2 facteurs thermosensibles, l'un sensibilisant le fruit, l'autre permettant l'expression des symptômes. Le premier s'intensifie lorsque la température diminue et le second quand elle augmente. On ne parle pas de « chilling injury », l'induction des processus de brunissement pouvant se faire à des températures relativement élevées (< 21°C)). Le processus mis en cause dans le BI de l'ananas est une activité polyphénoloxydase (PPO) : oxydation des composés phénoliques en o-quinones puis en composés mélanoides bruns. La phase d'induction au froid permet l'accumulation de substrats (polyphénols) mais aussi la synthèse et l'activation des enzymes responsables de la réaction (Van Lelyveld et De Bruyn, 1977). L'acide ascorbique présent dans le fruit étant un inhibiteur naturel des réactions d'oxydation, il pourrait jouer un rôle important comme frein naturel au développement du BI. Cependant aucune étude n'a permis pour l'instant d'établir une corrélation satisfaisante entre la teneur en vitamine C des fruits et leur résistance au désordre, les variations à la coupe étant généralement trop faibles pour expliquer à elles seules les différences de sensibilité observées (Teisson et al, 1979 ; Pimpimol et Siriphanich, 1993 ; Dahler et al, 2002). Cependant, dans certains cas, comme celui du Cayenne lisse en Côte d'Ivoire, les variations des teneurs initiales en vitamine C de la pulpe des fruits semblent pouvoir expliquer le fait que le BI soit un phénomène saisonnier (Teisson et al, 1979). Dans ces conditions particulières, l'amélioration de la nutrition potassique peu avant l'induction florale semble pouvoir diminuer le phénomène par sa tendance à augmenter la composition du fruit en acide ascorbique. Selon certains auteurs, la potasse pourrait également avoir un effet dépressif sur les activités phénoloxydases responsables des brunissements (Pandalai et Nagarajan, 1972). Dans le cadre de ses travaux visant l'amélioration de la filière ananas en Polynésie française (Contrat de développement 94-98), le département de la Recherche Agronomique du SDR préconise également l'amélioration de la fumure potassique comme moyen de lutte contre le « cœur noir »(Garnier, 1999). Une formulation fertilisante spécifique à l'ananas Queen Tahiti a ainsi été élaborée pour la Polynésie ; elle permettrait d'augmenter les taux d'acide ascorbique dans les fruits avec pour conséquence une réduction sensible des processus de brunissement (Garnier, 1999). Les résultats chiffrés de ces travaux ne sont cependant pas accessibles et ne permettent pas de conclure quant à l'impact réel des modalités de fertilisation sur l'augmentation du taux en vitamine C et sur son éventuel effet sur le développement du BI. Il semble d'autre part que ces travaux aient concerné le BI au champ et non son développement post-récolte.

La composition en vitamine C des fruits récoltés pourrait donc être un des éléments permettant d'expliquer les variations observées dans leur sensibilité au désordre lors de nos essais. Il existe cependant d'autres facteurs de sensibilisation. Outre des facteurs variétaux, les facteurs de sensibilisation du fruit au BI sont liés pour une grande part au développement du fruit, à son poids et à sa maturité au moment de la récolte (Teisson et Combres, 1979). Les fruits sont ainsi d'autant plus sensibles au BI qu'ils sont plus verts, plus gros, moins riches en sucres et en acidité. Ces facteurs de sensibilisation des fruits au BI sont également liés aux conditions climatiques intervenant sur les deux derniers mois de la phase de fructification (Teisson et Combres, 1979; Wassman, 1990). La climatologie de cette période pourrait même être prépondérante pour les fruits présentant une teneur en vitamine C élevée.

Conscient de la complexité des facteurs mis en cause dans les processus de BI, le DIAA a présenté en mai 2001 un projet d'étude relatif au problème et visant à en déterminer les causes sur l'île de Tahiti (129/IAA.SDR du 30.05.2001). Les départements et secteurs contactés (DAG, DRA et 1<sup>er</sup> secteur) n'ayant pas émis de réserve sur ce projet, l'étude a débuté, comme prévue initialement, en novembre 2001. Outre le suivi de l'évolution saisonnière des phénomènes de « cœur noir » de l'ananas Queen Tahiti sur différentes plantations de Tahiti, un point particulier de cette étude a été consacré à la mise en évidence d'une éventuelle relation entre la teneur en vitamine C des fruits récoltés et leur sensibilité au désordre.

## **I- MATERIELS ET METHODES**

### **1 – Matériel végétal d'essai**

Les prélèvements de fruits pour essais ont été réalisés sur l'île de Tahiti sur 3 plantations situées respectivement à Vaiaro, Toahotu et Hitia'a et présentant les caractéristiques suivantes :

- Vaiaro : propriété de M. Van Bastolaire, plantation d'âge indéfini, partiellement à l'abandon (absence de fertilisation, de défrichage et d'induction florale).
- Toahotu : propriété de M. Afo, prélèvements effectués sur des parcelles de 1<sup>ère</sup> plantation, fertilisation à l'engrais complet (12.12.17.2) et traitement d'induction florale.
- Hitia'a : propriété de M. Coppenrath, prélèvements effectués sur des parcelles de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> plantation, fertilisation à base d'engrais complet (1/2) et de lisiers de porc (1/2), traitement d'induction florale.

La fréquence bimestrielle des prélèvements prévue initialement sur chacune des 3 plantations n'a été respectée que sur la propriété Coppenrath. Cependant le producteur ayant dû pour raison de santé déléguer l'entretien de ses plantations de décembre à juin, ce changement a entraîné des modifications sensibles des pratiques culturales appliquées dont il nous faudra tenir compte dans l'analyse de nos résultats (en particulier arrêt de la fertilisation durant cette période).

### **2 – Milieu naturel**

L'île de Tahiti, située au 17°33' de latitude sud, bénéficie d'un climat de type tropical humide sous l'influence prédominante des alizés. On distingue généralement une saison chaude ou saison des pluies, allant de décembre à mars, et une saison fraîche ou sèche, allant de juin à septembre.

Les plantations suivies sont situées sur des planèzes à environ 150m d'altitude avec pour conséquence une accentuation des maxima et des minima de températures par rapport à ceux relevés en bord de mer. D'autre part, ces planèzes étant situées sur les côtes au vent et bénéficiant des effets orographiques, les précipitations y sont plus importantes ( 1340 mm à Faa'a contre 2400 mm sur la Presqu'île et 4000 mm à Hitia'a entre septembre 2001 et août 2002). L'ensoleillement potentiellement important toute l'année (7 à 8/h/jour) est fortement modulé par la pluviométrie.

### 3 – Protocole expérimental

Chaque essai a porté sur 200 fruits répartis en 4 lots en fonction de la coloration de leur peau (50 fruits/niveau de maturité apparente). Le protocole expérimental suivi pour chaque prélèvement a été le suivant :

- 15 fruits /maturité ont été immédiatement analysés pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques du matériel végétal d'essai et le degré de maturité réelle des fruits: poids, coloration, acidité titrable libre, vitamine C, brix, qualité gustative.
- 5 fruits/maturité sont immédiatement entreposés à 25°C afin de vérifier après 4 jours l'absence de symptômes de brunissement interne.

Les 30 fruits restants par maturité apparente sont entreposés à 10°C pour une période de 15 jours. A la fin du stockage réfrigéré, chaque lot est séparé en deux :

- 15 fruits sont immédiatement analysés : caractéristiques physico-chimiques, indice de brunissement interne et qualité gustative.
- 15 fruits sont entreposés à 25°C et réévalués de la même façon après 4 jours.

Le choix du régime thermique appliqué aux fruits s'est fait sur la base de la capacité d'une telle alternance thermique(10/25°C) à induire des symptômes sévères de « cœur noir » sur les cultivars d'ananas du groupe Queen (Smith, 1983).

### 4 – Suivi expérimental

#### 4.1- Caractéristiques physiques externes

La maturité apparente des fruits est définie par rapport à leur coloration extérieure : 0, fruit vert ; 1, coloration jaune inférieure à 25% de la hauteur ; 2, coloration jaune comprise entre 25 et 50% ; 3, coloration jaune supérieure à 50%.

Les pertes de poids sont établies par pesée ; l'acceptance visuelle des fruits est notée sur une échelle de 1 à 5 où 5 représente le fruit fraîchement cueilli, 3 la limite acceptable pour la commercialisation et 1 le fruit invendable.

#### 4.2- Caractéristiques internes

▪ Indice de brunissement interne : Le nombre total de fruits présentant le désordre a été comptabilisé (incidence en %) et la sévérité des symptômes développés (intensité) a été notée sur une échelle de 1 à 4: 1, absence ; 2, modérée ; 3, moyenne (limite) et 4, sévère (photo ci-dessous). L'indice de BI évaluant le désordre a été calculé pour chaque lot en tenant compte à la fois de la sévérité des symptômes développés (S) et du nombre de fruits affectés (n) :

Indice de BI =  $\Sigma (1 \text{ à } N) \quad n \cdot S / N$  N : nombre total de fruits.



BI modéré (2)

BI moyen (3)

BI sévère (4)

Intensité du BI développé : échelle de notation

▪ Caractéristiques chimiques : la teneur en solides solubles totaux (TSS) est mesurée directement par réfractométrie sur le jus obtenu par centrifugation et s'exprime en °brix. L'acidité totale est dosée sur 10 ml de jus par potentiométrie jusqu'à pH 8.2 et est exprimée en meq/100 ml de jus. L'acide ascorbique est dosé par méthode titrimétrique au 2-4dichlorophénolindophénol (oxydo-réduction) et exprimé en mg/100 ml de jus.

- Qualité gustative : test hédonique sur jury non entraîné : échelle de préférence allant de -4 à 4.

## 5 – Traitement statistique

Le traitement statistique des données physico-chimiques a été réalisé par analyse de variance suivi pour la discrimination d'un test de la PPDS à 5%.

Pour ce qui concerne le traitement des données relatives au BI, le test de rang de Kruskal-Wallis a été utilisé suivi d'un test non paramétrique de comparaisons multiples à 5%.

Les coefficients de corrélation calculés sont des coefficients de rang de Spearman, la signification statistique de la corrélation a été chaque fois déterminée.

## II- RESULTATS

### 1 – Variations selon l'origine des fruits récoltés

Les premiers résultats obtenus en novembre 2001 montrent une forte sensibilité de l'ananas Queen Tahiti au brunissement interne avec 95% de fruits affectés par le désordre en fin d'essai (15 jours à 10°C suivi de 4 jours à 25°C) et ce, quelle que soit l'origine des fruits récoltés. La sévérité des symptômes développés varie cependant avec le degré de maturité du fruit à la récolte et leur origine (Tableau I).

Catégorie de fruits		Acidité titrable meq /100 ml	Acide ascorbique mg/100ml	p. 100 fruits sévèrement atteints <sup>1</sup>	Indice deBI final <sup>2</sup>
Producteur	Maturité apparente				
Coppentrath	0	10.79 <sup>a</sup>	21.7	75.0	3.4 <sup>ab</sup>
	1	11.35 <sup>b</sup>	23.2	91.0	3.5 <sup>b</sup>
	2	10.77 <sup>a</sup>	22.9	30.0	3.1 <sup>a</sup>
	3	10.66 <sup>a</sup>	19.3	0	2.8 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	*
Afo	0	7.70 <sup>a</sup>	20.8	100	3.6 <sup>ab</sup>
	1	10.28 <sup>b</sup>	23.1	100	3.8 <sup>b</sup>
	2	10.13 <sup>b</sup>	21.5	65.0	3.5 <sup>a</sup>
	3	10.05 <sup>b</sup>	22.7	25.0	2.8 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	*
Van Bastolaire	0	11.33 <sup>a</sup>	24.6	55.0	3.2 <sup>ab</sup>
	1	11.75 <sup>ab</sup>	26.6	67.0	3.4 <sup>b</sup>
	2	13.20 <sup>b</sup>	27.1	21.0	2.6 <sup>a</sup>
	3	12.26 <sup>ab</sup>	27.7	0	2.4 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	*

**Tableau I :** Brunissement interne en fonction de l'origine des fruits récoltés et de leur maturité ; Récolte en novembre 2001.

<sup>a, b, c</sup> dans la même colonne, groupes significativement différents à p= 0.05.

<sup>1</sup> fruits présentant un score de BI final > 3.0.

<sup>2</sup> score de BI obtenu après 15 jours d'entreposage à 10°C et 4 jours à 25°C (1 absence ; 2 modéré ; 3 limite ; 4 sévère).

L'intensité du désordre passe par un maximum au moment où le fruit commence à se colorer extérieurement (maturité apparente égale à 1) et diminue significativement pour des stades de maturité plus avancés. La corrélation calculée entre BI final et maturité apparente est de -0.58 sur l'ensemble des données recueillies ce qui traduit une relation étroite entre les 2 paramètres compte tenu de la diversité des facteurs intervenant. Nos observations montrent que le maximum de sensibilité du fruit au BI correspond à son maximum d'acidité ou, comme dans le cas des fruits récoltés chez M. Van Bastolaire, au moment où le fruit atteint sa plage d'acidité maximale. Au vu de ces premiers résultats, la sensibilité des fruits au désordre n'apparaît pas liée à leur teneur initiale en vitamine C, les taux d'acide ascorbique mesurés à la récolte ne présentant aucune différence significative en fonction de la maturité initiale des fruits (Tableau I).

Les résultats obtenus en février 2002 confirment l'indépendance apparente des 2 variables (vitamine C et BI final) avec la mise en évidence d'une diminution parallèle de la teneur en vitamine C et de la sensibilité du fruit au désordre lorsque sa maturité au moment de la coupe augmente (Tableau II). Le brunissement interne de l'ananas Queen Tahiti après réfrigération apparaît donc davantage lié au développement du fruit à la récolte qu'à sa composition en vitamine C. Les variations observées en terme de BI final résulteraient donc plus probablement de modifications métaboliques du fruit en fonction de sa maturité et en relation avec les mécanismes d'induction du désordre que dans la capacité de la vitamine C à contrecarrer les oxydations phénoliques, les teneurs initiales relevées apparaissant dans tous les cas insuffisantes.

Maturité à la récolte	Producteurs			
	Afo		Coppentrath	
	Taux initial de vitamine C mg/100 ml	Indice de BI final <sup>1</sup>	Taux initial de vitamine C mg/100 ml	Indice de BI final <sup>1</sup>
0	20.9 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	-	-
1	20.6 <sup>a</sup>	3.4 <sup>b</sup>	20.6 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>
2	20.3 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	19.8 <sup>b</sup>	3.1 <sup>ab</sup>
3	17.6 <sup>b</sup>	2.9 <sup>a</sup>	19.8 <sup>b</sup>	2.6 <sup>b</sup>
4	16.1 <sup>b</sup>	1.8 <sup>c</sup>	17.9 <sup>c</sup>	1.9 <sup>c</sup>

**Tableau II :** Brunissement interne en fonction de l'origine des fruits récoltés et de leur maturité ; Récolte en février 2002.

<sup>a, b, c</sup> dans la même colonne, groupes significativement différents à p= 0.05.

<sup>1</sup> score de BI obtenu après 15 jours d'entreposage à 10°C et 4 jours à 25°C (1 absence ; 2 modéré ; 3 limite ; 4 sévère).

L'incidence et l'intensité des désordres observés fluctuent également entre producteurs ; On note ainsi en novembre 2001 que les fruits issus des plantations Coppentrath et Afo sont plus largement et plus sévèrement affectés par le BI que ceux produits chez M. Van Bastolaire. Ces différences de sensibilité au désordre s'accompagnent de différences significatives dans les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques mesurées avec, chez M. Van Bastolaire, :

- la production de fruits de petits calibres avec un poids moyen des fruits de 1 kg contre 1.2 kg chez M. Afo et 1.5 kg chez M. Coppentrath,
- une déviation de la correspondance maturité interne/coloration externe des fruits avec un retard de la maturation réelle du fruit par rapport à sa coloration extérieure (Tableau III),
- une réduction de la transpiration post-récolte des fruits avec des pertes de poids significativement réduites durant le stockage (résultats non reportés),
- une composition chimique du fruit caractérisée par une teneur en acidité plus élevée, un taux significativement plus élevé de vitamine C à maturité mais surtout une teneur en solides solubles totaux (TSS) plus importante (Tableau III),
- une qualité gustative significativement supérieure (Tableau III).

Maturité apparente	Coppentrath			Afo			Van Bastolaire		
	Maturité interne <sup>1</sup>	Qualité gustative <sup>2</sup>	TSS °brix	Maturité interne <sup>1</sup>	Qualité gustative <sup>2</sup>	TSS °brix	Maturité interne <sup>1</sup>	Qualité gustative <sup>2</sup>	TSS °brix
0	2.6	1.8	13.8 <sup>a</sup>	2.5	1.9	14.3 <sup>a</sup>	2.1	2.1	14.7 <sup>a</sup>
1	2.8	1.9	14.2 <sup>a</sup>	2.7	2.2	14.5 <sup>a</sup>	2.3	2.3	16.8 <sup>b</sup>
2	3.0	2.0	14.8 <sup>b</sup>	2.9	2.3	14.9 <sup>ab</sup>	2.5	2.5	17.4 <sup>bc</sup>
3	3.1	2.1	15.2 <sup>b</sup>	3.0	2.5	15.1 <sup>b</sup>	2.7	2.7	17.8 <sup>c</sup>

**Tableau III :** Caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques des fruits récoltés en fonction de leur origine et de leur maturité ; Récolte en novembre 2001.

<sup>a, b, c</sup> dans la même colonne, groupes significativement différents selon le test de la plus petite différence significative à p= 0.05.

<sup>1</sup> selon échelle de notation à la dégustation où 3 est l'indice de maturité optimale (2.5 : mi-mûr)

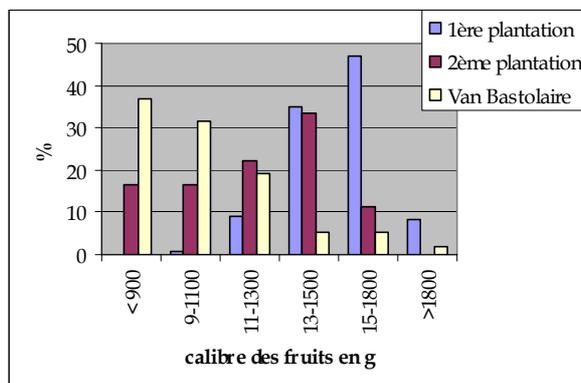
<sup>2</sup> échelle de notation de -4 à +4 où 1 représente la limite d'acceptabilité gustative.

Ces différences marquées quant à la qualité et au comportement post-récolte des ananas produits chez M. Van Bastolaire peuvent être en partie reliées au choix de modalités de production particulières chez ce dernier, à savoir :

- absence totale de fertilisation en opposition à une fertilisation azotée importante chez M. Copenrath ou M. Afo,
- système de production en cycles naturels sans replantation ni induction chimique de la floraison avec pour conséquence des plantations d'ananas âgées et denses.

La réduction des apports en azote associée à l'augmentation de la densité de la plantation peut expliquer le faible calibre des fruits récoltés chez M. Van Bastolaire.

En novembre 2001, les essais réalisés chez M. Copenrath ont permis de mettre en évidence une diminution significative du poids moyen des fruits issus de 2<sup>nd</sup> plantation par rapport à ceux de 1<sup>ère</sup> plantation (Figure 1).



**Figure 1** : Répartition du calibre des fruits en fonction de l'âge de la plantation. Copenrath, novembre 2001.

Il a également été observé lors de ces essais que l'indice de BI final diminuait avec le poids moyen des ananas récoltés et ce, en particulier pour les fruits de très gros calibre (Tableau IV). Cependant, cette diminution, non associée à une baisse de l'incidence du désordre dans les lots de fruits réfrigérés, ne traduit pas une baisse de sensibilité des fruits au BI mais une moindre sévérité des symptômes développés. Contrairement à la sensibilité globale des fruits au désordre, l'intensité de ce dernier semble associée à une augmentation des teneurs en acidité titrable et en acide ascorbique des fruits.

Catégorie de fruits		Acidité titrable meq /100 ml	Acide ascorbique mg/100ml	p. 100 fruits atteints	Indice de BI final <sup>1</sup>
Poids g	Maturité apparente				
1100-1300	1	11.25	29.7	100	3.0
	2	10.38	26.6	100	2.8
	3	9.96	24.1	100	2.6
> 1800	1	9.79	20.0	100	3.6
	2	9.43	17.2	100	3.4
	3	8.66	16.4	100	3.2

**Tableau IV** : Brunissement interne en fonction du calibre des fruits récoltés et de leur maturité ; Copenrath, novembre 2001.

<sup>1</sup> score de BI obtenu après 15 jours d'entreposage à 10°C et 4 jours à 25°C (1 absence ; 2 modéré ; 3 limite ; 4 sévère).

## 2 – Variations saisonnières

Les résultats obtenus à partir des prélèvements effectués chez M. Copenrath montrent d'importantes fluctuations du BI en fonction de la date de récolte et ce, tant au niveau de l'incidence du désordre que de la sévérité des symptômes développés (Tableau V). Les phénomènes de BI sont plus fréquents et plus sévères en milieu et en fin de saison sèche (juin à novembre); ils diminuent en saison des pluies (décembre à mai). Le désordre apparaît minimum dans les fruits récoltés en fin de saison chaude (mai). Les 2 prélèvements effectués chez M. Afo en novembre 2001 et février 2002 confirment ces résultats (Tableau VI).

Catégorie de fruits		Acidité titrable meq /100ml	Acide ascorbique mg/100ml	p. 100 fruits sévèrement atteints <sup>1</sup>	Indice de BI final <sup>2</sup>
Date de récolte	Maturité apparente				
Novembre 2001	0	10.79 <sup>a</sup>	21.7	65.0	3.4 <sup>ab</sup>
	1	11.35 <sup>b</sup>	23.2	91.0	3.5 <sup>b</sup>
	2	10.77 <sup>a</sup>	22.9	30.0	3.1 <sup>a</sup>
	3	10.66 <sup>a</sup>	19.3	0	2.8 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	*
Février 2002	0	6.88 <sup>a</sup>	18.6	31	3.1 <sup>ab</sup>
	1	7.69 <sup>b</sup>	19.8	70	3.4 <sup>b</sup>
	2	7.14 <sup>a</sup>	19.8	25	2.6 <sup>a</sup>
	3	7.24 <sup>a</sup>	17.9	0	2.0 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	***
Mai 2002	0	10.60 <sup>a</sup>	23.6	20	2.4 <sup>ab</sup>
	1	10.98 <sup>b</sup>	25.0	20	2.5 <sup>b</sup>
	2	10.87 <sup>ab</sup>	24.6	11	2.4 <sup>ab</sup>
	3	10.71 <sup>b</sup>	23.1	0	2.1 <sup>a</sup>
	4	10.69 <sup>b</sup>	25.0	0	1.8 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	*
Août 2002	0	9.21 <sup>a</sup>	22.6	100	3.8 <sup>a</sup>
	1	7.57 <sup>b</sup>	22.3	55	3.5 <sup>ab</sup>
	2	7.48 <sup>b</sup>	19.6	33	3.1 <sup>bc</sup>
	3	7.67 <sup>b</sup>	19.1	11	2.9 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	***

**Tableau V :** Brunissement interne en fonction de la date de récolte et de la maturité apparente des fruits ; Propriété Coppentrath.

<sup>a, b, c</sup> dans la même colonne, groupes significativement différents à p= 0.05.

<sup>1</sup> fruits présentant un score de BI final > 3.0.

<sup>2</sup> score de BI obtenu après 15 jours d'entreposage à 10°C et 4 jours à 25°C (1 absence ; 2 modéré ; 3 limite ; 4 sévère).

Catégorie de fruits		Acidité titrable meq /100 ml	Acide ascorbique mg/100ml	p. 100 fruits sévèrement atteints <sup>1</sup>	Indice de BI final <sup>2</sup>
Date de récolte	Maturité apparente				
Novembre 2001	0	7.70 <sup>a</sup>	20.8	100	3.6 <sup>ab</sup>
	1	10.28 <sup>b</sup>	23.1	100	3.8 <sup>b</sup>
	2	10.13 <sup>b</sup>	21.5	65	3.5 <sup>a</sup>
	3	10.05 <sup>b</sup>	22.7	25	2.8 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	ns	***	*
Février 2002	0	8.99 <sup>a</sup>	20.9 <sup>a</sup>	36	3.0 <sup>a</sup>
	1	9.78 <sup>b</sup>	19.6 <sup>a</sup>	75	3.4 <sup>b</sup>
	2	9.56 <sup>b</sup>	20.3 <sup>a</sup>	25	3.0 <sup>a</sup>
	3	9.35 <sup>ab</sup>	17.6 <sup>b</sup>	2.0	2.3 <sup>c</sup>
<i>Signification du test</i>		*	*	***	***

**Tableau VI :** Brunissement interne en fonction de la date de récolte et de la maturité apparente des fruits ; Propriété Afo.

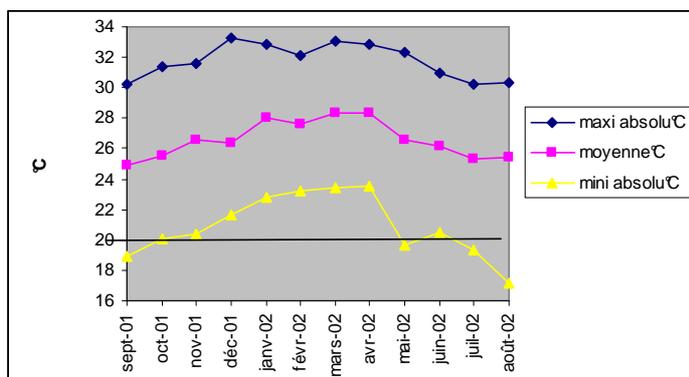
<sup>a, b, c</sup> dans la même colonne, groupes significativement différents à p= 0.05.

<sup>1</sup> fruits présentant un score de BI final > 3.0.

<sup>2</sup> score de BI obtenu après 15 jours d'entreposage à 10°C et 4 jours à 25°C (1 absence ; 2 modéré ; 3 limite ; 4 sévère).

La période de forte sensibilité des fruits au BI se caractérise globalement par une amplitude thermique jour/nuit élevée (11 à 13°C), une faible pluviométrie (100 à 200 mm/mois), un rayonnement solaire global croissant jusqu'au solstice d'été (décembre) et une insolation importante (Tableau VII). A contrario, la saison de moindre sensibilité au désordre est marquée par des pluies abondantes entraînant une réduction sensible de la durée journalière

d'insolation, un rayonnement solaire global décroissant jusqu'au solstice d'hiver (juin) et une thermopériode journalière réduite (exception faite du mois de mai). Le régime thermique annuel est marqué par un fort abaissement de la température nocturne durant la saison sèche (mai à novembre) avec des minima compris entre 17 et 21°C (Figure 2). Rappelons que ces températures ont été relevées à la station météo de Faa'a et qu'elles sont au moins supérieures de 1 ou 2°C à celles qui auraient pu être mesurées sur les planètes d'Hitia'a ou de Taravao (interrogation Météo France).



d'insolation, un rayonnement solaire global décroissant jusqu'au solstice d'hiver (juin) et une thermopériode journalière réduite (exception faite du mois de mai). Le régime thermique annuel est marqué par un fort abaissement de la température nocturne durant la saison sèche (mai à novembre) avec des minima compris entre 17 et 21°C (Figure 2). Rappelons que ces températures ont été relevées à la station météo de Faa'a et qu'elles sont au moins supérieures de 1 ou 2°C à celles qui auraient pu être mesurées sur les planètes d'Hitia'a ou de Taravao (interrogation Météo France).

	Novembre 2001	Février 2002	Mai 2002	Août 2002
Pluviométrie en mm <sup>1</sup>	252.7	448.6	430.6	159.1
Température moyenne °C <sup>2</sup>	26.6	27.6	26.6	25.4
Température maximale °C <sup>2</sup>	31.6	32.1	32.3	30.3
Température minimale °C <sup>2</sup>	20.4	23.2	19.7	17.1
Thermopériode °C	11.2	8.9	12.6	13.2
Insolation h/jour <sup>2</sup>	8.0	7.6	8.0	9.0
Rayonnement global dJ/cm <sup>2</sup> /jour <sup>2</sup>	222	197	158	186

**Tableau VII :** Données météorologiques relevées sur la période d'essai

Source : Météo France, Direction interrégionale de Polynésie française

<sup>1</sup> station Hitia'a

<sup>2</sup> station Faa'a

L'analyse sommaire des conditions climatiques relevées au cours de notre étude montre que celles-ci favorisent en période sèche le déplacement des phénomènes respiratoires de l'ananas vers son métabolisme crassulacéen (CAM). L'ananas présente en effet la particularité de pouvoir s'adapter à des environnements défavorables, et en particulier à des régimes hydriques irréguliers, au moyen de son métabolisme mixte, mésophytique et crassulacéen (fixation de CO<sub>2</sub> la nuit). La limitation des pertes en eau du fruit se fait par déplacement vers le CAM de l'équilibre entre les différentes voies photosynthétiques dès que les facteurs climatiques évoluent vers une plus grande sécheresse, une plus grande amplitude thermique ou une augmentation de la nuit. La durée du jour ne semble cependant intervenir sur le métabolisme du fruit que par l'intermédiaire de son impact sur le rayonnement solaire global, lui-même fortement dépendant de la durée de l'insolation (Herzog et al, 1999; Cushman, 2001). A nos latitudes, la durée d'insolation étant étroitement corrélée au régime pluviométrique, ce dernier facteur devient prépondérant dans la détermination du rayonnement solaire global et donc, dans la balance des différentes voies métaboliques de l'ananas.

Le déplacement des phénomènes respiratoires de l'ananas d'une voie métabolique à l'autre en fonction des conditions climatiques explique les fluctuations importantes observées de sa composition en acides organiques (Tableau V). Ces variations s'expliquent d'une part par le mode de régulation du niveau des acides dans le fruit et d'autre part par la rapidité des processus intervenant :

- la régulation du niveau d'acides dans le fruit se fait en fonction de leur consommation au cours des phénomènes respiratoires. En conditions de CAM strict, les acides organiques accumulés dans la nuit sont décarboxylés le jour pour produire le CO<sub>2</sub> nécessaire aux réactions photosynthétiques d'où une baisse d'acidité (Borland et al, 1998; Haagkerwer et al, 1996).

La reprise du métabolisme mésophytique le jour, quand les conditions climatiques le permettent, améliore la teneur en acidité des fruits, celle-ci étant maximale quand les conditions climatiques évoluent en faveur d'une succession jour/nuit des 2 métabolismes (décembre par exemple). Des études ont montré que la teneur en acidité titrable du fruit était principalement corrélée à la température de sa pulpe, elle-même dépendante du rayonnement solaire global et surtout de la durée d'insolation (Teisson et Combres, 1979). Différentes expériences ont montré qu'en conditions d'insolation maximale, la température de la pulpe du fruit pouvait largement dépasser celle de l'air (Smith et Glennie, 1987). Une forte insolation favorise donc la fermeture diurne des stomates du fruit et l'évolution de son métabolisme vers la voie crassulacéenne.

- il a été démontré que la modification des paramètres physiologiques du fruit est susceptible d'intervenir quelques minutes ou quelques heures seulement après l'altération des conditions climatiques (Martin et al, 1999). Or, l'existence de locules pénétrant jusqu'à proximité du cylindre central de l'ananas permet aux phénomènes respiratoires du fruit d'intéresser très rapidement les tissus les plus profonds. Une forte pluviométrie précédant la récolte peut donc par exemple modifier considérablement la teneur en acides organiques en favorisant le rendement photosynthétique de la plante (Kruger et al, 1999).

Les fluctuations saisonnières du BI de l'ananas semblent être également reliées à l'évolution de l'équilibre entre ses différentes voies photosynthétiques en fonction des conditions climatiques. L'induction du désordre ne peut être stoppée ou ralentie que par l'arrêt de la perte d'un inhibiteur (vitamine C par exemple) ou par l'arrêt de l'accumulation d'un composé toxique (composés phénoliques). Or le passage d'un métabolisme mésophytique à un métabolisme crassulacéen conduit, d'une part à une plus large consommation des acides organiques et d'autre part à une accumulation de différents composés phénoliques (acide coumarique, ferrulique et caféique) dans l'apex du fruit (Teisson et al, 1979). Les fluctuations saisonnières du BI de l'ananas Queen Tahiti ne sont pas corrélées à celles de leur acidité ni à celles de leur teneur initiale en vitamine C, ces deux paramètres étant étroitement corrélés (coefficient de corrélation égal à 0.68), mais pourrait donc l'être à leur consommation liée, soit à la vitesse des réactions enzymatiques mises en cause, soit à la richesse initiale des fruits en substrats ou en oxydases. La vitamine C permettant de contrecarrer les oxydations phénoliques, sa vitesse de consommation interviendrait donc dans l'intensité du désordre sans affecter son incidence.

Les températures nocturnes relevées durant la saison sèche sont d'autre part compatibles à l'induction du désordre au champ puisque inférieures à 21 °C (Figure 2), cette température ayant été retenue comme la limite thermique supérieure susceptible d'induire le BI (Lubulwa et al, 1996). L'exposition des fruits aux "basses" températures hivernales " pourrait être une des causes à laquelle il faille attribuer la perturbation cellulaire résultant en une accumulation des substances phénoliques (Van Lelyveld et De Bruyn, 1977). L'abaissement de la température sous 21°C serait également en partie responsable de l'activation au champ des activités polyphénoloxydases (Yu-Chan et Xing-Jie, 1997).

Les conditions climatiques peuvent cependant ne pas expliquer la totalité des résultats obtenus dans la mesure où le protocole expérimental suivi n'a pas permis de garantir l'homogénéité des productions récoltées. Les fruits récoltés en mai chez M. Copenrath présentent par exemple des caractéristiques particulières telles qu'un BI final faible, une TSS et une acidité titrable élevées, un très faible calibre (Tableau VIII). Si ces caractéristiques peuvent être en partie reliées aux conditions climatiques, elles peuvent également être imputées à l'arrêt des apports excessifs d'azote dans les 6 mois précédant la récolte et au fait que ces fruits aient été récoltés en fin de production. Il est donc certain que l'absence de maîtrise des itinéraires techniques suivis, le doute subsistant quant à l'âge des parcelles récoltées, et l'impossibilité d'obtenir des relevés journaliers des paramètres climatiques rendent nos conclusions hypothétiques.

Date de récolte	Poids moyen en g	Acidité en meq/100ml	T.S.S en °brix	Indice de BI final <sup>1</sup>
Novembre 2001	1560.5	10.66	14.8	2.8
Février 2002	1226.8	7.24	14.8	2.0
Mai 2002	837.1	10.71	16.4	2.1
Août 2002	1124.1	7.67	15.9	2.9

**Tableau VIII :** Caractéristiques physico-chimiques des ananas récoltés au 2/3 jaune en fonction de la date de récolte. Propriété Copenrath.

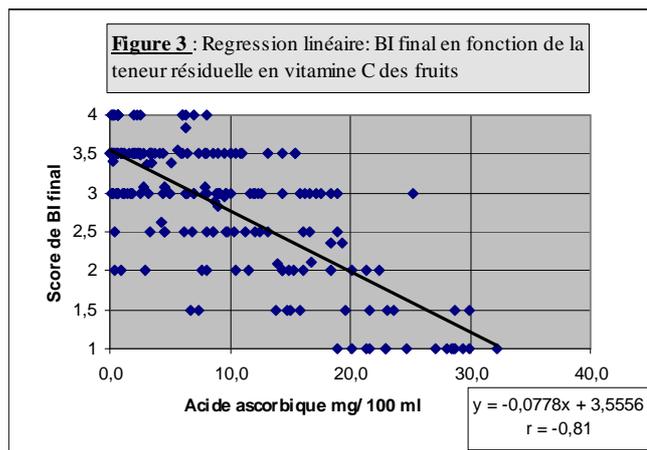
<sup>1</sup> score de BI obtenu après 15 jours d'entreposage à 10°C et 4 jours à 25°C (1 absence ; 2 modéré ; 3 limite ; 4 sévère).

### 3 – BI et composition des fruits en vitamine C

L'analyse réalisée sur l'ensemble des données montre une corrélation négative entre la note de BI final et la teneur en vitamine C des fruits en fin d'essai (teneur résiduelle en vitamine C). Le coefficient calculé est de  $-0.61$  (coefficient de rang de Spearman). Compte tenu de l'aspect de la droite de régression tracée, ce coefficient a été recalculé en excluant de l'étude les fruits mûrs (indice de coloration au moins égal à 3) : il est alors égal à  $-0.81$  (Figure 3) ce qui traduit une relation étroite entre les deux variables (au seuil de 5%). Cette première analyse permet d'affirmer que :

- l'intensité du désordre peut être reliée à la teneur résiduelle en vitamine C des fruits lorsque ceux-ci ne sont pas récoltés mûrs : les symptômes développés sont négligeables pour une teneur résiduelle en vitamine C supérieure ou égale à  $14 \text{ mg/100 ml}$  ; Ils sont encore acceptables pour une teneur résiduelle en vitamine C de  $8 \text{ mg/100 ml}$ . En dessous de ce seuil, la sévérité du BI est telle que les fruits sont impropres à la consommation.

- la relation mise en évidence entre l'indice de BI final des fruits et leur teneur résiduelle en vitamine C ne se vérifie pas sur les fruits mûrs : ces derniers peuvent présenter simultanément un niveau de BI négligeable et un



taux résiduel très faible d'acide ascorbique. La maturité du fruit à la récolte apparaît comme un facteur déterminant de sa sensibilité au désordre indépendamment de sa teneur en antioxydant. L'acide ascorbique intervenant sur le BI par réduction des processus d'oxydation, l'absence de relation entre les deux variables peut laisser supposer un impact direct de la maturité des fruits sur ces processus eux-mêmes.

- la teneur résiduelle en vitamine C des fruits nécessaire à éviter l'expression du désordre serait, selon la relation établie, de  $32.5 \text{ mg/100 ml}$  de jus. Sur la base des données recueillies, cette valeur est supérieure à la teneur moyenne en vitamine C des fruits fraîchement récoltés, ce qui rend, dans nos conditions d'essai, le développement du BI inévitable.

La teneur résiduelle en vitamine C des fruits ne pouvant être utilisée dans la prédiction des processus de BI, la relation entre BI final et teneur initiale des fruits en vitamine C a été étudiée. Ce type d'étude pose cependant le problème de ne pas prendre en compte les variations parfois importantes pouvant exister au sein d'une même population dans la mesure où il est impossible de mesurer simultanément sur un même fruit les deux paramètres.

L'analyse des données recueillies révèle une relation modérée entre les scores de BI final relevés d'une part en fin d'essai et les teneurs en vitamine C des ananas fraîchement récoltés d'autre part (coefficient de corrélation de Spearman égal à  $-0.38$ ). Cependant, et comme précédemment, l'étroitesse de cette relation est fonction du degré de maturité des fruits à la récolte :

-les fruits récoltés précocement (indice de coloration compris entre 0 et 1) présentent toujours des scores élevés de BI final quelle que soit leur teneur initiale en acide ascorbique,

- les fruits récoltés mûrs (indice de coloration égal ou supérieur à 3) présentent au contraire des scores plus modérés de BI final malgré des teneurs initiales en acide ascorbique souvent plus faibles,

- l'intensité du brunissement des fruits de maturité intermédiaire (indice de coloration égal à 2) peut être reliée à leur teneur initiale en vitamine C avec un coefficient de corrélation calculé entre les deux variables de  $-0.67$ . Pour une teneur initiale en vitamine C supérieure à  $25 \text{ mg/100ml}$  de jus, ces fruits présenteront dans nos conditions d'essai un développement modéré du désordre.

Les résultats obtenus montrent que l'intensité du BI de l'ananas Queen Tahiti est fonction, non pas de sa teneur initiale en vitamine C, mais de la vitesse de consommation de cette dernière durant le développement du désordre. Des résultats similaires ont été obtenus en Thaïlande sur d'autres variétés d'ananas du groupe Queen ; il a été démontré de la même façon que le BI du fruit, dans les mêmes conditions d'essai, restait acceptable pour des teneurs résiduelles en vitamine C de 8 mg/100ml de jus mais semblait indépendant de la teneur initiale en vitamine C des fruits récoltés (Pimpimol et Siriphanich, 1993). Ces résultats ont pu être également confirmés sur des variétés de Cayenne mais avec des seuils plus élevés puisque que 15 mg/100 ml de vitamine C résiduelle suffiraient à éviter le brunissement du fruit (Dahler et al, 2002). La sensibilité initiale du fruit au désordre, elle-même dépendante de sa maturité, semble davantage s'expliquer par l'intensité des réactions enzymatiques mises en cause que par la teneur initiale en vitamine C des fruits. La sévérité du BI dans les fruits récoltés précocement (indice de coloration compris entre 0 et 1) pourrait ainsi s'expliquer par leur plus grande richesse en substrats phénoliques mais surtout par leur plus grande sensibilité au froid provoquant à travers les perturbations cellulaires engendrées une accumulation plus importante de phénols et une activation des polyphénoloxydases (Van Lelyveld et De Bruyn, 1977). Les fruits mûrs, résistant mieux aux basses températures, synthétiseraient moins de substrats et d'enzymes.

Le tableau IX présente, pour les fruits récoltés précocement, l'évolution des teneurs en vitamine C au cours des différentes phases de l'essai en relation avec la progression du BI et ce, en fonction de la date de récolte.

Date de récolte	Récolte : T0	Après 15 jours de stockage à 10°C : T15				T15 + 4 jours à 25°C : T20			
	A. ascorbique mg/100 ml	A. ascorbique mg/100 ml		Indice de BI <sup>1</sup>	Incidence du BI %	Acide ascorbique mg/100 ml		Indice de BI <sup>1</sup>	Incidence du BI %
		Teneur	Variations			Teneur	Variations		
Novembre 2001	23.2	19.4	-3.8	2.5	100	3.1	-16.3	3.5	100
Février 2002	19.8	17.9	-1.9	2.0	100	2.7	-15.2	3.1	100
Mai 2002	25.0	30.0	+5.0	1.2	40	18.4	-11.6	2.4	80
Août 2002	22.3	23.7	+1.4	1.7	100	7.6	-16.1	3.1	100

**Tableau IX** : Acide ascorbique et brunissement interne ; Evolution au cours des différentes phases de l'entreposage en fonction de la date de récolte (Ananas récoltés au point de virage). Propriété Coppentrath.

<sup>1</sup> Sévérité du désordre notée sur une échelle de 1 à 4 : 1, absence 2, modéré 3, moyenne 4, sévère

Conformément aux bibliographies consultées, le stockage à 10°C ne permet pas de bloquer le développement du désordre : la température assez basse pour induire le BI est également assez élevée pour en permettre l'expression (Pimpimol et Siriphanich, 1993 ; You-Lin et al, 1997). Les processus de BI sur Queen Tahiti apparaissent donc inéluctables à cette température, leur expression dépendant ensuite de l'intensité et de la rapidité des réactions impliquées.

L'étape de réfrigération (15 jours à 10°C) est marquée par une augmentation sensible de l'acidité titrable des fruits (résultats non reportés). Cette acidification des fruits est un phénomène bien connu chez l'ananas où, à basse température, la synthèse d'acides l'emporte sur leur consommation. Pour ce qui est de la vitamine C, le tableau IX montre que cet équilibre entre synthèse et consommation fluctue en fonction de la date de récolte et que cette fluctuation a un impact direct sur l'intensité du BI développé en fin de stockage réfrigéré. En mai et août, la synthèse de vitamine C est plus importante que sa consommation avec en fin de réfrigération un indice de BI modéré ; a contrario la consommation d'acide ascorbique l'emporte sur sa synthèse en décembre et février avec un indice de BI intermédiaire plus élevé. Ces fluctuations peuvent s'expliquer par une variation des phénomènes respiratoires, véritables régulateurs du métabolisme carboné chez l'ananas. L'étude des pertes de poids durant la phase de réfrigération montre que celles-ci sont minimales en mai et août et sont donc moins susceptibles de provoquer des conditions de stress physiologiques (déshydratation) propices à l'augmentation de la respiration des fruits stockés (Tableau X). Ces fluctuations de la composition des fruits en vitamine C peuvent toutefois être également le résultat de sa moindre consommation au niveau des oxydations phénoliques.

Date de récolte	Pertes de poids %
Novembre 2001	4.65
Février 2002	5.58
Mai 2002	0.74
Août 2002	1.28

**Tableau X :** Evolution des pertes de poids des fruits après 15 jours de réfrigération à 10°C en fonction de la date de récolte (ananas récoltés au point de virage)

L'étape de simulation commerciale (4 jours à 25°C) est marquée par une intensification du désordre et une diminution prononcée de la vitamine C dans les fruits. La perte d'acide ascorbique observée durant les 4 jours de remise à température ambiante est sensiblement la même pour les 4 prélèvements. On observe toutefois une consommation moins importante de vitamine C durant cette phase dans les fruits récoltés en mai qui peut être reliée à la moindre incidence du désordre en fin de réfrigération. La cinétique de dégradation de la vitamine C au cours de la phase de simulation commerciale semble donc la même pour les 4 prélèvements ce qui tendrait à dire que l'intensité du BI final dépendrait des réactions enclenchées avant récolte et durant la phase de réfrigération, donc des conditions d'induction du désordre et des possibles fluctuations de la teneur en vitamine C des fruits en résultant.

Le tableau XI présente, de la même façon, et toujours pour des fruits récoltés précocement, l'évolution des teneurs en vitamine C au cours des différentes phases de l'essai en relation avec la progression du BI mais en fonction de l'origine des fruits.

Date de récolte	Récolte : T0	Après 15 jours de stockage à 10°C : T15				T15 + 4 jours à 25°C : T20			
	A. ascorbique mg/100 ml	A. ascorbique mg/100 ml		Indice de BI <sup>1</sup>	Incidence du BI %	Acide ascorbique mg/100 ml		Indice de BI <sup>1</sup>	Incidence du BI %
		Teneur	Variations			Teneur	Variations		
Coppenrath	23.2	19.4	-3.8	2.5	100	3.1	-16.3	3.5	100
Afo	23.1	12.8	-10.3	3.0	100	0.3	-12.5	3.8	100
Van Bastolaire	26.6	26.8	+0.2	1.1	25	4.6	-22.2	3.2	100

**Tableau XI :** Acide ascorbique et brunissement interne ; Evolution au cours des différentes phases de l'entreposage en fonction de l'origine des fruits (Ananas récoltés en novembre 2001 au point de virage).

<sup>1</sup> Sévérité du désordre notée sur une échelle de 1 à 4 : 1, absence 2, modéré 3, moyenne 4, sévère

Les résultats obtenus durant la phase de réfrigération à 10°C montrent comme précédemment une fluctuation importante de l'équilibre entre synthèse et consommation de la vitamine C en fonction de l'origine des fruits récoltés et une relation étroite entre cette fluctuation et l'intensité du BI développé en fin de stockage réfrigéré. La cinétique de disparition de l'acide ascorbique durant la phase de simulation commerciale présente par contre des différences importantes selon l'origine des fruits avec une consommation accrue pour les fruits récoltés chez M. Van Bastolaire malgré un BI intermédiaire réduit. Les processus mis en cause ici apparaissent donc différents de ceux reliés aux variations saisonnières pour un même producteur. L'explication la plus simple semble être celle d'une initiation des processus de BI avant récolte inexistante dans le cas des fruits récoltés chez M. Van Bastolaire. Ces derniers présenteraient donc une même sensibilité au brunissement interne mais celui-ci ne serait induit qu'au moment de la mise au froid, différant dans le temps l'expression du désordre. La moindre sensibilité des fruits récoltés chez M. Van Bastolaire ne serait donc qu'apparente et liée à des conditions climatiques, édaphiques ou à des pratiques culturales empêchant l'induction du désordre au champ. On peut mettre par exemple en avant ici le pH beaucoup plus bas des fruits à la récolte moins propice à l'activation des polyphénoloxydases.

### III- DISCUSSION

L'étude relative au BI de l'ananas Queen Tahiti a montré que le développement du désordre dans les fruits récoltés était lié à leur réfrigération post-récolte et que, sauf cas rares, il ne se développait pas au champ. Dans nos conditions d'essai, l'incidence du BI dans les fruits réfrigérés a toujours été élevée et l'intensité des symptômes développés importante lorsque les fruits étaient remis à température ambiante.

L'importance des dommages occasionnés ne permet pas d'envisager dans l'état actuel des choses une commercialisation du fruit à l'exportation. Cette problématique est la même pour tous les pays producteurs d'ananas du groupe Queen (Malaisie, Thaïlande, Afrique du Sud et Réunion) dont les productions alimentent essentiellement les marchés locaux malgré quelques exportations réussies par avion (Anon, 1988 ; Hassan, 1993 ; Pimpimol et Siriphanich, 1993 ; Kruger, 2000).

Les résultats obtenus mettent en évidence l'absence de relation entre l'incidence du désordre dans les fruits et leur composition en acide ascorbique à la récolte ; l'intensité des symptômes développés est par contre fortement corrélée à la teneur résiduelle des fruits en vitamine C au moment de l'observation. Le désordre reste modéré tant que la teneur en acide ascorbique de la pulpe des fruits se maintient au-dessus de 14 mg/ 100 ml (800µM). Cette relation ne se vérifie cependant pas pour les fruits mûrs qui peuvent simultanément présenter un faible BI et une disparition quasi-complète de leur vitamine C. Ces résultats sont en tout point identiques à ceux obtenus en Thaïlande sur d'autres cultivars Queen (Pimpimol et Siriphanich, 1993). Les relations établies entre BI et vitamine C par les chercheurs du CIRAD sur le Cayenne lisse ne se vérifieraient donc pas sur les ananas du groupe Queen (Teisson et al, 1979). En fait, il semble d'après les travaux de chercheurs australiens que cette relation puisse se vérifier sur tous les cultivars d'ananas à condition de ne considérer que l'intensité des symptômes développés, l'incidence du BI dépendant elle de la sensibilité initiale des fruits liée à d'autres facteurs (Sanewski et Giles, 1997).

Nos travaux montrent que dans nos conditions d'essai le développement du BI est un phénomène inévitable dès lors que les fruits sont réfrigérés et que seule sa vitesse d'apparition semble pouvoir varier en relation avec la vitesse de disparition de l'acide ascorbique dans la pulpe des fruits. La cinétique des réactions d'oxydation est par contre la même dès lors que les fruits sont replacés en conditions ambiantes avec une intensification rapide du brunissement jusqu'à un seuil où le désordre n'évolue plus et ce, quelle que soit la saison ou l'origine des fruits récoltés (Tableaux IX et XI). L'accélération visible des réactions enzymatiques à la sortie de la chambre froide est liée à l'élévation de la température, l'activité des phénolases étant optimale pour des températures supérieures à 21°C (Smith, 1983).

Dans ce contexte particulier, la phase de réfrigération des fruits en relation avec leur sensibilité initiale au désordre semble seule pouvoir expliquer les variations finales du BI, les réactions développées ensuite à température ambiante (25°C) se poursuivant inexorablement jusqu'à épuisement des substrats phénoliques. L'ananas est un fruit à la fois dépourvu d'activités polyphénoloxydases et pauvre en composés phénoliques. La synthèse des PPO et l'accumulation des substrats phénoliques mises en cause dans le développement du désordre résulteraient de la mise au froid des fruits (Dahler, 2002). Cependant, aucune réaction ne peut avoir lieu tant que les tissus restent intacts, l'activité enzymatique restant limitée aux faisceaux vasculaires. Le déclenchement du désordre par la mise au froid des fruits serait donc principalement lié à la dégradation cellulaire des membranes permettant la mise en contact des différents métabolites et l'extension des dégâts. La température d'entreposage retenue (10°C) est à la fois assez basse pour entraîner des perturbations cellulaires de type « chilling injury » induisant le BI et assez élevée pour en permettre l'expression. L'apparition ou non du brunissement de la pulpe des fruits durant la phase réfrigérée, selon la saison ou le producteur considéré, pourrait alors s'expliquer par la présence de substrats phénoliques et de phénolases dans les fruits à la récolte, cette présence déterminant la sensibilité initiale des fruits au désordre. Ce dernier n'apparaît pas au champ car nécessite pour se développer une phase de désorganisation cellulaire rendant la mise au froid des fruits indispensable.

L'absence de brunissement des fruits récoltés chez M. Van Bastolaire en sortie de réfrigération pourrait ainsi s'expliquer par une moindre accumulation de composés phénoliques au champ ou par une absence initiale d'activité PPO rendant nécessaire une première phase d'induction de ces processus par la mise au froid et différant donc d'autant les réactions d'oxydation. A contrario, l'absence d'oxydation des composés phénoliques durant la réfrigération des fruits permet des réactions de brunissement plus intenses durant la phase de simulation commerciale à 25°C, la quantité disponible de substrats oxydables étant plus importante. Les pratiques culturales spécifiques à la plantation Van Bastolaire, et en particulier l'absence de fertilisation azotée, peuvent sans doute expliquer en partie la moindre sensibilité initiale des fruits récoltés au BI. Outre sa conséquence directe sur la diminution du calibre des fruits qui tend à restreindre le gradient chimique de la pulpe du fruit, la restriction des apports azotés entraîne une augmentation de l'acidité du fruit et une accumulation de potasse dans ses organes végétatifs.

Les fruits produits présentent alors une acidité élevée, une plus forte teneur en vitamine C et un extrait sec important, ces trois caractéristiques ayant pu être reliées à une moindre incidence du désordre (Van Lelyveld, 1976 ; Smith, 1987). La potasse aurait de plus un effet dépressif sur les activités PPO (Pandalai et Nagarajan, 1972). Différentes études ont ainsi montré que l'amélioration de la fumure potassique entraînait une diminution du BI pas forcément reliée à une augmentation de la teneur du fruit en vitamine C (Teisson et al, 1979). Cette hypothèse relative aux itinéraires techniques pratiqués ne doit cependant pas faire oublier l'importance des conditions climatiques et édaphiques sur le développement postrécolte du BI de l'ananas réfrigéré, une baisse sensible de la température ambiante étant par exemple propice à l'accumulation de composés phénoliques dans l'apex du fruit.

Les variations saisonnières du BI de l'ananas observées lors de notre étude chez M. Coppenrath peuvent s'expliquer d'une part par les modifications du métabolisme du fruit en fonction des conditions climatiques mais également par l'action directe de ces conditions sur la composition du fruit. Il est ainsi établi que le déplacement du métabolisme carboné de l'ananas vers une voie crassulacéenne conduit à une accumulation de différents composés phénoliques (acide coumarique, ferrulique et caféique) dans l'apex du fruit (Teisson et al, 1979). Cette accumulation serait donc plus importante durant la saison sèche, donc de juin à décembre. Nos résultats montrent pourtant que cette période correspond à un moindre développement du BI durant la phase de réfrigération (Tableau IX) ce qui paraît contradictoire. L'élévation de la température des fruits, favorisée durant cette période par une forte insolation peut cependant expliquer ce résultat. Il a en effet été démontré que le réchauffement des fruits à une température supérieure à 37°C détruisait les activités PPO (Akamine, 1975). Comme dans le cas des fruits récoltés chez M. Van Bastolaire, une première phase d'induction de cette activité par la mise au froid des fruits serait alors nécessaire à l'enclenchement des mécanismes de brunissement et en différerait donc l'expression des symptômes. Cette étape réalisée, les dégâts dus au BI sont plus sévères du fait de la plus grande richesse des fruits en substrats. Cette hypothèse suggère l'importance des mécanismes de synthèse et d'activation des PPO dans le développement du désordre et ce, même dans des conditions de température élevée. Cette capacité importante des ananas du groupe Queen à synthétiser les PPO est l'hypothèse retenue par M. Teisson pour expliquer la sensibilité exacerbée du cultivar au BI (communication orale).

Le rôle essentiel de la mise au froid des fruits sur les mécanismes d'induction du brunissement de leur pulpe a conduit depuis quelques années les chercheurs à s'interroger sur les facteurs de sensibilisation des fruits aux processus de « chilling injury ». Il apparaît, d'après de récents travaux, que la sensibilité des cultivars Queen au BI serait liée à leur plus faible teneur en calcium, élément permettant de maintenir l'intégrité des membranes cellulaires et donc de retarder la mise en contact des substrats phénoliques avec les PPO (Hewajulige et al, 2002). Les chercheurs du CIRAD avaient déjà mis en évidence l'importance du calcium dans les mécanismes du BI de l'ananas en constatant une diminution de celui-ci par addition de calcium à la fumure minérale après floraison (Teisson et al, 1979).

L'importance des pratiques culturales et des conditions climatiques comme éléments d'explications des variations observées dans le développement du BI de l'ananas ne doit pas faire oublier que la sensibilité initiale du fruit au désordre est fortement liée à son stade de développement au moment de la coupe. De ce fait, le degré de maturité des fruits à la récolte semble pouvoir être retenu comme critère de sélection des ananas dans le cadre de la mise en place d'une filière d'exportation. Les résultats obtenus montrent qu'il est sans doute possible d'intervenir efficacement sur le brunissement interne des fruits ayant atteint un stade de maturité apparente égal à 2 en augmentant, par modification des pratiques culturales, leur composition en vitamine C. Ce stade correspond grossièrement au moment où la coloration jaune de la peau du fruit atteint 50% de sa hauteur. Il serait cependant plus juste de définir ce degré de maturité par rapport à l'acidité du fruit (quand celle-ci commence à baisser). Les fruits récoltés plus tôt (indice de coloration compris entre 0 et 1) offrent peu de possibilités en matière d'intervention sur le BI par le biais des pratiques de fertilisation : la teneur en acide ascorbique de ces fruits apparaît dans tous les cas insuffisante à contrecarrer la puissance des réactions d'oxydation liée d'une part à la plus grande richesse de ces fruits en substrats mais aussi à la plus grande sensibilité des fruits verts aux mécanismes de « chilling injury » lors de la mise au froid. Les fruits mûrs, moins sensibles au désordre, ne sont pas exportables, leur consommation ne pouvant être différée.

Toute la difficulté de ce type de sélection consiste à déterminer au champ le degré exact de maturité des fruits. La détermination du point de coupe des fruits sur la base de la coloration de leur peau peut se révéler hasardeuse et peu précise.

En effet, la relation étroite mise en évidence entre la coloration extérieure du fruit et sa maturité réelle à chacun de nos prélèvements (coefficients de corrélation de Spearman compris entre 0.67 et 0.90) est beaucoup plus modérée entre prélèvements et est largement modifiée par les conditions climatiques. Il sera donc indispensable d'établir cette relation pour chaque nouvelle récolte sous peine de voir ressurgir sporadiquement les phénomènes de BI sur des fruits récoltés précocement.

## **CONCLUSION**

Le brunissement interne de l'ananas réfrigéré apparaît comme l'obstacle majeur à la mise en place d'une filière d'exportation de ce fruit en Polynésie française avec à la fois une forte incidence du désordre et une intensité prononcée des symptômes développés. Il semble que le facteur génétique prédomine avec une sensibilité exacerbée au désordre des ananas du groupe Queen liée d'une part à leur plus grande capacité à synthétiser les polyphénoloxydases et leur forte sensibilité au froid. Cependant, les différences observées quant au développement du désordre en fonction des paramètres pris en compte dans notre étude (caractéristiques du fruit à la récolte, pratiques culturales et milieu naturel) laissent à penser qu'il est sans doute possible d'améliorer à la fois les critères de sélection des fruits et les itinéraires techniques suivis pour obtenir un ananas d'exportation. Ces mesures devront s'accompagner de la mise au point de conditions d'entreposage adaptées permettant de maintenir l'état de fraîcheur du fruit tout en limitant les processus de « chilling injury ».

Les résultats de nos travaux montrent qu'il est sans doute possible d'intervenir sur les fruits demi-jaunes (maturité apparente égale à 2) par l'intermédiaire d'une augmentation de leur teneur initiale en acide ascorbique. La composition en potasse de la fumure minérale appliquée avant la floraison apparaissant la clé de cette augmentation, il a été planifié de suivre, à partir d'avril prochain, les essais de fertilisation mis en place à Moorea par le LEPA et JFM. Le suivi de ces essais devrait permettre de quantifier l'impact de la fertilisation appliquée en terme d'augmentation de la composition des fruits en vitamine C et d'en mesurer l'intérêt en terme de réduction des phénomènes de BI sur le Queen Tahiti.

Rappelons toutefois que le facteur génétique restant prédominant dans la sensibilité du fruit au BI, les recherches actuelles se concentrent sur la mise au point par hybridation de nouvelles variétés, pratiques de fertilisation et conduite d'entreposage ne paraissant pas pouvoir apporter de solutions définitives au problème (Lubulwa, 1996 ; Sanewski et Giles, 1997 ; Abdullah et al, 2002). La mise au point de ces nouvelles variétés intègre, en plus de la résistance au « cœur noir », le problème de la détérioration des couronnes.

Des solutions techniques prometteuses sont d'autre part en cours d'expérimentation et pourraient bien permettre d'éliminer le problème dans le contexte polynésien : pulvérisation au champ d'acide 2-chlorophénoxy-propionique (Kruger, 2000) ou traitement post-récolte au 1-méthylcyclopropène (Selvarajah et al, 2001).

## **BIBLIOGRAPHIE**

Abdullah H., Rohaya M.A., Rosli H., Selamat M.M., 2000. Handling and transportation trial of pineapples by sea shipment from Malaysia to the United Kingdom. III International Pineapple Symposium. Acta Hort., 529: 317-328.

Akamine E.K., Goo T., Stoop T., Greidmanus T., Iwaoka N., 1975. Control of endogenous brown spot of fresh pineapple in postharvest handling. J. amer. Soc. hort. Sci., 100 (1) : 60-65.

Akamine E.K., 1976. Postharvest control of endogenous brown spot in fresh Australian pineapples with heat postharvest handling. Hort. Sci., 11 (6) : 586-588.

Anon, 1988. Essai conservation d'ananas Victoria. Saint-Pierre (REU) : CIRAD-IRFA, 1988/04 : 90-92.

- Borland, Tecsi A.M., Leegood L.I., Walker R.C., 1998. Inducibility of crassulacean acid metabolism in *Clusia* species ; physiological/biochemical characterisation and intercellular localization of carboxylation and decarboxylation processes in three species which exhibit different degrees of CAM. *Planta* 205 : 342-351.
- Cusman J.C., 2001. Crassulacean acid metabolism. A plastic photosynthetic adaptation to arid environments. *Plant Physiology*, 127: 1439-1448.
- Dahler J.M., Underhill S.J., Zhou Y., 2002. Biochemical changes associated with chilling in pineapple fruit. *Acta Hort.* 575 : 603-610.
- Garnier C., 1999. Rapport d'activités de l'année 1999. Département de la Recherche Agronomique. Service du Développement Rural. BP 100 Papeete.
- Haagkerwer, Grams A., Olivares T., Ball E., Arndt E., Popp S., Medina M., Luttge E., Utu, 1996. Comparative measurements of gas-exchange, acid accumulation and chlorophyll a fluorescence of different species of *Clusia* showing C-3 photosynthesis, or crassulacean acid metabolism, at the same field site in venezuela. *New Phytologist* 134: 215-226.
- Hassan A., 1993. Blackheart disorder in fresh pineapple. Proceedings of a seminar on the fruit industry in Malaysia (Eds Sallech, Tarmizi et Pauziah) : 38-47.
- Herzog B., Hubner C., Ball E., Bastos R.D., Franco A.C., Scarano F.R., Luttge U., 1999. Comparative study of the C-3/CAM intermediate species *Clusia parviflora* and the obligate CAM species *Clusia hilariana* growing sympatrically exposed and shaded in the coastal Restinga of Brazil. *Plant Biology* 1: 453-459.
- Hewajulige I.G.N., Wilson Wijeratnam R.S., Wijesundera R.L.C., Abeysekere M., 2002. Fruit calcium concentration and chilling injury during low temperature storage of pineapple. Industrial Technology Institute, Colombo 07, Sri Lanka. Non publié.
- Kruger F.J., Rabie E.C., Tustin H.A., Wesson K.T., 2000. A study on factors inducing and controlling postharvest blackheart in pineapples. III International Pineapple Symposium. *Acta Hort.*, 529: 329-336.
- Kruger F.J., Tait L., Kritzinger M., Bezuidenhout M., Claassens V., 1999. Postharvest browning in South Africa subtropical export fruits. Int. Symposium effect of pre- et postharvest factors in fruit storage. *Acta Hort.* 485: 225-230.
- Lubulwa G., Underhill S., Davis J., 1996. Project development assessment : pineapple quality improvement. Working papers WP20. Aciar publications.
- Martin C.E., Tu'ffes A., Herppich W.B., Von Willer D.J., 1999. Utilization and dissipation of absorbed light energy in the crassulacean acid metabolism bromeliad *Tillandsia*. *Int. J. Plant Sci.* 160 (2) : 307-313.
- Pandalai K.M., Nagarajan M., 1972. Les relations entre la teneur en potassium et l'activité enzymatique du lait de coco et la détermination des besoins en éléments nutritifs du cocotier. *Rev. De la potasse*, sect.27, 56.
- Paull R.E., Rohrbach K.G., 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple fruit. *J. amer. Soc. hort. Sci.*, 110 : 100-105.
- Pimpimol J., Siriphanich J., 1993. Factors affecting internal browning disorder in pineapples and its control measures. *Kasetsart J. Natural Science*, 27 (4): 421-430.
- Sanewski G.M., Giles J., 1997. Blackheart resistance in three clones of pineapple in subtropical Queensland. *Aust. J. of Experimental Agriculture*, 37: 459-461.

- Selvarajah S., Bauchot A.D., John P., 2001. Internal browning in cold-stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 23 (2): 167-170.
- Smith L.G., 1983. Causes and development of black heart in pineapples. *J. of food Technology in Australia*, 39 (2) : 64-68.
- Smith L.G., 1987. Quality improvements for Australian fresh market pineapples. *Trop. Agric.* 60 (1) : 31-35.
- Smith L.G., Glennie J.D., 1987. Blackheart development in growing pineapple. *Trop. Agr. (Trinidad)*, 64 (1): 7-12.
- Teisson C., Combres J.C., 1979. Le brunissement interne de l'ananas, III, Symptomatologie. *Fruits* 34 (5) : 315-329.
- Teisson C., Lacoeuilhe J.J, Combres J.C., 1979. Le brunissement interne de l'ananas, V, Recherche des moyens de lutte. *Fruits* 34 (6) : 399-415.
- Teisson C., Martin-Prével, Marchal J., 1979. Le brunissement interne de l'ananas, IV, Approche biochimique du phénomène. *Fruits* 34 (5) : 329-339.
- Van Lelyveld L.J., De Bruyn J.A., 1976. Sugars and organic acids associated with black heart in pineapple fruits. *Agrochimophysica*, 8 (4): 65-68.
- Van Lelyveld L.J., De Bruyn J.A., 1977. Polyphenols ascorbic acid and related enzyme activities associated with black heart in Cayenne pineapple fruit. *Agrochimophysica* 9 : 1-6.
- Wassman R.C., 1990. Effects of seasonal temperature variations on pineapple scheduling for canning in Queensland. *Acta Hort.* 275 : 131-138.
- You-Lin T., Yu-Chan Z., Xing-Jie T., 1997. A study on factors inducing and controlling postharvest blackheart in pineapples. II International Pineapple Symposium. *Acta Hort.*, 425: 595-603.
- Yu-Chan Z., Xing-Jie T., 1997. Mechanism of blackheart development induced by low temperature and gibberellic acid in pineapple fruit. II International Pineapple Symposium. *Acta Hort.*, 425: 587-594.