TABLE DES MATIÈRES

pages

INTRODUCTION

Contexte socio-économique du stage 1

A – Le bananier 2

1- Origine et éléments de taxonomie 2
2 – Appareil végétatif et reproducteur 3
2.2 – Appareil végétatif 3
2.2 – Appareil reproducteur 3

B – Évolution du fruit au cours de la filière banane 5

1 – Développement du fruit : étape de production 5
1.1 – De la plantation à la récolte 5
1.2 – Récolte et conditionnement 6

2 – La phase préclimactérique : du producteur au mûrisseur 6
2.1 – Les étapes de l'exportation 7
2.2 – Facteurs influençant la phase pré-climactérique 7

3 – La phase de maturation 11
3.1 – Mûrissage 11
3.2 – Evolution de quelques caractéristiques biochimiques 12

4 – La phase de sénescence 12

C – La maladie de la pourriture de couronne 13

1 – Symptômes de la maladie 13

2 – Agents causaux 14
2.1 – *Colletotrichum musae* 14
2.2 – *Botryodiplodia spp.* 15
2.3 – *Cephalosporium spp.* 15
2.4 – *Fusarium pallidoroseum* et *Fusarium moniliforme* 15

3 – Méthodes de lutte contre la pourriture de couronne 17
3.1 – technique de découpe 17
3.2 – Mesures prophylactiques 17
3.3 – Mesures physiques 18
3.4 – Lutte chimique 18
3.5 – Lutte biologique 19
3.6 – Lutte génétique 19
3.7 – Ralentissement de l'activité métabolique du fruit 20

Problématique du sujet 20

MATÉRIELS ET MÉTHODES

A – Effet des atmosphères modifiées sur les pourritures de couronne 23

B – Effet de l'âge physiologique du fruit à la récolte sur le développement des pourritures de couronne 24

C – Effet des atmosphères modifiées et du stade physiologique du fruit à la récolte sur la durée de "vie verte" 24

D – Matériel végétal et repérage du stade physiologique des régimes 25

E – Préparation des solutions de conidies et infection des couronnes 26

1 – Préparation des solutions de conidies 26

2 – Décontamination et infection des couronnes 27

F – Simulation du programme d'exportation et évaluation du développement des pourritures 28

G – Analyse statistique des données 29

RÉSULTATS ET DISCUSSION

A - Effet des atmosphères modifiées sur les pourritures de couronne 31

1 – Bouquets inoculés avec le *C. musae* 31
1.1 – Evaluation en entrée mûrisser 31
1.2 – Evaluation en sortie mûrisserie 32

2 – Bouquets inoculés avec les autres pathogènes 33
1.1 – Evaluation en entrée mûrisserie 33
1.2 – Evaluation en sortie mûrisserie 34

3 – Récapitulatif de toutes les expériences 34

4 – Discussion 35

B – Effet de l'âge physiologique du fruit à la récolte sur le développement des pourritures de couronne 37

1 – Résultats 37
2 – Discussion 37

C – Effet des atmosphères modifiées sur la durée de "vie verte" de bananes à différents stades physiologiques 39

1 – Conditionnement en bouquet unique 39
2 – Conditionnement en carton 40
3 – Discussion 40

CONCLUSION ET PERSPECTIVES 41

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 44

Chapitre 1 :
Introduction

Contexte socio-économique du stage

On assiste depuis quelques années à une dégradation du climat social et économique en Guadeloupe. La population est fortement touchée par le chômage et l'économie est ralentie par de nombreux conflits sociaux.

Le tourisme est la première source de revenus des habitants de l'île et elle est menacée par ce mauvais climat social. La seconde source de revenus est la production bananière dont l'avenir est également compromis.

La production de bananes des Antilles française est faible en comparaison avec les leaders que sont l'Equateur, le Costa Rica et la Colombie. En 2000, la Guadeloupe et la Martinique réunies n'ont exporté qu'environ 400 000 tonnes de fruit (Lescot, 2002) alors que la même année, les pays leaders ont exporté respectivement 4 millions, 1,8 millions et 1,6 millions de tonnes de bananes sur les marchés américains et européens. L'OCMB (Organisation Communautaire du Marché de la Banane) a mis en place un système de montants compensatoires qui permet aux bananes de la communauté (Antilles, Canaries, Madère) l'accès au marché européen et ainsi de stabiliser le revenu des planteurs. Ces montants ne sont versés que deux fois par an et lorsque les cours sont bas, les producteurs se trouvent face à des problèmes de trésorerie. Cette situation génère des manifestations qui détériorent encore le climat social. En 2006, en raison du compromis trouvé entre la communauté européenne et l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC) en avril 2001, le soutient apporté sera fortement réduit et pourrait conduire à la disparition des origines bananières peu compétitives que sont la Martinique et la Guadeloupe.

La pression internationale est très forte et pèse lourdement sur la part de marché des bananes antillaises qui se réduit de plus en plus. De surcroît, elles souffrent d'une mauvaise image de marque liée aux accidents de maturation et aux maladies de conservation qui se développent très fréquemment, comme l'anthracnose et la pourriture de couronne. Pour limiter ce problème, les fruits sont traités avec des fongicides avant d'être conditionnés. Mais les consommateurs, toujours exigeants en matière de qualité, sont devenus soucieux de la préservation de l'environnement et de leur santé. Des fruits de belle qualité, non traités après récolte, et d'origine antillaise pourraient séduire les consommateurs français.

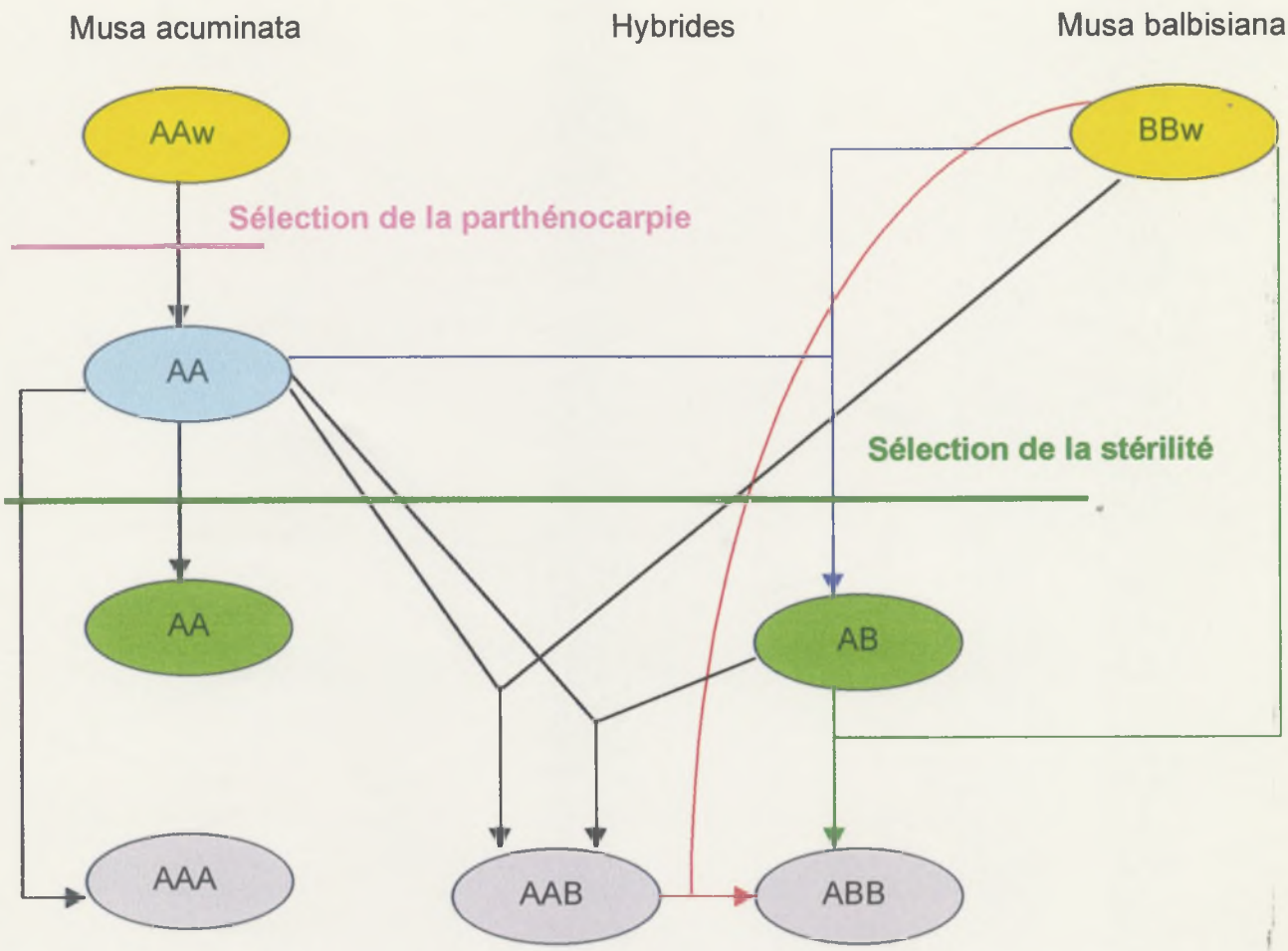


Figure 1.1 : Evolution du principal groupe des cultivars de bananes comestibles de la série Eumusa (d'après Simmonds, 1962 ; Carreel, 1995)

En jaune : Espèces sauvages

En bleu : Cultivars diploïdes parthénocarpiques fertiles

En vert : Cultivars diploïdes parthénocarpiques stériles

En gris : Cultivars triploïdes parténocarpiques stériles

Eliminer le traitement chimique constitue donc un enjeu important et permettrait de placer la banane antillaise sur un segment de marché nouveau et contribuer à sauver cette importante source de revenus.

Le programme qualité banane du CIRAD-FLHOR de Guadeloupe effectue ses recherches dans le but d'apporter des solutions aux problèmes des planteurs. Ce stage, qui a été réalisé de mai à novembre 2002, s'est inscrit dans ce programme. L'étude a porté sur l'une des maladies de conservation les plus pénalisantes qui est la pourriture de couronne. En plus d'apporter des connaissances nouvelles sur cette affection, nous avions pour pour but la recherche de méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique qui permettrait d'améliorer l'image de marque de la banane antillaise, qui pourait être labellisée "sans traitement après récolte", pour concurrencer les fruits des autres origines sur le marché européen.

Dans la suite de cette introduction, nous exposerons d'autres aspects du contexte de cette étude : présentation de la plante, parcours du fruit au sein de la filière banane de Guadeloupe et exposition des connaissances concernant la maladie de la pourriture de couronne.

A - Le bananier

1 - Origine et éléments de taxonomie

Originaire d'Asie du sud-est, d'après Simmonds (1962), le bananier est une plante monocotylédone, de l'ordre des Scitaminales et de la famille des Musaceae. Cette famille comprend deux genres, *Musa* et *Ensete* (Stover et Simmonds, 1987).

Le bananier sauvage appartient à la section *Eumusa* et possède un génome diploïde (2n = 22). Deux espèces sauvages, *Musa acuminanata* Colla (génome AAw) et *Musa balbisiana* Colla (génome BBw) sont à l'origine de la grande majorité des espèces cultivées qui sont triploïdes (Figure 1.1).

Les bananiers se différencient entre eux par la qualité de leurs fruits. Les variétés produisant des bananes plutôt riches en sucres sont qualifiées de "dessert", et celles plutôt riches en amidon sont dites "à cuire". Les bananes exportées sont principalement les bananes dessert du sous-groupe Cavendish au sein du génome

Rapport-Gratuit.com

Sous-groupe		Cultivars	Type de fruit
groupe AA	Sucrier	Pisang Mas, Frayssinette, Figue sucrée	dessert sucré
	Pisang Lilin	...	dessert
	Pisang Berangan	...	dessert
	Lakatan	...	dessert
Groupe AAA	Cavendish	Lacatan, Poyo, Grande Naine, Petite Naine	dessert
	Gros Michel	Gros Michel, Hightate, Cocos	dessert
	Figue rose	Figue Rose rose, Figue Rose verte	dessert
	Lujubira	Intundun, Mujuba	à bière, à cuire
	Ibota	Yangambi km 5	dessert
Groupe AB	Ney Poovan	Safet Velchi, Sukari	dessert acide
Groupe AAB	Figue pomme	Maçà, Silk	dessert acide
	Pome	Prata	dessert acide
	Mysore	Pisang Ceylan	dessert acide
	Pisang Kelat	Pisang Kelat	dessert
	Pisang Rajah	Pisang Raja Bulu	à cuire
	Plantains	french, Corne, Faux Corne	à cuire
	Popoulou	Popoulou	à cuire
	Laknao	Laknao	à cuire
	Pisang Nangka	Pisang Nangka	à cuire
Groupe ABB	Bluggoe	Bluggoe, Matavia,Poteau, Cacambou	à cuire
	Pelipita	Pelipita	à cuire
	Pisang Awak	Fougamou	dessert
	Peyan	...	à cuire
	Saba	saba	à cuire
Groupe AAA		Champa nasik	dessert

Tableau 1.1 : Classification des principaux bananiers cultivés (d'après Bakry *et al.*, 1997)

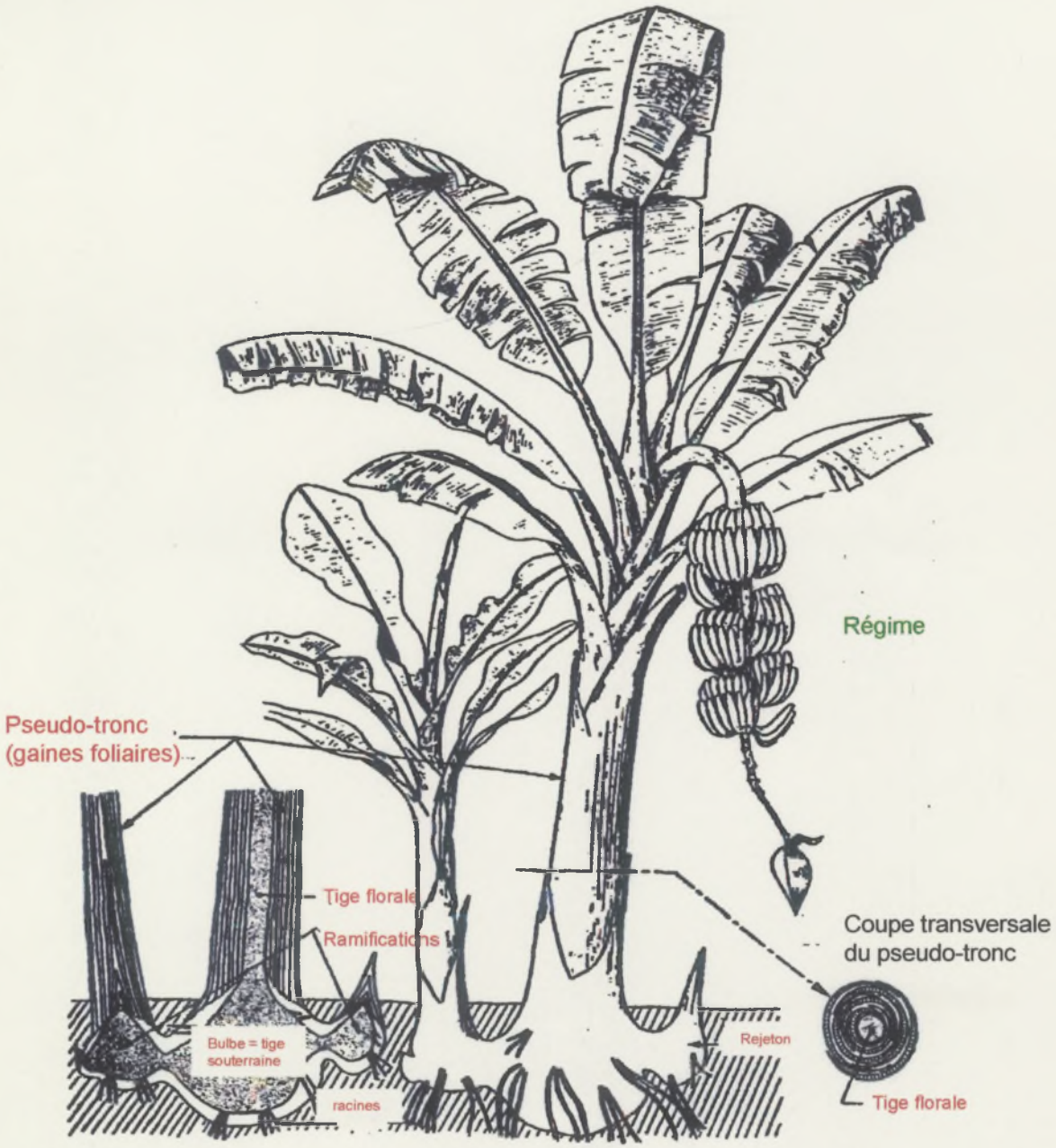


Figure 1.2 : organisation du bananier (d'après Champion, 1963)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 1.3a : inflorescence à l'anthèse des mains femelles et détail d'une main

Figure 1.3 : Inflorescence du bananier

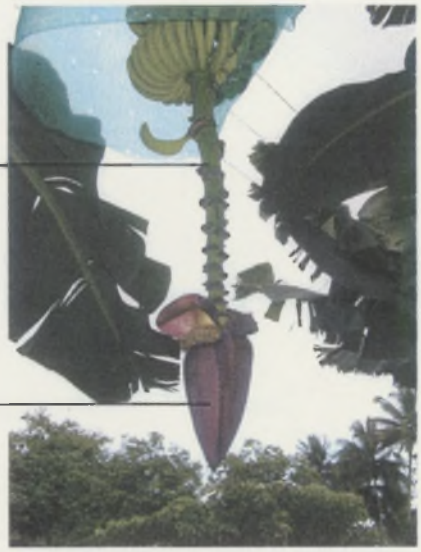


Figure 1.3b : partie distale de la hampe florale et bourgeon mâle (popote)

de type AAA (Tableau 1.1). Aux Antilles françaises, ce sont les variétés "Poyo" et surtout "Grande naine" (Tableau 1.1) qui sont cultivées pour le marché européen.

2 - Appareil végétatif et reproducteur

2.1 - Appareil végétatif

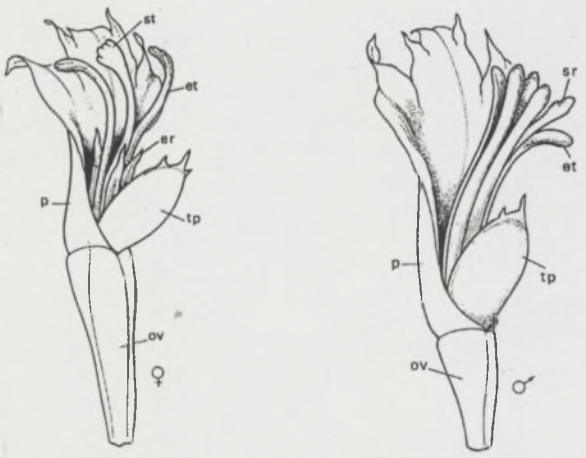
Le bananier est une herbe géante constituée d'un rhizome, c'est à dire d'une tige vraie souterraine, émettant des feuilles dont les gaines, très développées, sont fortement imbriquées les unes dans les autres (Figure 1.2) pour former un pseudo-tronc d'environ 3 mètres de hauteur chez la variété "Grande naine". Un même rhizome émet plusieurs ramifications à des stades de croissance différents (Figure 1.2). Le méristème apical se trouve au niveau du sol et met en place les feuilles qui croissent pour émerger en haut de la couronne. La surface du limbe est importante et l'ensemble du feuillage confère à la plante une surface foliaire de 17 à 25 m^2 lorsque toutes les feuilles ont été émises. Leur durée de vie est comprise entre 70 et plus de 200 jours. Puis le pétiole se plie, la feuille pend le long du pseudo-tronc et devient progressivement sénescente (Stover et Simmonds, 1987).

2.2 - Appareil reproducteur

Chez les bananiers de type Cavendish comme la "Grande Naine", la floraison intervient lorsque la plante possède une trentaine de feuilles. Il y a alors développement d'une vraie tige qui amène vers le haut le méristème différencié en inflorescence. Celle-ci se caractérise par un pédoncule robuste, ou hampe florale, mesurant 1 à 1,5 mètres de long, recourbé vers le bas et portant les fleurs disposées en grappes appelées "mains"(Figure 1.3), arrangées selon trois hélices. Les mains sont composées de 10 à 30 fleurs (ou doigts) insérées sur une structure nommée coussinet (Figure 1.3a et 1.3b). Elles sont disposées sur deux rangées à l'aisselle d'une bractée pourpre qui se soulève en libérant les fleurs avant de tomber très rapidement. Les six à quatorze premières mains sont généralement uniquement femelle et donneront les fruits. Elles sont numérotées à partir de 1 pour la première main dégagée (la plus âgée), à n pour la dernière. Les fleurs distales sont mâle et tombent au fur et à mesure de leur libération, laissant nue la partie inférieure de la

hampe (Figure 1.3b). A l'extrémité de celle-ci, les bractées des fleurs mâles compactées les unes sur les autres forment une structure appelée bourgeon mâle ou popote. Des fleurs hermaphrodites sont parfois observées (Stover et Simmonds, 1987). A l'anthèse, les doigts sont dirigés vers le bas pour se recourber progressivement vers le haut, et 10 à 15 jours après, toutes les mains femelles sont dégagées et en position horizontale, ce qui correspond au stade de floraison dit "doigts horizontaux". Les pièces florales qui subissent un processus de dégénérescence rapide, sont totalement sèches en deux semaines et restent indéhiscentes.

La structure florale (Figure 1.4) est identique quel que soit le sexe de la fleur. Le périanthe est zygomorphe et composé de 3 tépales abaxiaux et d'un tépale adaxial libre. Cinq étamines constituent l'androcée. Le gynécée est composé d'un ovaire infère comprenant trois loges carpellaires à l'intérieur desquelles deux rangées d'ovules sont insérées sur un placenta axillaire. Il est prolongé par un style qui sécrète un nectar sucré.



Fleur femelle

Fleur mâle

Figure 1.4 : Schéma des structures florales mâle et femelle

st : stigmate ; sr : stigmate réduit ; er : étamine réduite ; et : étamine p : pétale ; tp : tépale ; ov : ovaire
Chez la fleur femelle, les étamines sont réduites et l'ovaire est développé. Chez la fleur mâle, le stigmate et l'ovaire sont réduits

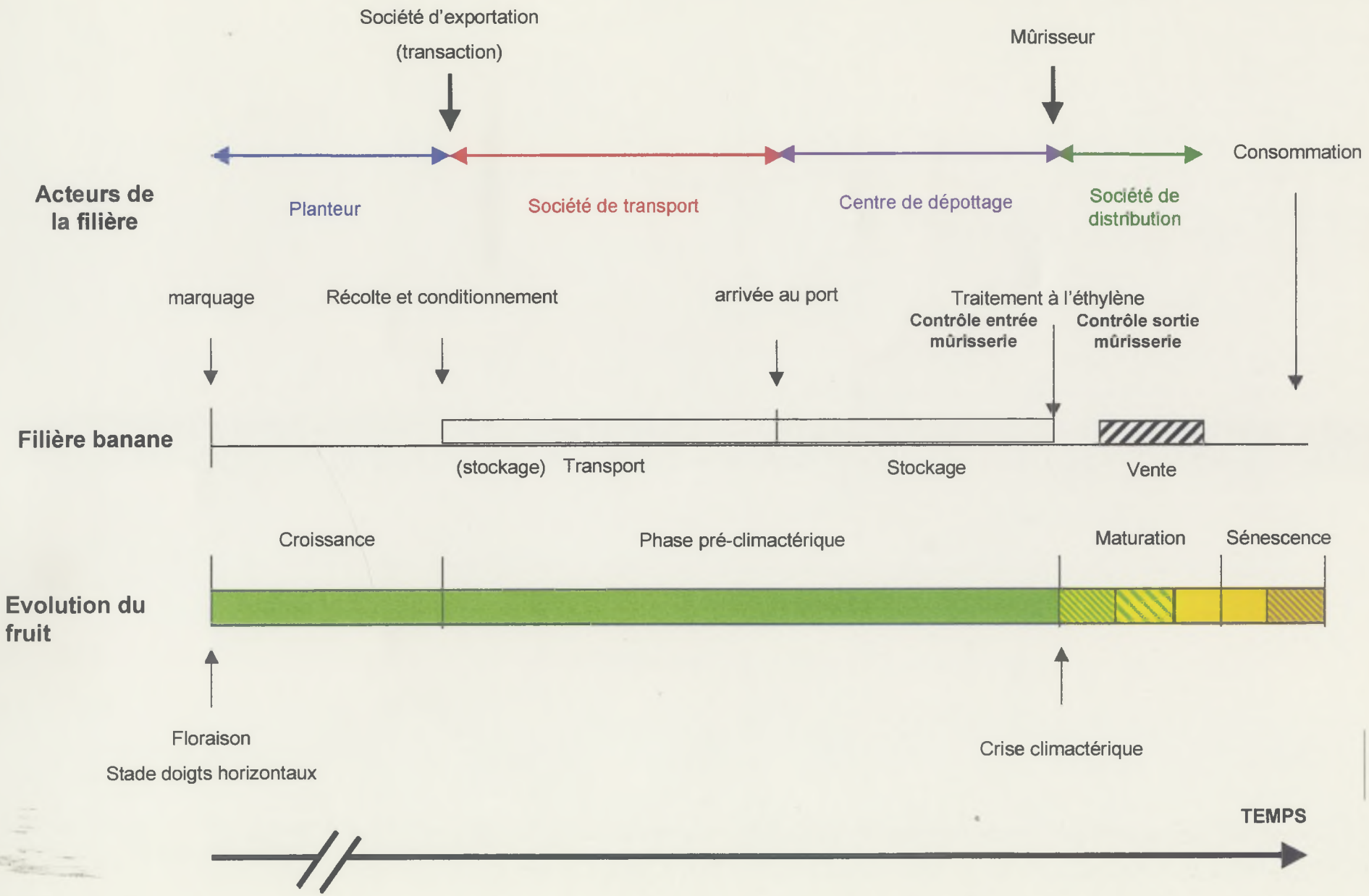


Figure 1.5 : Evolution du fruit au cours de la filière banane

Les différentes étapes de la physiologie du fruit correspondent à celles de la filière banane et inversement

B – Evolution du fruit au cours de la filière banane

Les différents maillons de la filière banane doivent accorder leurs objectifs commerciaux et un certain nombre de contraintes liées au fruit. Ces dernières se retrouvent à chaque étape : production, stockage et transport puis commercialisation (Figure 1.5).

La physiologie du fruit évolue tout au long de ces étapes ; on peut distinguer quatre phases :

- Croissance et développement des fruits jusqu'à la récolte.
- La phase pré-climactérique, appelée aussi "vie verte", qui se caractérise par une faible activité métabolique.
- La phase de maturation proprement dite, dont les principales réactions biochimiques sont déclenchées à la suite d'une intense période d'activité respiratoire appelée crise climactérique.
- La phase de sénescence, lors de laquelle le métabolisme se ralentit et la qualité du fruit se détériore. Les pathogènes sont également susceptibles de se développer à cette étape.

1 - Développement du fruit : étape de production

Dans cette partie, nous n'exposerons que partiellement les pratiques culturales appliquées au bananier et nous soulignerons particulièrement les aspects physiologiques.

1.1 - De la plantation à la récolte

Un climat tropical est nécessaire au bon développement du bananier. Il exige une hygrométrie et un ensoleillement importants. Ses besoins hydriques mensuels sont de l'ordre 120 à 150 mm de précipitation et il est indispensable d'irriguer dans les zones déficitaires. La température optimale de croissance se situe entre 25 et 28 °C.

Un soin particulier est apporté au régime. A la sortie de l'inflorescence, les feuilles gênantes sont éliminées (dégagement). Au stade "doigst horizontaux", le

Figure 6 : régime au stade « doigts horizontaux », gainé et marqué par une bande de couleur

Figure 1.7a : régimes en penderie

Figure 1.7b : Dépattage

Figure 1.7c : Bain et découpe des bouquets

Figure 1.7d : Traitement fongicide

Figure 1.7e : Emballage en cartons

Figure 1.7f : chargement des cartons en containers

Figure 1.7g : containers branchés à un mur de froid

Figure 1.7h : Chargement des containers sur le cargo

Figure 1.7 : Etapes subies par les bananes de la station de conditionnement au transport maritime

régime est recouvert d'une gaine plastique (Figure 1.6) qui permet d'accélérer la croissance des fruits (Berril, 1956 ; Ganry, 1975), de les protéger contre les attaques de thrips (Lachenaud, 1972 ; Rey, 2001) et de parasites fongiques (de Lapeyre de Bellaire *et al.*, 2000). Le développement des fruits se fait de manière parténocarpique et par une accumulation d'amidon. Les bananes commencent par s'allonger puis croissent en diamètre de manière continue jusqu'à la récolte (John et Marshal, 1995), cette croissance étant limitée par un certain nombre de stress. En Guadeloupe, dans la majorité des cas, lorsque les fruits ont atteint un diamètre, ou grade, suffisant (34 mm), les régimes sont récoltées. Une autre pratique consiste à marquer les régimes au stade "doigts horizontaux" et à les récolter à une IFC (intervalle fleur-coupe) déterminé.

Le pied mère est coupé à la récolte. Un des rejetons est alors sélectionné et prend le relais pour un nouveau cycle de culture.

1.2 - Récolte et conditionnement

Les régimes sont découpés au niveau du haut de la hampe et transportés jusqu'à la station de conditionnement où ils sont suspendus sur une penderie (Figure 1.7a). Les pièces florales sont éliminées (épistillage), les mains séparées de la hampe (dépattage, Figure 1.7b) et plongées dans l'eau (Figure 1.7c) additionnée d'agents acidifiants (comme le sulfate d'alumine) pour permettre l'écoulement et la floculation du latex exsudant des zones de coupure. Dans ce bain, les mains sont séparées en bouquets de 5 à 8 doigts reliés entre eux par ce que l'on nomme la couronne, constituée du coussinet et d'un fragment de la hampe. Les bananes subissent ensuite un traitement fongicide (Figure 1.7d) et sont emballées en cartons (Figure 1.7e) de façon homogène selon leur calibre.

2 - La phase pré-climactérique : du producteur au mûrisseur

Nous poursuivrons la présentation des différentes étapes du programme d'exportation subies par les bananes. Nous expliquerons ensuite comment les facteurs influençant la durée de cette phase sont utilisés par les acteurs de la filière.

Rapport-Gratuit.com

Figure 1.8a : Mûr d'arrivage

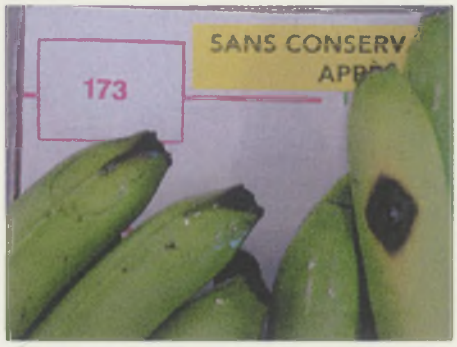


Figure 1.8b : Chancre (anthracnose)

Figure 1.8c : Pourriture de couronne

Figure 1.8 : Principaux défauts observés lors des contrôles en entrée mûrisserie

2.1 - Les étapes de l'exportation

Chez l'expoitant, les cartons sont disposés dans des containers (Figure 1.7f). Ces derniers sont ensuite transportés par camion jusqu'au port où ils peuvent attendre quelques jours après avoir été connectés à une prise de froid (Figure 1.7g) puis chargés sur les bateaux (Figure 1.7h). Le transport maritime dure une dizaine de jours à destination du port de Dunkerque principalement. A l'arrivée, les containers sont déchargés (dépottage), contrôlés pour éliminer les cartons contenant des fruits déjà mûrs (mûr d'arrivage, Figure 1.8a) et stockés à 13°C durant une période pouvant aller jusqu'à environ dix jours selon l'activité du marché. Ils sont ensuite transportés jusqu'au mûrisseries où un contrôle de la qualité sera effectué pour éliminer les fruits abîmés par les maladies de conservation, comme l'anthracnose (Figure 8b) et la pourriture de couronne (Figure 1.8c).

2.2. - Facteurs influençant la phase pré-climactérique

La phase pré-climactérique, appelée aussi "vie verte", est la période située entre la récolte et la crise climactérique qui correspond au début de la maturation du fruit. En conditions expérimentales, la fin de la DVV peut être déterminée en mesurant le pic de CO_2 correspondant à l'augmentation de l'intensité respiratoire (Chillet et de Lapeyre Bellaire, 1996), ou en évaluant la perte de fermeté du fruit (Deullin et Monnet, 1956 ; New et Marriott, 1974 ; Marriott et New, 1975 ; Marriott *et al.*, 1979). Dans la filière commerciale, l'objectif à atteindre est que la crise climactérique ne se produise pas avant l'entrée en mûrisserie. Le contrôle de la physiologie du fruit devient donc critique à cette étape.

De nombreux facteurs influencent la DVV : le stade physiologique du fruit à la récolte, la température, l'humidité relative et la composition atmosphérique (John et Marchai, 1995).

2.2.1 - Stade physiologique du fruit à la récolte

Il existe une relation négative d'allure exponentielle entre l'âge du fruit à la récolte et la DVV (Jullien, 2000).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Le stade physiologique du fruit se mesure en somme de température et est exprimé en degrés jour. Le stade de floraison "doigts horizontaux" correspond à l'âge zéro.

Le nombre de degrés Celcius moyens journaliers supérieur à 14 correspond aux degrés "efficaces" reçus par le bananier. Par exemple, si la moyenne de température mesurée sur une journée est de 26 °C, le bananier aura reçu 12 degrés jour.

Le régime est marqué au stade "doigts horizontaux" à l'aide d'une bande de couleur spécifique (Figure 1.6) qui permet d'identifier la date de floraison. Les données de température permettent de surveiller le développement du fruit afin d'effectuer la récolte au moment voulu (Ganry, 1974). Le nombre de degrés jour est le véritable indicateur du stade physiologique qui n'est pas nécessairement corrélé au grade, notamment lorsque les bananiers sont stressés.

2.2.2 - Température

L'abaissement de la température provoque un ralentissement de l'activité métabolique. La température optimale de conservation des bananes est de 13 °C. En deçà, on assiste à des dégâts du froid (frisure) : taches, voire noircissement, et perte des arômes de la pulpe. Cependant, cette température est plus ou moins critique selon la variété, l'humidité relative et la durée de l'exposition (John et Marchai, 1995). Entre 12,5 et 21,5 °c, la DVV est une fonction linéaire inverse de la température : plus la température est basse et plus la DVV est importante. Entre 15 et 35 °C, cette fonction devient logarithmique (Marriott, 1980).

2.2.3 - Influence de l'humidité relative

En réaction à une faible humidité relative, les bananes subissent un stress hydrique qui déclenche la crise climactérique et diminue donc la DVV. De plus, même si une sécheresse de l'air n'altère pas l'intensité respiratoire, elle modifie la couleur de la peau, la texture de la pulpe et le contenu en sucres solubles (Broughton et Wu, 1979 ; George et Marriott, 1983 ; Tung *et al.*, 1987 ; De Carvalho *et al.*, 1988). Il est donc important de maîtriser cet élément et de conserver les

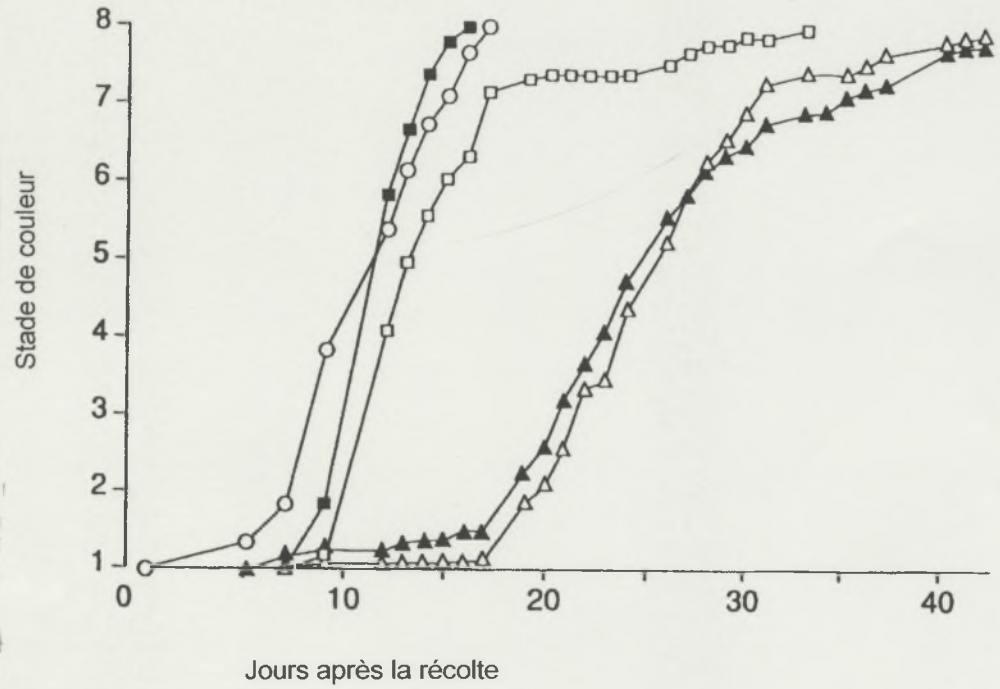


Figure 1.9 : Effet de l'emballage plastique sur la maturation de bananes plantains mesuré par le changement de coloration de la peau durant un stockage à 20 °C (Thompson *et al.*, 1974, tiré de Thompson, 1998)

Cercle vide : non emballé

carré vide : polyéthylène perforé (fruits individuel)

Triangle vide : polyéthylène

carré plein : polyéthylène perforé (6 fruits)

Triangle plein : polyéthylène (évacué)

bananes dans une atmosphère proche de 90 % d'humidité. A l'origine, c'est ce qui a motivé l'emploi des emballages plastique pour conserver les bananes exportées.

2.2.4 - Composition de l'atmosphère gazeuse

La crise climactérique se caractérise par une augmentation intense de la respiration. Elle nécessite donc une forte disponibilité d'oxygène. Ainsi, une atmosphère gazeuse appauvrie en O_2 limite la capacité du fruit à débuter sa crise climactérique. Depuis la fin des années soixante, de nombreux auteurs ont étudié l'effet de différents types d'atmosphères sur la durée de stockage des bananes. Tous s'accordent à dire que des atmosphères en O_2 et CO_2 s'inscrivant dans des gammes approximatives de 2 à 5 % et 5 à 7 % respectivement de ces deux gaz sont optimales pour prolonger la durée de vie verte des bananes. Le CO_2 possède un effet inhibiteur sur la sensibilité à l'éthylène, hormone responsable du mûrissement (Liu, 1976), sur la synthèse endogène d'éthylène intervenant au début de la maturation, ainsi que sur l'activité respiratoire du fruit (Quazi et Freebairn, 1970). Shorter *et al.*, (1987), ont montré que des concentrations relatives de 2 en O_2 et 5 % en CO_2 permettait de multiplier par cinq la DVV des bananes stockées sous atmosphère modifiée. Thompson *et al.* (1974) ont également prouvé cette augmentation de DVV sur des bananes plantain (Figure 1.9). Ces auteurs ont étudié l'effet de ce type d'atmosphère sur la cinétique d'évolution de la maturation des fruits. Ils ont montré leur efficacité mais aussi l'importance de l'étanchéité des emballages : les films perforés avaient une cinétique comparable à celle du témoin non emballé.

Il existe deux méthodes pour établir ces atmosphères gazeuses. Il en résulte deux appellations différentes qui sont l'atmosphère contrôlée et l'atmosphère modifiée.

a - Atmosphère contrôlée

L'atmosphère contrôlée est établie par un appareillage captant l'oxygène et diffusant du dioxyde de carbone de manière à conserver des concentrations en gaz pré-établies. Ce système existe dans les cales de certains bateaux. Les bananes de Guadeloupe voyagent en containers sur le pont des navires et ne peuvent donc pas bénéficier de ce type de traitement.

b - Atmosphère modifiée

Cette solution a déjà été adoptée par certains planteurs antillais. L'atmosphère modifiée s'établit par conditionnement des bananes dans un sac plastique hermétique, usuellement appelé polybag. Ce dernier se présente sous la forme d'un sac disposé à l'intérieur du carton d'emballage et fermé hermétiquement. En respirant, la banane va consommer l'oxygène disponible et relarguer du CO_2. Les concentrations relatives en gaz à l'équilibre dépendent de l'intensité respiratoire du fruit, de la perméabilité sélective du plastique à ces gaz (Wade et Graham, 1987), de la température de stockage et de l'activité éventuelle de micro-organismes (Thompson, 1998). La masse de fruit emballés influence également la concentration en gaz (Zagory, 1990). La perméabilité du film aux différents gaz implique trois phases (Wade et Graham, 1987) : la solubilisation des gaz dans le polymère, la diffusion à travers le film selon le gradient de concentration et l'émergence de l'autre côté du polybag. La diffusion de CO_2 et d'O_2 à travers le film varie selon le matériau mais, en général, ils sont quatre à six fois plus perméables au dioxyde de carbone qu'a l'oxygène.

Il existe de très nombreux types de films plastique, mais nous nous limiterons à la description des matériaux qui sont utilisés pour la conservation des bananes. Ce sont des polymères de synthèse appartenant à la classe des thermoplastiques, composés macromoléculaires linéaires dont la caractéristique principale est la thermoplasticité. Il existe des polyéthylène de basse densité (0,910 à 0,935 $g.cm^{-1}$) et de haute densité (0,995 à 0,970 $g.cm^{-1}$). Ils sont peu perméables à la vapeur d'eau mais laissent facilement passer les autres gaz, à la différence des films en polyamide. Ces derniers possèdent une forte perméabilité à la vapeur d'eau et une faible perméabilité aux autres gaz, en particulier à l'oxygène et au dioxyde de carbone.

Il est possible de conserver, sans réfrigération, des bananes vertes durant 40 jours et plus (Satyan *et al.*, 1992), ce qui est potentiellement intéressant dans les régions tropicales où la réfrigération n'est pas toujours possible. Mais le prolongement de la DVV par conditionnement sous atmosphère modifiée est encore plus intéressant lorsque la température est abaissée (Scott et Gandanegara, 1974).

c – Contraintes imposées par les atmosphères gazeuses

Toxicité pour le fruit

Des concentration en CO_2 trop importantes peuvent devenir toxiques pour le fruit. Wei et Thompson ont montré par exemple que, chez des bananes du groupe génomique AA, des teneur en CO_2 comprises entre 5 et 14 % assombrissaient la peau et amollissaient la pulpe à sa périphérie alors que le centre restait dur et astringent.

Lorsque l'on utilise les atmosphères modifiées, le choix du polybag doit faire l'objet d'une attention particulière. Sa perméabilité aux gaz doit être suffisante pour éviter ce genre de risques.

Défauts de maturation

Au moment du mûrissage, les fruits doivent être replacés à l'air ambiant car les atmosphère trop riches en CO_2 et/ou trop pauvres en O_2 influencent la maturation. On risque alors le bouilli vert, maturation de la pulpe sans évolution de coloration du vert au jaune, (Fuchs et Temkin-Gorodeiski, 1971 ; Wade, 1974) ou une altération des propriétés organoleptiques et de la coloration de la peau (Hassan *et al.*, 1987).

Les polybags conditionnant les bananes doivent donc être déchirés avant le traitement à l'éthylène, ce qui représente une contrainte importante pour les mûrisseurs qui recommandent plutôt l'utilisation de sac prédécoupés. Ceux-ci ne sont pas hermétiques et donc totalement perméables aux gaz.

3 - La phase de maturation

3.1 - Mûrissage

Les fruits climactériques comme les bananes se caractérisent par une synthèse d'éthylène au début de la maturation. Elle diminue ensuite rapidement une fois la crise climactérique engagée. L'augmentation de la production d'éthylène

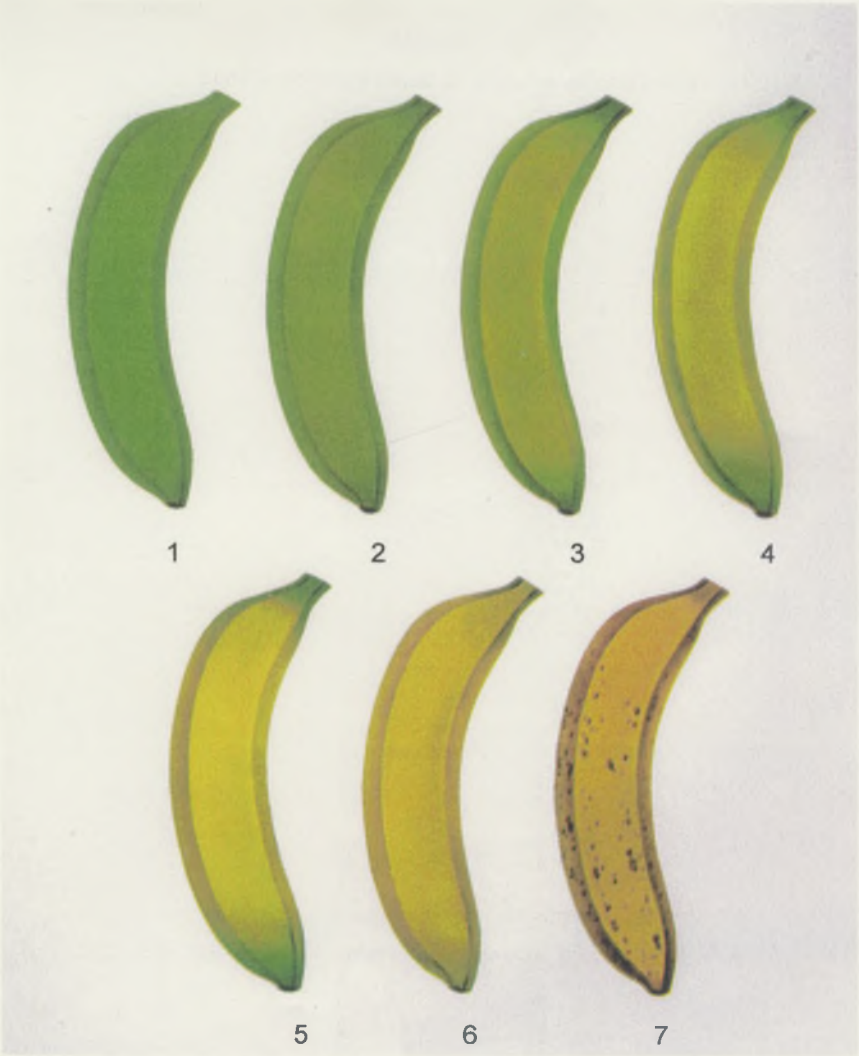


Figure 1.10 : Echelle colorimétrique de l'épiderme (d'après l'IRFA, 1980)

1 : Fruit vert
2 : vert clair
3 : tournant vert
4 : tournant jaune
5 : jaune à extrémités vertes
6 : Fruit jaune
7 : Tigrée

endogène (de 0,1 à 4,0 $ppm.kg^{-1}.h^{-1}$) peut-être induite par l'application d'éthylène exogène (Brady, 1987). C'est de cette manière que les fruits sont mûris artificiellement. Plus le fruit se trouve à un stade physiologique avancé, plus la réponse à une dose d'éthylène donnée est rapide (Germain, 2002). Habituellement, le mûrissage des bananes commercialisées s'effectue en appliquant une concentration d'éthylène de 1000 ppm durant 24 heures à une température de 16 à 18 °C. L'acétylène possède une action similaire à l'éthylène et il est également efficace pour le mûrissage des bananes mais doit être employé à des concentrations plus élevées (Thompson et Seymour, 1982).

3.2 - Evolution de quelques caractéristiques biochimiques

La maturation se caractérise par une dégradation de l'amidon en sucres tels que le fructose, glucose et saccharose (John et Marshal, 1995). Cette hydrolyse augmente la teneur en eau des bananes durant la maturation. Cette augmentation est également due à une migration osmotique d'eau de la peau vers la pulpe, alors plus concentrée en sucres. Le passage de la couleur verte à la couleur jaune se fait par la dégradation de le chlorophylle qui révèle la pigmentation des caroténoïdes déjà présents. Les composés aromatiques s'accumulant durant la maturation sont dérivés de processus métaboliques impliquant la formation d'esters et d'alcools. Les composés phénoliques diminuent dans la pulpe et les pectines sont hydrolysées, causant l'amollissement du fruit.

4 - La phase de sénescence

Juste avant la commercialisation, les bananes subissent un deuxième contrôle, dit de "sortie mûrisserie" lors duquel les fruits contaminés présentant des défauts de présentation sont éliminés. Elles arrivent sur les étals au stade jaune-vert (coloration 3-4, voir Figure 1.10) et continuent leur évolution en rayon et chez l'acheteur jusqu'à la consommation. Cette évolution est remarquable par le changement d'aspect extérieur du fruit : jaunissement de plus en plus étendu et intense jusqu'à l'apparition de taches brunes (tigrage, Figure 1.10), qui sont un indicateur de l'état de sénescence avancé (Liu, 1976). La pulpe poursuit sa

maturation jusqu'au pourrissement, lors duquel les propriétés organoleptiques se dégradent et les micro-organismes peuvent se développer.

C - La maladie de la pourriture de couronne

La pourriture de couronne est une maladie de conservation d'origine fongique dont l'étiologie est complexe. Elle affecte la couche de tissus réunissant les pédoncules des fruits entre eux (couronne).

Cette maladie s'est fortement développée à la fin des années 1950, lorsque la variété "gros Michel", sensible à la maladie de Panama, a été remplacée par des variétés résistantes de type "cavendish" (Slabaugh et Grove, 1982). Ces dernières, étant trop fragiles pour voyager par régime entier, furent transportées en cartons sous forme de mains puis de bouquets. La découpe du régime, en exposant les tissus blessés, favorise la contamination par les champignons et le développement de la maladie.

1 - Symptômes de la maladie

La pourriture de couronne (Figure 1.11) se manifeste par un ramollissement des tissus infectés qui s'accompagne d'un noircissement . Une couche de mycélium peut être observable à la surface de la couronne. La pourriture gagne parfois le pédoncule et la pulpe. Ceci diminue la cohérence des bouquets et affecte la commercialisation. De plus, le développement de la maladie stimule la maturation (Slabaugh et Grove, 1982), augmentant encore les pertes dues au mûrs d'arrivage (Figure 1.11).

Figure 1.11: Pourriture de couronne sur un bouquet de bananes au stade entrée mûrisserie.

Les pédoncules et la couronne sont nécrosés et présentent un mycélium blanc en surface. Un fruit s'est détaché du bouquet.
Les fruits sont jaunis avant leur mûrissage (mûr d'arrivage)

Rapport-Gratuit.com

Figure 1.12a : acervule de *Colletotrichum*

Tiré de Barnett et hunter, 1972

Figure 1.12b :culture de *Colletotrichum musae* sur milieu de Mathur

(photo : de Lapeyre de Bellaire, 1999)

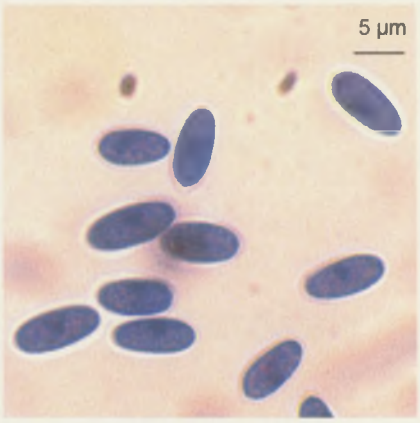


Figure 1.12c : Conidies de *C. musae* colorées au bleu trypan

(photo : de Lapeyre de Bellaire, 1999)

Figure 1.12d : appressoria différenciés à partir d'une conidie

(photo : de Lapeyre de Bellaire, 1999)

Figure 1.12 : *Colletotrichum musae*

2 - Agents causaux

Contrairement à la plupart des maladies de la banane, la pourriture de couronne n'est pas causée par un seul microorganisme. C'est une maladie qui est liée à la sénescence des tissus. Les nombreuses espèces fongiques qui sont fréquemment isolées et capables de provoquer des nécroses sur la couronne sont des hôtes non spécifiques et opportunistes, leur développement se faisant de manière saprophytique. Cependant, les parasites les plus souvent retrouvés et dont le pouvoir pathogène est le moins remis en cause sont *Colletotrichum musea,* deux espèces de *Fusarium* : *F. pallidoroseum*, et *F. moniliforme*, *Botryodiplodia theobrome* et le genre *Cephalosporium* (Finlay et Brown, 1993 ; Knight, 1982 ; Wallbridge, 1982).

2.1 - *Colletotrichum musae* (Berk et Curt.) Arx

C. musae appartient à l'ordre des Mélanconiales : en conditions naturelles, les conidies sont produites dans des acervules (Figure 1.12a). En culture, les conidiophores sont isolés ou forment de très nombreuses masses sporifères de couleur saumonée qui confèrent à la culture un aspect orangé (Figure 1.12b).

Les acervules du genre *Colletotrichum*, sont en forme de disque, cireuses et sub-épidermiques. La caractéristique qui différencie ce genre de celui des *Gloeosporium* est la présence de soies ou d'épines sombres parmi les conidiophores (Figure 1.12a) (Barnett et Hunter, 1972).

Les conidiophores sont simples et allongés. Les conidies sont unicellulaires, hyalines, ovales à elliptiques (Figure 12c) et différencient des appressoria brun foncé et très lobés (Figure 1.12d) (Cox et Irwin, 1988).

C. musae est considérée comme une espèce proche de *C. gloeosporioides* pour ses caractéristiques morphologiques mais c'est un pathogène spécifique du genre *Musa*, causant diverses maladies, notamment l'anthracnose du fruit (Figure 1.8d). Il vit de manière saprophytique sur les pièces florale et les bractées, et la dissémination de ses spores se fait préférentiellement par l'eau (de Lapeyre de Bellaire *et al.*, 2000)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 1.13a : pycnide de *Botryodiplodia*

Tiré de Barnett et Hunter, 1972)

Figure 1.13 : *Botryodiplodia spp*

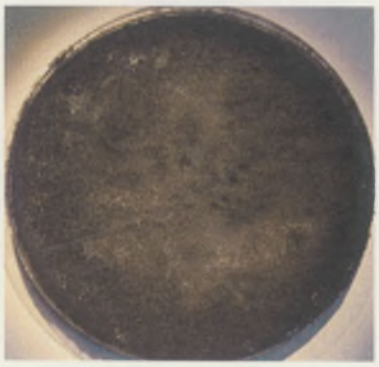


Figure 1.13b : Culture de *Botryodiplodia sp.* sur milieu PDA

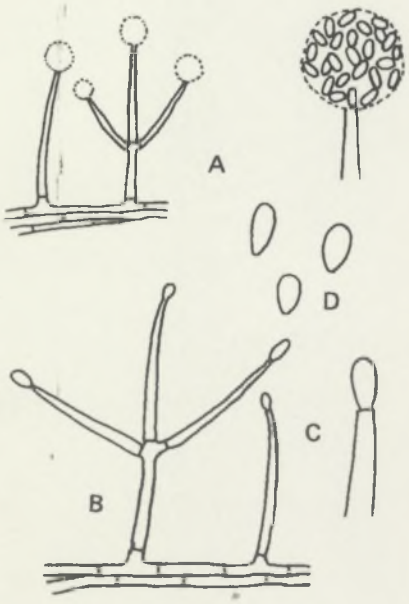


Figure 1.14b :

A : conidiophores et conidies dans la goutte gélatineuse

B et C : phialides

D : conidies

Tiré de Barnett et Hunter, 1972

Figure 1.14a : Culture de *Cephalosporium sp.* Sur milieu PDA

Figure 1.14 : *Cephalosporium spp*

2.2 - *Botryodiplodia spp.*

Les conidies de ce genre sont produites dans des structures dures nommées pycnides (Figure 13a), ce qui le classe dans l'ordre des Sphaeropsidiales.
Le mycélium est gris sombre voire noir en condition de culture (Figure 1.13b). Les pycnides sont noires et ostiolées et les conidiophores sont simples et courts. Les conidies (Figure 1.13c) sont d'abord simples et hyalines pour devenir pigmentées et septées à maturité (Barnett et Hunter, 1972).

En plus de la pourriture de couronne, *Botryodiplodia* est l'agent de la pourriture des doigts. Cette maladie se développe à partir du site de fixation des pièces florales vers le pédoncule, transformant la pulpe en une masse sombre, noircissant et craquelant la peau du fruit (Jones et Stover, 1999).

2.3 - *Cephalosporium spp.*

Le genre Cephalosporium fait partie de l'ordre des Moniliales car ses conidies sont produites directement sur le mycélium.

En conditions de culture, le mycélium est blanc (Figure 1.14a). Les conidiophores et les phialides sont fins et le plus souvent simples. Les conidies (appelées aussi phialospores, Figure 1.14b) sont unicellulaires, hyalines et contenues dans une goutte gélatineuse (Figure 1.14c).

C'est un champignon parasite ou saprophyte. Il a été retrouvé sur les zones marginales aux lésions des feuilles de bananiers (Meredith, 1962). Outre la pourriture de couronne, c'est un agent secondaire de la pourriture du cœur du pseudo-tronc du bananier, et semble être l'agent de taches de l'inflorescence de l'ensete, Musacée proche du genre *Musa* (Quimio et Tessera, 1966).

2.4 - *Fusarium pallidoroseum* et *Fusarium moniliforme*

Comme le genre *Cephalosporium*, le genre *Fusarium* fait partie de l'ordre des Moniliales.

Figure 1.15 : macroconidies de *Fusarium*

Tiré de Nelson *et al.*, 1983

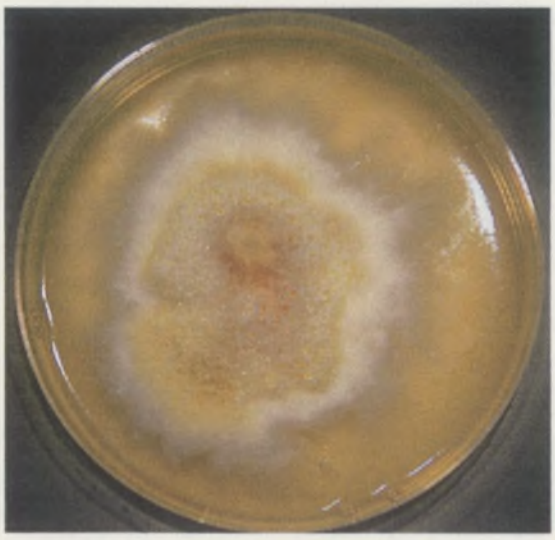


Figure 1.16 : Culture de *Fusarium pallidoroseum* sur milieu PDA

En culture, le mycélium est extensif et cotonneux. Une coloration de la culutre est souvent observable sur le milieu ou le mycélium et permet de distinguer les taxons.

Les conidiophores ont des formes variables : fins et simples ou épais et courts, irrégulièrement ramifiés ou portant des spires de phialides, seuls ou groupés dans des sporodochies.

Les conidies (phialospores) sont hyalines et peuvent être séparées en deux types : les macroconidies et les microconidies. Les macroconidies sont formées de plusieurs cellules et typiquement en forme d'aiguille (Figure 1.15). Les microconidies, quant à elles, sont unicellulaires, ovoïdes ou oblongues. Il existe des conidies intermédiaires formées de 2 ou 3 cellules, oblongues et légèrement courbes (Barnett et Hunter, 1972).

Comme sur le *C. musae*, les spores des espèces de *Fusarium* impliquées dans la malaldie de pourriture de couronne, sont déjà présents sur les pièces florales des bananiers et sont aussi disséminés par l'eau (de Lapeyre de Bellaire et Mourichon 1997). La contamination par des spores de *Fusarium* présentes dans l'eau de lavage des fruits est importante (Shillingford, 1976). Dans les bananeraies, les spores sont également présentes dans l'air (Lukezic et Kaiser, 1966).

2.4.1 - *Fusarium pallidoroseum* (Cooke) Saccardo

F. pallidoroseum présente une croissance rapide en culture, un mycélium aérien blanc virant au pêche, ou jaune virant au brun clair (Figure 1.16).

Il existe des macroconidies primaires et secondaires. Les macroconidies primaires sont formées dans le mycélium par des cellules polyblastiques proliférant de manière sympodique. Les macroconidies secondaires sont formées par des phialides simples groupées dans des sporodochies. Ces conidies ont une cellule basale typiquement en forme de pied (Booth et Sutton, 1984).

Sur le genre *Musa*, *F. pallidoroseum* est responsable, avec d'autres champignons, de maladies comme "diamond spot", la pourriture du pédoncule et le "fungal scald".

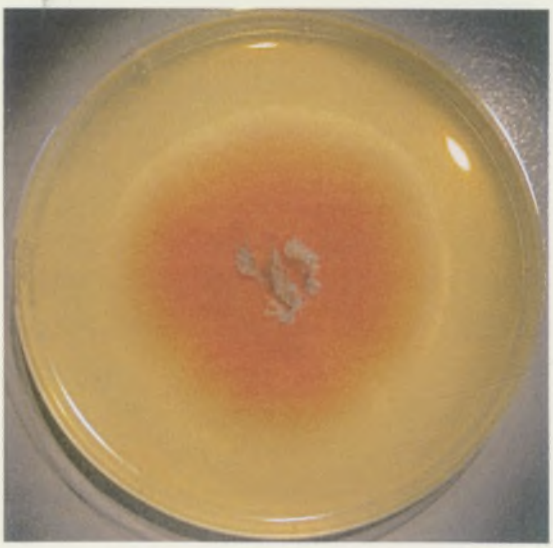


Figure 1.17 : culture de *Fusarium moniliforme* sur milieu PDA

2.4.2 - *Fusarium moniliforme* Sheldon

F. moniliforme est un champignon à croissance rapide. Son mycélium aérien est blanc, souvent teinté de violet (Figure 1.17).

Les microconidies sont abondantes et en chaîne. Elles présentent une forme ovoïde ou en club de golf avec une base aplatie. Les macroconidies sont souvent rares. Leur forme est variable, incurvées ou droites, mais elles présentent toujours une cellule basale podiforme (Nelson *et al.*, 1983).

Ce champignon est l'agent initiant la maladie de pourriture du cœur du pseudo-tronc du bananier et a également été isolé sur des lésions de la maladie dite "du bout noir" (Meredith, 1965).

3 – Methodes de lutte contre la pourriture de couronne

3.1 - Technique de découpe

Il a été montré que lorsque la découpe est réalisée de manière nette avec des outils propres et tranchants au lieu d'arracher la couronne de la hampe, la maladie est moins développée (Finlay *et al.*, 1992). Les champignons se développant de manière saprophytique, les fragments de tissus arrachés se déshydratant rapidement offrent des conditions favorables à l'établissement de la maladie. La couronne doit aussi être la plus haute possible pour retarder la colonisation des pédoncules, et non pointue : la surface supportant le poids du fruit étant réduite, la couronne aurait tendance à s'écraser et se nécroser.

3.2 -Mesures prophylactiques

La qualité des mesures d'hygiène est prépondérante en raison du caractère peu spécifique de la maladie et du grand nombre d'espèces fongiques qui peuvent se développer et causer des nécroses sur les couronnes.

Le passage par le bain de lavage des fruits est la cause la plus importante de contamination, puisque les fruits blessés sont directement plongés dans une eau potentiellement contaminée. Il est alors recommandé de la renouveler fréquemment

(Shillingford, 1976) et d'y ajouter des désinfectants comme le chlore (Arneson, 1960) ou des ammoniums quaternaires (Shilingford, 1977).

3.3 - Mesures physiques

Le traitement à l'eau chaude est une méthode qui a été testée sur plusieurs parasites, dont *Colletotrichum* et *Fusarium* (Burden, 1968 ; López-Cabrera et Marrero-Domìnguez, 1998) et semble efficace contre ces champignons. Dans le cas de *C. musae*, un traitement de 2 minutes dans une eau à 55 °C détruisait les conidies sans endommager la pulpe du fruit.

Le traitement au rayons gamma semble être efficace pour limiter le développement de *C. musae* (Ferguson *et al.*, 1966). Cependant, ces test ont été effecutés dans le cas du chancre et aucune référence n'est disponible pour l'effet de ces rayonnements sur les pourriutres de couronne.

3.4 - Lutte chimique

L'important progrès dans l'utilisation des fongicides s'est produit à la fin des années soixante avec l'arrivée des fongicides systémiques dérivés du benzimidazole (thiabendazole et benomyl). Ils sont appliqués par immersion ou aspersion. Leur action est anti-mitotique : ils inhibent la polymérisation des tubulines. En Guadeloupe, les produits utilisés en post-récolte ont le même mode d'action que ceux appliqués au champs pour lutter contre une maladie foliaire du bananier, la cercosporiose (*Mycosphaerella musicola)*. L'apparition de souches résistantes au thiabendazole qui a déjà été observée (de Lapeyre de Bellaire et Dubois, 1997) est consécutive à l'emploi exclusif du benomyl durant un longue période (1972-1982) en traitement aérien. Ceci représente une limite au recours à la lutte chimique, même si de nouvelle matières actives ont été homologuées récemment pour le traitement post-récolte des bananes, comme le bitertanol. Ce dernier est un fongicide agissant sur la biosynthèse de l'ergostérol. A terme, son efficacité est aussi menacée car des traitements ayant le même mode d'action sont utilisés depuis 1984 pour lutter contre la cercosporiose du bananier. De plus, les consommateurs sont maintenant soucieux

de la préservation de l'environnement et de la santé humaine et se tournent préférentiellement vers des produits n'ayant pas fait l'objet de traitement post-récolte.

3.5 - Lutte biologique

L'utilisation de microorganismes antagonistes comme les bactéries et les levures est une perspective attractive et a déjà été testée (Chuang et Yang, 1993 ; Kraus, 1996 ; de Costa *et al.*, 1997 ; Postmaster *et al.*, 1997).

Le latex de papayer donnerait également de bons résultats sur le contrôle de la pourriture de couronne en conditions expérimentales (Indrakeerthi et Adikaram, 1996) et pourrait aussi représenter une intéressante possibilité.

L'application de polymères comestible ou l'addition d'acides organiques pourrait être un autre moyen de lutte. Leur action n'est cependant pas directe sur les parasite mais via l'augmentation de la DVV, et leur application ne permettrait que de limiter les doses de fongicides utilisés (Zaemey *et al.*, 1993).

3.6 - Lutte génétique

Il semble exister des différences de sensibilité à la pourriture de couronne selon le génome considéré. D'après Stover (1972), les bananes du type génomique AAA sont très sensibles à la pourriture de couronne alors que le problème est rare chez les bananes de type plantains (AAB). Au sein du groupe génomique AAA, les cultivars Valery et Robusta ont développé des pourritures légèrement plus importante que la variété Lacatan après l'infection par *C. musae* (Shillingford et Sinclair, 1977).

Un cultivar obtenu au Honduras, le "FHIA-01® (AAAB, syn. "Goldfinger") a présenté une sensibilité nettement moins importante à certaines espèces de champignon isolées en Amérique latine. Cependant, cette résistance ne s'est pas vérifiée pour le pathogène *F. moniliforme* (Marin *et al.*, 1996).

Rapport-Gratuit.com

3.7 – Ralentissement de l'activité métabolique du fruit

Dans le cas de l'anthracnose, le fruit conserve, durant la phase pré-climactérique, une grande partie de la résistance du fruit non mûr (Muirhead et Jones, 1999) : les appressoria de *C. musae* restent dans un état quiescent jusqu'à la maturation des fruits (Muirhead et Deverall, 1981).

Même s'il semble que le fruit vert possède un certain niveau de résistance à la pourriture de couronne (Muirhead et Jones, 1999), la relation entre le stade de maturité des fruits et leur niveau de sensibilité à la pourriture de couronne n'a jamais été établie.

Nous avons vu que les atmosphères modifiées allongeaient la DVV durant laquelle le fruit possède une faible activité métabolique et un certain niveau de résistance aux pourritures de couronne. Certains auteurs soutiennent que les atmosphères modifiées ou contrôlées réduiraient l'incidence de certaines maladies de conservation (Slabaugh et grove, 1982 ; Stover et Simmonds 1987 ; Sarananda et Wilson Wijeratnam, 1997). Cela a été démontré dans le cas de l'anthracnose de blessure due à *C. musae* (Chillet et de Lapeyre de Bellaire, 1996) et pour la pourriture de couronne initiée par *C. musae* (Pacico, 2001). D'autres auteurs ont montré que sur certains parasites, les atmosphères modifiées auraient un effet nul ou suppresseur. Sur d'autres, leur effet serait stimulateur (Wade *et al.* , 1993).

Quelque soit le type d'action des atmosphères modifiées, lorsque la concentration en CO_2 est inférieure à 20 % il n'a pas d'effet sur la germination des conidies et la croissance mycélienne de *C. musae* quand il se trouve en culture (de Lapeyre de Bellaire *et al.*, 1998).

Problématique du sujet

Les bananes originaires des Antilles françaises ont, comme nous l'avons signalé au début de cette introduction, d'importants défauts de qualité causés notamment par les maladies de conservation. Les planteurs Guadeloupéens et Martiniquais sont directement pénalisés par une forte réduction du prix de vente voire même par la perte totale des revenus de leur production. Notre travail a porté plus particulièrement sur les défauts liés à la pourriture de couronne et sur facteurs qui

influencent sa progression dans le but de développer des méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique.

La relation parasitaire de cette maladie est très peu spécifique. La sénescence des tissus conditionne le développement saprophytique des champignons.

C'est lorsque débute la sénescence que les tissus sont les plus sensibles. Elle débute lorsque la "vie verte" des fruits se termine. Il existe un lien direct entre la durée de " vie verte" (DVV) et la sénescence, et entre la sénescence et la sensibilité à la maladie. Comment la DVV et la sensibilité sont-elles liées ? La DVV permet-elle de déterminer la sensibilité du fruit ?

Plusieurs méthodes permettant d'influencer la DVV des bananes ont été exposées. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à deux de celles-ci : le stade physiologique du fruit à la récolte et le conditionnement sous atmosphère modifiée.

On sait que le stade de maturité des bananes au moment de la récolte conditionne leur DVV. Elle est d'autant plus importante qu'ils sont récoltés tôt. La relation existant entre le stade de maturité des fruits et leur sensibilité à la pourriture de couronne n'a encore jamais été établie. Nous étudierons alors s'il existe une relation entre l'âge physiologique du fruit à la récolte, la durée de "vie verte" et le développement de la maladie.

Nous savons que la colonisation des couronnes par le champignon *C. musae* est limité lorsque les bananes sont stockées sous différents types d'atmosphères modifiées. Cette étude nous permettra de connaître l'effet des atmosphères modifiées sur le développement des pourritures initiées par d'autres parasites. Plusieurs types d'emballage seront testés. Nous ne connaissons pas leur effet sur la DVV des bananes de type Cavendish à la température de stockage classique (13°C). Nous testerons donc leur efficacité à prolonger la DVV. Elle sera ensuite encomparée avec l'influence qu'ils exercent sur la maladie pour vérifier s'il existe ou non un lien étroit entre la DVV et la sensibilité des bananes à la maladie.

Cette étude nous permettra d'apporter des éléments nouveaux dans la connaissance de la maladie de la pourriture de couronne et des moyens de lutter contre celle-ci.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Elle devrait permettre aussi de conseiller les planteurs pour améliorer la production bananière antillaise. L'objectif final étant l'obtention de fruits de bonne qualité qui pourraient bénéficier d'un label "sans traitement après récolte", afin de concurrencer les bananes étrangères sur un autre segment de marché.

Chapitre 2 :

Matériel et Méthodes

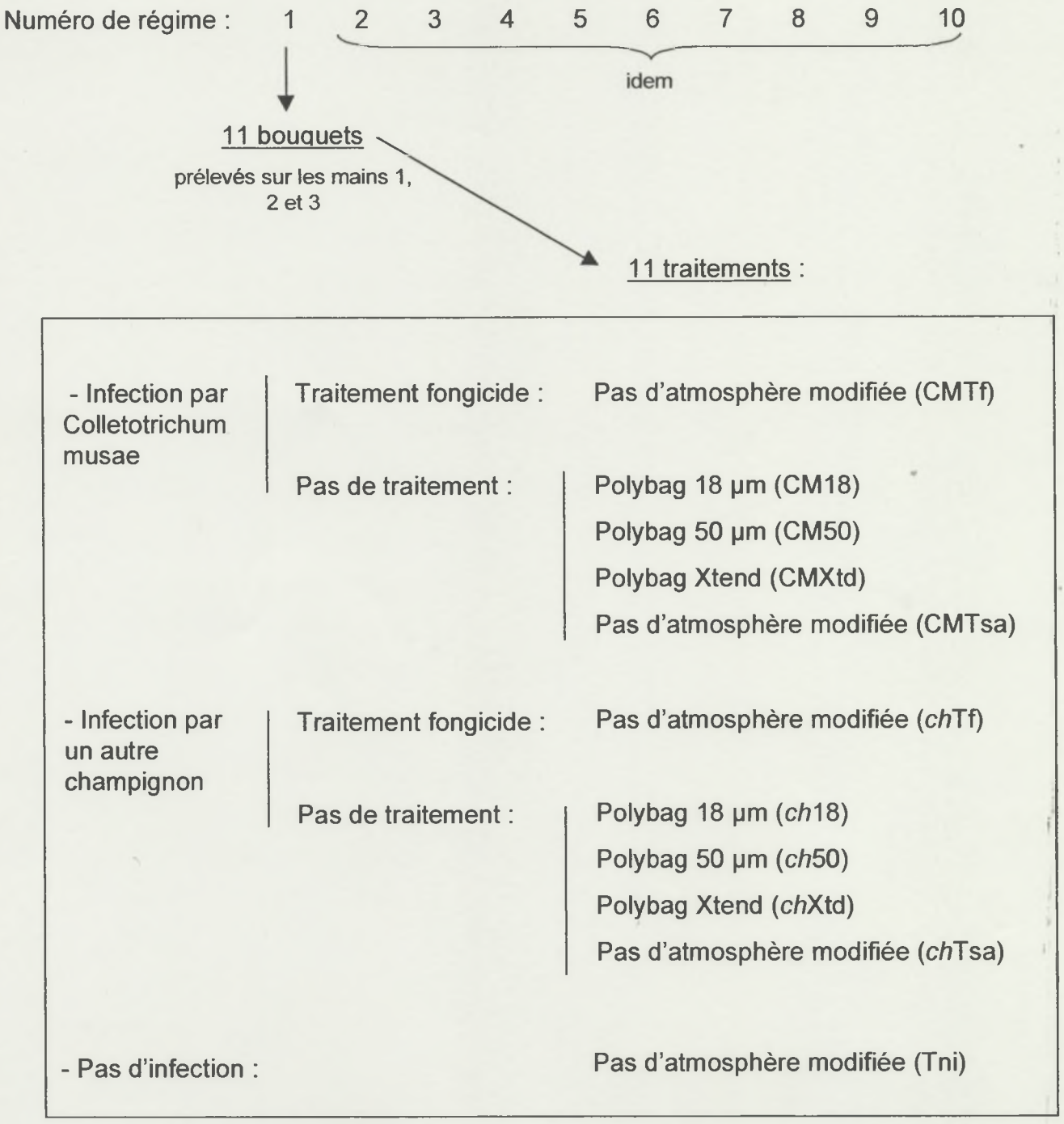


Figure 2.1 : Schéma de l'expérimentation sur l'effet des atmosphères modifiées sur la pourriture de couronne. Chaque régime a subi les 11 traitements : CMTf, CM18, CM50, CMXtd, CMTsa, *ch*Tf, *ch*18, *ch*50, *ch*Xtd, *ch*Tsa, Tni (où *ch* représente les initiales du champignon considéré) ; 1 bouquet subissant 1 traitement. Cet essai est répété 3 fois

A - Effet des atmosphères modifiées sur les pourritures de couronne

Le but de l'expérimentation a été d'analyser l'effet du conditionnement en polybag (c'est à dire sous atmosphère modifiée) sur le contrôle des pourritures de couronne dans des condition. Trois types de polybags ont été testés : polyéthylène basse densité de 18 µm et 50 µm, et polyamide Xtend®. Les atmosphères gazeuses induites par ces types d'emballage ont été préalablement mesurées (15 bouquets) et sont les suivantes :

	O2	CO2
Polybag 18 µm	12 à 14 %	2 %
Polybag 50 µm	2 à 3 %	4 à 6 %
Polybag Xtend®	14 à 16 %	10 à 12 %

Cinq champignons ont été utilisés. Le nombre de bouquets homogènes disponibles sur un même régime étant limité, ils ont été testé deux à deux en utilisant à chaque fois *C. musae* comme référence (Figure 2.1). Un test deux à deux correspond à une expérimentation et elle a été répétée 3 fois.

Un régime à 900 degrés jour (mains 1, 2 et 3), a subi les 11 traitements de l'expérimentation. Ceci a été effectué sur 10 régimes. Les 10 bouquets subissant le même traitement et provenant des 10 régimes différents ont été conditionné dans le même carton. Pour les traitements de type "atmosphère modifiée", 5 bouquets supplémentaires ont été ajoutés pour conserver le rapport surface de sac / poids de fruits. Avant le conditionnement, les fruits devant subir le traitement fongicide ont été plongés dans une solution de Mertect® 20S (2 $mL.L^{-1}$), durant deux minutes.

Après emballage, les bananes ont subi une simulation du programme d'exportation et le développement des pourritures de couronne ont été évalués en entrée et en sortie mûrisserie. Une mesure d'atmosphère a été réalisée en entrée mûrisserie.

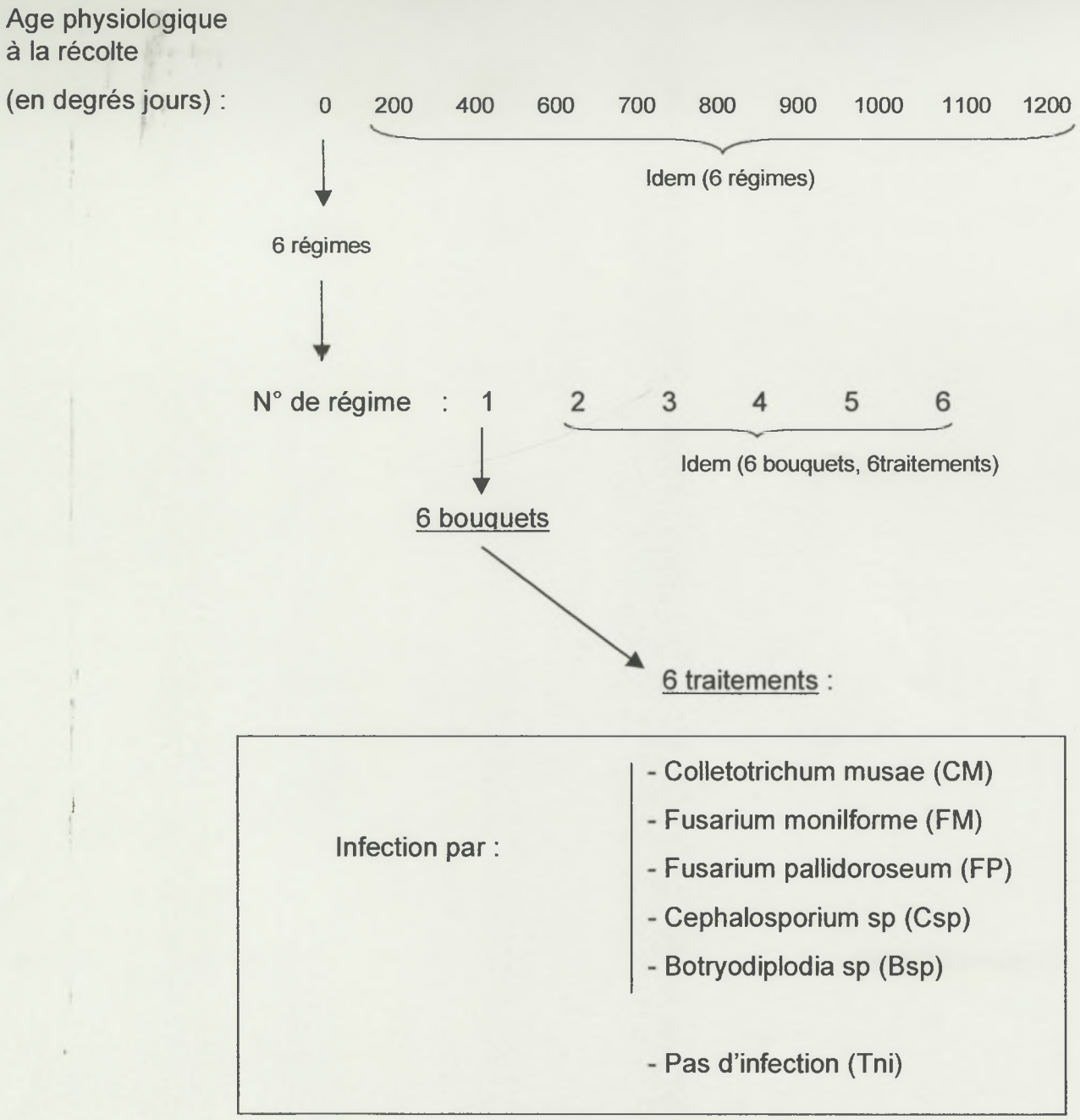


Figure 2.2 : Schéma de l'essai sur l'effet de l'âge physiologique sur les pourritures de couronne. Chaque régime de chaque âge physiologique a subi 6 traitements : CM, FM, FP, Csp, Bsp, Tni ; 1 bouquet subissant 1 traitement. Cet essai a été répété 3 fois

B - Effet de l'âge physiologique des fruits à la récolte sur le développement des pourritures de couronnes

Le but de l'expérience est de montrer s'il existe un lien entre l'âge physiologique des fruits à la récolte et le développement des pourritures de couronne. Les fruits ont été récolté après avoir accumulé des sommes de température variant de 0 à 1100 degrés jour (Figure 2.2). Un régime (mains 2 et 3) a subi 6 traitements. Cinq d'entre eux correspondent à l'infection par les 5 champignons retenus pour l'expérience et le sixième au témoin non inoculé. Six régimes par stade ont été utilisés pour un essai qui a été répété 3 fois.

Après emballage, les bananes ont subi une simulation du programme d'exportation et le développement des pourritures de couronne ont été évalués en entrée et en sortie mûrisserie.

C - Effet des atmosphères modifiées et du stade physiologique à la récolte sur la durée de vie verte

Le but de l'essai a été d'analyser la relation entre les atmosphères modifiées, l'âge physiologique des fruits à la récolte, et la DVV. La figure 2.3 résume le protocole expérimental. Un régime (main 2) a été découpé en une dizaine de bouquets. Quatre ont servi aux essais en bouquet unique. Les autres ont formé, avec les bouquets restants des autres régimes du même âge, un assortiment de 45 bouquets qui a été séparé en trois groupes équivalent pour les essais en carton. Cinq âges physiologiques ont été testés à raison de 10 régime par âge (10 répétitions). Après la récolte et la découpe, les bouquets ont été traités avec un fongicide (Baycor® 300 EC à la concentration de 200 ppm de bitertanol) afin d'éviter le développement de parasites qui risqueraient de diminuer artificiellement la DVV.

Les essais en bouquet unique représentent un modèle qui a été préalablement validé (Chillet *et al.*, 1995), et répondent à une contrainte de quantité de régimes disponible et d'une capacité de stockage réduite. Les polybags vendus dans le commerce sont étudiés pour recevoir environ 18,5 kg de fruits. Cependant, un bouquet de quatre bananes représente approximativement 800 g. Afin de

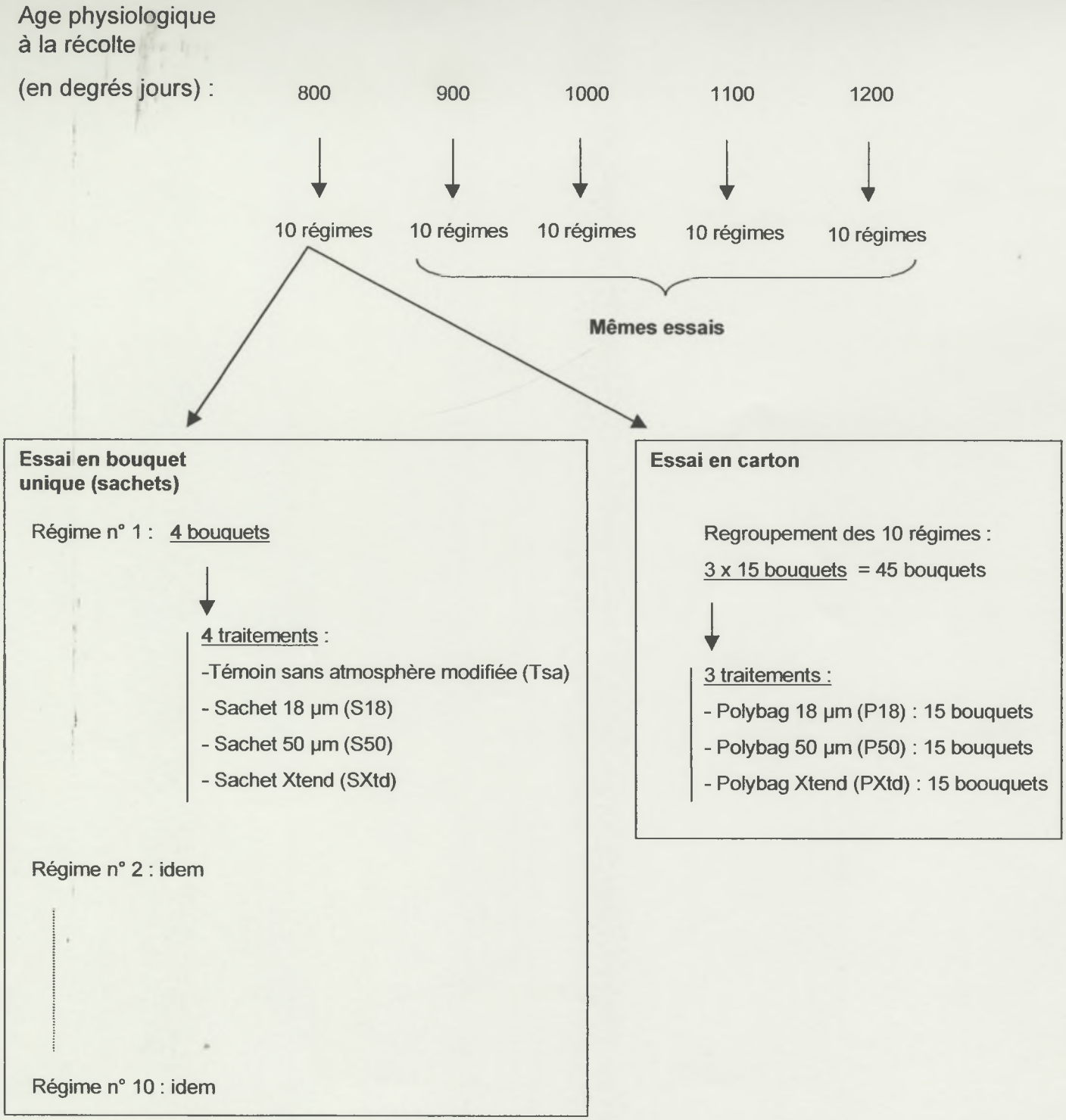


Figure 2.3 : Schéma des essais sur l'effet des atmosphères modifiées sur la durée de vie verte

Essai en bouquet unique : chaque régime de chaque âge physiologique a subit 4 traitements : Tsa, S18, S50, SXtd ; 1 bouquet subissant 1 traitement

Essai en carton : Les bouquets des 10 régimes de chaque âge physiologique ont été regroupés et répartis en 3 traitements : P18, P50,PXtd ; 15 bouquets subissant 1 traitement

conserver le rapport surface de sac / poids de fruits (0,15 $m^2.kg^{-1}$), des sachets ont été fabriqués à partir des polybags. Ces derniers ont été découpés et soudés de manière à obtenir les dimensions adéquates (20 cm x 30 cm). Un test d'étanchéité des sachets a été réalisé en mesurant l'atmosphère établie à la fin de la DVV. La répétition a été éliminée si les proportions en gaz étaient trop proches de celles de l'air (20,6 % 0_2 et 0 % CO_2).

Les bananes ont été stockées en chambre termorégulée à 13 °C. La fin de la DVV a été repérée par une diminution de la fermeté du fruit, première manifestation physique de la maturation. L'évaluation de l'amollissement de chaque bouquet a été suivie tous les deux ou trois jours. Le point déterminant la DVV de chaque bouquet correspond au nombre de jours existant entre la mise en chambre et l'amollissement.

D - Matériel végétal et repérage du stade physiologique des régimes

Les essais ont été réalisés sur des bananes de la variété "Grande Naine", appartenant au groupe génomique "AAA" et au sous-groupe Cavendish.

Les fruits utilisés pour l'expérience de l'effet des atmosphères modifiées sur les pourritures de couronne proviennent de la station de conditionnement du CIRAD-FLHOR.

Pour l'éxpérimentation sur l'effet des âges physiologiques des fruits à la récolte sur les pourritures de couronne, les régimes ont été marqués dans le cadre de la manipulation et les dates de floraisons étaient connues au jour près. Pour l'expérience sur l'effet des atmosphères modifiées sur la DVV, le temps imparti ne permettait pas d'attendre la récolte à un stade physiologique avancé de fruits qui auraient été marqués au cours de ce stage. Il a donc fallu utiliser les régimes déjà marqués sur le domaine pour lesquels la date de floraison est connu à la semaine près et non au jour près.

Rapport-Gratuit.com

E - Préparation des solutions de conidies et infection des couronnes

1 - Préparation des solutions de conidies

Sur les nombreux agents potentiellement impliqués dans la maladie de la pourriture de couronne, cinq des parasites les plus fréquemment rencontrés ont été utilisés. Ils ont étés présentés plus en détails au chapitre précédent et ce sont :

Colletotrichum musae (CM)
Fusarium moniliforme (FM)
Fusarium pallidoroseum (FP)
Cephalosporium spp (Csp)
Botryodiplodia spp (Bsp)

Les souches étaient présentes en collection au CIRAD FLHOR de Guadeloupe, à l'exception des souches de *Fusarium pallidoroseum* et de *Botryodiplodia*, qui ont été isolées à partir de tissus végétaux infectés. Le protocole d'isolement de ces champignons se trouve en annexe.

Les champignons ont été mis à pousser en boîte de Petri sur le milieu de culture PDA (Potato Dextrose Agar), à 25°c et à l'obscurité. Les souches ont été repiquées systématiquement toutes les semaines sur un milieu neuf. La date de sporulation est survenue plus ou moins rapidement selon les espèces. A l'obscurité, *C. musae* et les deux *Fusarium* ont sporulé en 4 ou 5 jours et *Cephalosporuim* en 7 à 10 jours. Afin d'induire la sporulation, la souche de *Botryodiplodia* a dû être placée à la lumière une fois le mycélium développé sur toute la surface de la boîte. Il s'est écoulé environ deux mois entre le début de la culture et l'apparition des pycnides.

Les spores ont été récupérées par dépôt de 3 mL d'eau distillée stérile à la surface du mycélium qui a ensuite été raclé au râteau stérile. La solution a été filtrée sur 40 µm afin d'éliminer le mycélium et les résidus de milieu de culture, puis le nombre de spores a été déterminé par comptage sur cellule de Malassez. La solution a ensuite été diluée en cascade jusqu'à obtention de la concentration désirée. Les

concentrations pour les solutions d'inoculation ont été établies dans un précédent travail (Pacico, 2001) et sont les suivantes (en spores par mL) :

Colletotrichume musae : 10^2
Fusarium moniliforme : 10^4
Fusarium pallidoroseum : 10^4
Cephalosporium spp : 10^3
Botryodiplodia spp : 10^4

La préparation de la solution d'inoculation a été légèrement différente pour *Botryodiplodia*, ses spores étant contenues dans des pycnides qu'il a été nécessaire de détruire. Les pycnides ont été récupérées stérilement à la surface de la boîte et découpées finement au scalpel dans 2 mL d'eau distillée stérile, afin de libérer les spores. La solution a ensuite été filtrée sur 40 µm, et a subit les mêmes étapes de préparation que les autres solutions.

2 - Décontamination et infection des couronnes

Après la découpe, les bouquets ont été trempés à l'eau claire afin d'éliminer le latex exsudant des zones de coupure. Dans le but de pallier le dessèchement rapide des couronnes, celles-ci ont été rafraîchies extemporanément en ôtant finement les tissus les plus externes, puis décontaminées par un passage à l'alcool à 50 %. Dix secondes suffisent à tuer les conidies présentes sur les tissus (Simmonds et Mitchel, 1940). Après évaporation de l'alcool, les couronnes ont été inoculées avec la solution de conidies préparée extemporanément et homogénéisée très régulièrement au vortex. L'inoculation a été réalisée par un dépôt de 100 µL de solution sur le haut de la couronne. Un carré de papier filtre stérilisé a ensuite été déposé sur la goutte afin d'éviter l'écoulement sur les faces de la couronne et le pédoncule (Figure 2.4).

Figure 2.4 : Technique d'inoculation des couronnes

Une goutte de 100 µL d'inoculum est déposée à la surface de la couronne et sous le carré de papier filtre

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

F - Simulation du programme d'exportation et évaluation du développement des pourritures

La simulation du transport en bateau a été effectuée par un stockage en chambre tempérée à 13°c durant 13 jours.

Au terme de cette période, une première estimation du développement des nécroses a été réalisée (note 1), qui correspond au contrôle qualité réalisé en entrée mûrisserie. Elle consiste en une évaluation de la progression de la nécrose sur la surface externe de la couronne et est représentée par une note allant de 0 à 4. Les notes correspondent à un intervalle de pourcentage de surface externe de couronne colonisée comme l'indique la figure 2.5.

Note 0 Note 1 Note 2 Note 3 Note 4

Figure 2.5 : Correspondance des notes en entrée et sortie mûrisserie

Note 0 : pas de symptôme
Note 1 : moins de 25 % de surface colonisée
Note 2 : de 25 à 50 % de surface colonisée
Note 3 : 50 à 75 % de surface colonisée
Note 4 : 75 à 100 % de surface colonisée

Le passage en mûrisserie a consisté à traiter les fruits à l'éthylène à 1000 ppm à 20°c en chambre spécifique. Pour les fruits à 900 degrés jours et plus, qui est le cas des bananes exportées, le temps de contact est de 24 heures. Des essais préalables ont montré que ce temps de contact devait être allongé pour les bananes aux stades physiologiques inférieurs à 900 degrés jour (Germain, 2002). Il a été de 36 heures pour les fruits dont l'âge est compris entre 600 et 800 degrés jour et de 48 heures pour les autres. Le gaz qui a été utilisé est de l'azéthyl, mélange azote/éthylène (95 % N_2 et 5 % C_2H_4), moins dangereux à utiliser que l'éthylène pur.

Les bananes ont ensuite été transférée dans une autre chambre thermorégulée à 20°c jusqu'a atteindre le stade tournant jaune (voir figure 1.10 en introduction) auquel elles sont commercialisées, soit trois jours après le traitement à l'éthylène.

Une seconde lecture a été effectuée à ce stade, correspondant au contrôle de sortie mûrisserie. Elle comportait une deuxième évaluation de surface de colonisation externe (note 2) utilisant la même notation qu'en entrée mûrisserie, et une mesure de surface interne de nécrose de couronne (nécrose). Pour cette dernière mesure, une coupe transversale de la couronne a été réalisée afin de mesurer la surface de nécrose. La mesure de surface nécrosée a été reportée à la surface totale de la couronne puis exprimée en pourcentage (figure 2.6).

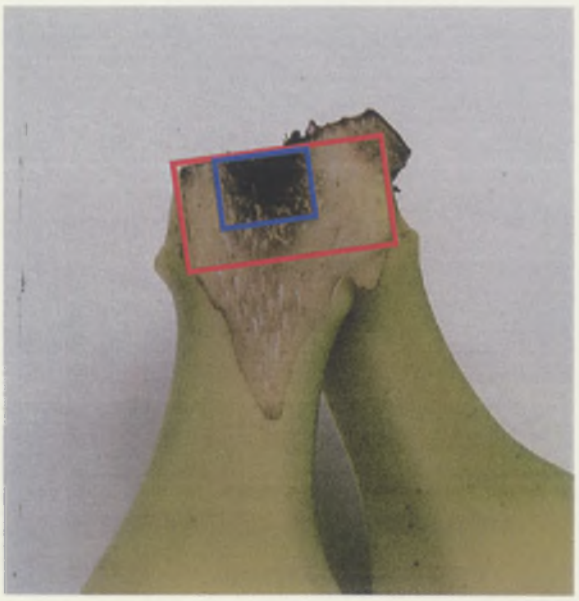


Figure 2.6 : mesure de la surface de nécrose de couronne

Le rectangle rouge correspond à la surface de couronne totale et le rectangle bleu à la surface de nécrose. La longueur et la largeur des rectangles sont mesurées au décimètre et le pourcentage de couronne nécrosée par rapport à la surface totale est déduite de ces valeurs.

G - Analyse statistique des données

Une analyse de variance a été effectuée sur les résultats de l'expérience évaluant l'effet des atmosphères modifiées sur le développement des pourritures de couronne.

La variable note 2 s'est révélée très corrélée à la variable nécrose. Pour ne pas compliquer l'analyse, pour l'évaluation en sortie mûrisserie, nous avons donc choisi de traiter uniquement la variable nécrose qui est la plus représentative car quantitative.

Pour répondre aux exigences de l'ANOVA, nous avons eu recours à la transformation des variables note 1 et nécrose. Nous avons retenue les transformations suivantes : "racine^2(note1+0,5)" pour note 1 et "Log(nécrose+5)" pour nécrose.

Compte tenu du faible nombre de répétions pour certains champigons, les analyses de variance ont été faites séparément sur les résultats obtenus avec *C. musae* d'une part (12 répétitions) et sur l'ensemble des 4 autres champignons d'autre part (3 répétitions par champignon).

Les tests ont été réalisés par le logiciel SAS PC (v8.02).

Chapitre 3 :
Résultats et Discussion

Tableau 3.1 Résultats de l'analyse de variance de l'effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en entrée mûrisserie, pour des bouquets inoculés avec le *C. musae*

Facteur	ddl	somme des carrés	valeur du test F	probabilité
Traitement	4	0,36559734	16,37	< 0,0001
Répétition	11	0,11215356	5,02	< 0,0001

A - Effet des atmosphères modifiées sur les pourritures de couronne

1 – Bouquets inoculés avec le *Colletotrichum musae*

1.1 - Evaluation en entrée mûrisserie

Le résultat de l'ANOVA (Tableau 3.1) nous montre qu'il existe un effet significatif du traitement (type d'emballage ou traitement fongicide) appliqué aux fruits après la récolte et l'incolulation des couronnes par le *C. musae*. Il y a également un effet de la répétition (Tableau 3.1).

En entrée mûrisserie, les pourritures de couronne sont significativement plus développées sur les bouquets conditionnés en polybag perforé (Figure 3.1). Parmis les trois polybags, le sac de 50 µm et le polybag Xtend® sont ceux qui permettent le meilleur contrôle de la maladie. Il est équivalent à celui obtenu par le traitement fongicide.

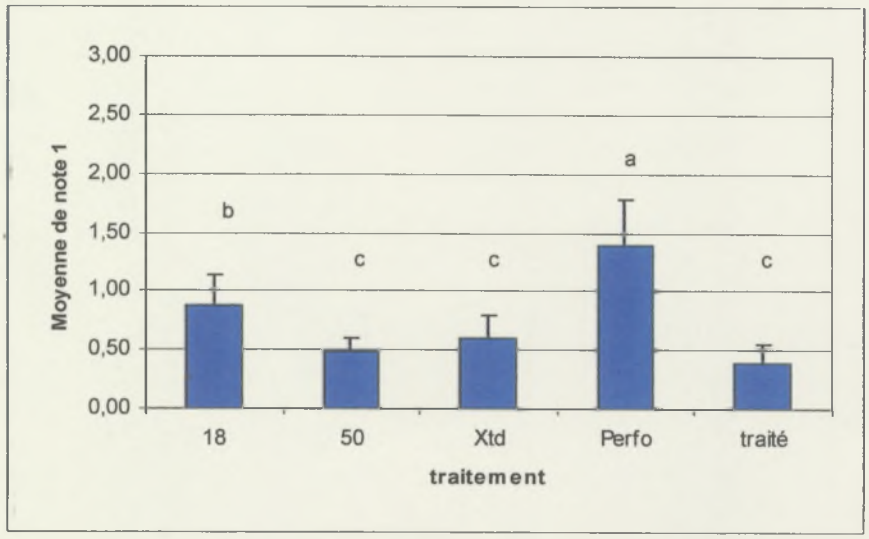


Figure 3.1 Effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en <u>entrée mûrisserie</u> sur des bouquets inoculés avec le <u>*C. musae*</u>

18 : polybag 18 µm
50 : polybag 50 µm
Xtd : polybag Xtend
perfo : polybag perforé (témoin)
traité : traitement fongicide
a, b, c, d : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

Tableau 3.2 Résultats de l'analyse de variance de l'effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en sortie mûrisserie, pour des bouquets inoculés avec le *C. musae*

Facteur	ddl	somme des carrés	valeur du test F	probabilité
Traitement	4	5,50380813	48,04	< 0,0001
Répétition	11	1,00341811	8,76	< 0,0001

1.2 – Evaluation en sortie mûrisserie

En sortie mûrisserie, le traitement (type d'emballage ou traitement fongicide) appliqué aux fruits après la récolte et l'inoculation des couronnes par le *C. musae*, possède aussi un effet sur la progression interne de la nécrose (Tableau 3.2). Il y a également un effet de la répétition.

La maladie s'est développée plus largement en polybag perforé (Figure 3.2). Les trois polybags ont un effet similaire et permettent une réduction des nécroses. Les pourritures de couronne sont significativement moins développées sur les bouquets ayant fait l'objet d'un traitement fongicide.

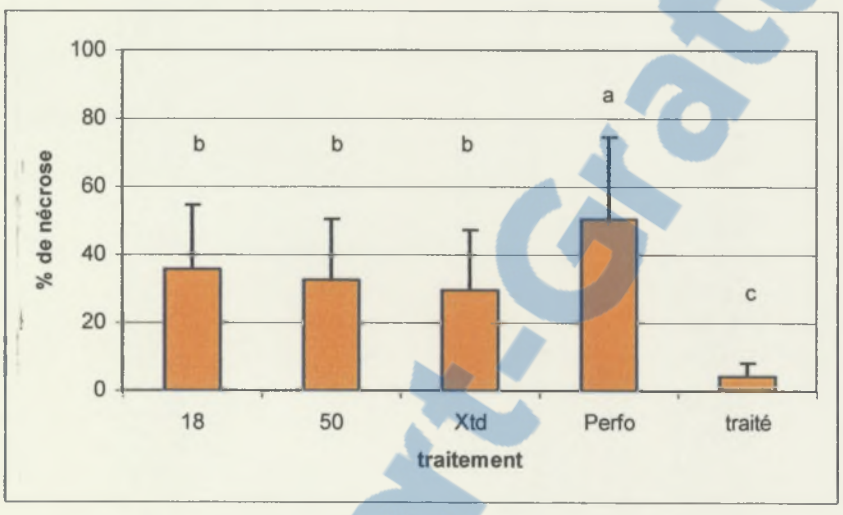


Figure 3-2 Effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en sortie mûrisserie sur des bouquets inoculés avec le *C. musae*

18 : polybag 18 µm
50 : polybag 50 µm
Xtd : polybag Xtend®
perfo : polybag perforé (témoin)
traité : traitement fongicide
% nécrose : % de surface interne de couronne colonisée
a, b, c, d : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

Rapport-Gratuit.com

Tableau 3.3 Résultats de l'analyse de variance de l'effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en entrée mûrisserie, pour des bouquets inoculés avec les autres pathogènes

facteur	ddl	somme des carrés	valeur du test F	probabilité
champignon	3	0,27864552	23,04	< 0,0001
traitement	4	0,8736225	72,22	< 0,0002
répétition (par champigon)	8	0,13625688	11,26	< 0,0003
champignon x traitement	12	0,01321561	1,09	0,3987

Tableau 3.4 Effet du type de champignon sur le développement des pourritures de couronne en entrée mûrisserie

Type de champignon	note 1
F. moniliforme	1,008 (a)
F. pallidoroseum	0,789 (b)
Botryodiplodia spp	0,6 (c)
Cephalosporium spp	0,306 (d)

a, b, c, d : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

2 – Bouquets inoculés avec les autres pathogènes

2.1 – Evaluation en entrée mûrisserie

En sortie mûrisserie, il existe un effet significatif du traitement sur la colonisation des couronnes en entrée mûrisserie (Tableau 3.3). Il y a aussi un effet de la répétition et un effet du type de champignon. Il n'y a pas d'interaction entre le type de champignon et le traitement, ce qui signifie que l'effet du traitement est identique quelque soit le champignon inoculé.

Aux concentrations de spores utilisées pour les inoculations, tous les champignons n'ont pas le même pouvoir pathogène. Les deux *Fusarium* sont les plus pathogènes. Viennent ensuite *Botryodiplodia* et *Cephalosporium* (Tableau 3.4).

En entrée mûrisserie, pour toutes les espèces fongiques considérées, les nécroses sont plus développées dans le polybag perforé (Figure 3.3). Les trois polybags permettent une réduction significative des nécroses en surface mais le polybag 18 µm est moins efficace que les polybags Xtend® et 50 µm, dont les effets sont semblables au traitement fongicide (Tableau 3.5).

Tableau 3.5 Effet du traitement sur le développement des pourritures de couronne en entrée mûrisserie

traitement	moyenne de note 1
Perfo	1,39 (a)
18	0,88 (b)
50	0,48 (c)
Xtd	0,59 (c)
traité	0,38 (c)

18 : polybag 18 µm
50 : polybag 50 µm
Xtd : polybag Xtend®
perfo : polybag perforé (témoin)
traité : traitement fongicide

a, b, c : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

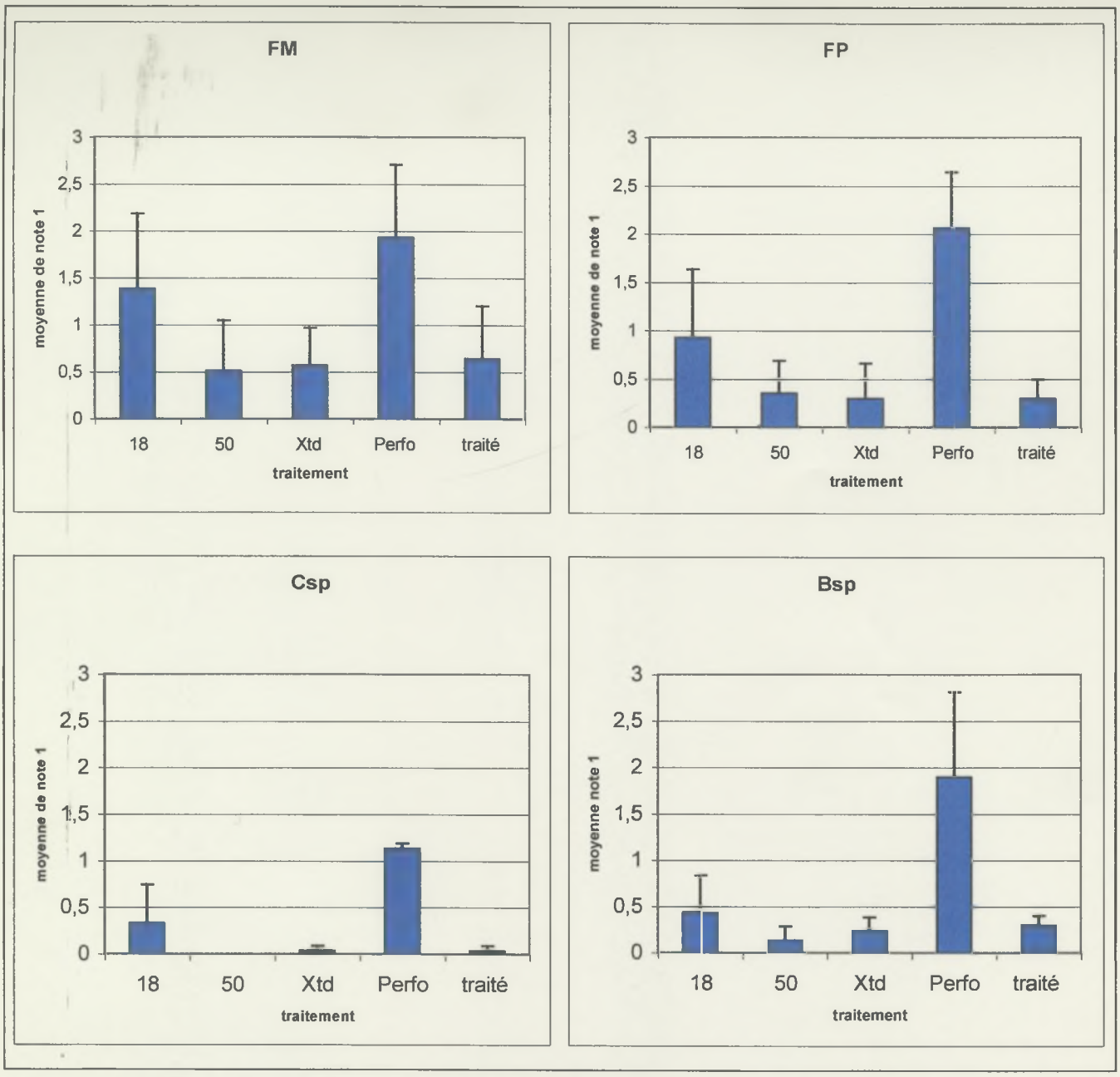


Figure 3.3 Effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en <u>entrée mûrisserie</u> sur des bouquets inoculés avec les <u>autres pathogènes</u> :

FM : *F. moniliforme* FP : *F. Pallidoroseum* ;
Csp : *Cephalosporium spp* ; Bsp : *Botryodiplodia spp*

18 : polybag 18 µm
50 : polybag 50 µm
Xtd : polybag Xtend®

perfo : polybag perforé
traité : traitement fongicide

Barre d'erreur : erreur type

Tableau 3.6 Résultats de l'analyse de variance de l'effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en sortie mûrisserie, pour des bouquets inoculés avec les autres pathogènes

facteur	ddl	somme des carrés	valeur du test F	probabilité
champignon	3	0,92824558	8,76	0,0002
traitement	4	5,66944121	53,48	< 0,0002
répétition (par champignon)	8	0,87116356	8,22	< 0,0003
champignon x traitement	12	0,11739667	1,11	0,3878

Tableau 3.7 Effet du type de champignon sur le développement des pourritures de couronne en entrée mûrisserie

Type de champignon	% nécrose *
F. moniliforme	19,9 (a)
F. pallidoroseum	15,2 (b)
Cephalosporium spp	10,5 (b)
Botryodiplodia spp	14,6 (b)

a, b : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

* : % de surface interne de couronne colonisée

2.2 – Evaluation en sortie mûrisserie

En sortie mûrisserie, le traitement appliqué aux fruits après la récolte et l'inoculation par différentes espèces de champignon a un effet significatif sur la progression de la nécrose de couronnes (Tableau 3.6). Il y a aussi un effet de la répétition et un effet du type de champignon. Le parasite *F. moniliforme* colonise de façon plus importante les couronnes que toutes les autres espèces (Tableau 3.7). Il n'y a pas d'interaction entre le type de champignon et le traitement. L'effet du traitement est identique quelque soit le champignon inoculé (Tableau 3.6).

Les nécroses sont plus développées dans le polybag perforé (Figure 3.4). Ceci est vrai pour toutes les espèces fongiques considérées. Les trois polybags permettent une réduction significative des nécroses en surface mais ils sont moins efficaces que le traitement fongicide (Tableau 3.8).

Tableau 3.8 Effet du traitement sur le développement des pourritures de couronne en sortie mûrisserie

traitement	moyenne de % de nécrose
Perfo	50 (a)
18	35 (b)
50	32 (b)
Xtd	29 (b)
traité	4 (c)

18 : polybag 18 µm perfo : polybag perforé (témoin)
50 : polybag 50 µm traité : traitement fongicide
Xtd : polybag Xtend®
moyenne de % de nécrose : % de surface interne de nécrose moyenne par traitement

a, b, c, d : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

3 – Récapitulatif de toutes les expériences

Le tableau 3.9 récapitule les classements effectués par le test de Newman-Keuls sur les valeurs de développement des pourritures de couronne induites par le *C. musae* et les autres pathogènes dans les différents traitements et sur les deux variables considérées (note 1 : évaluation en entrée mûrisserie et nécrose : évaluation en sortie mûrisserie).

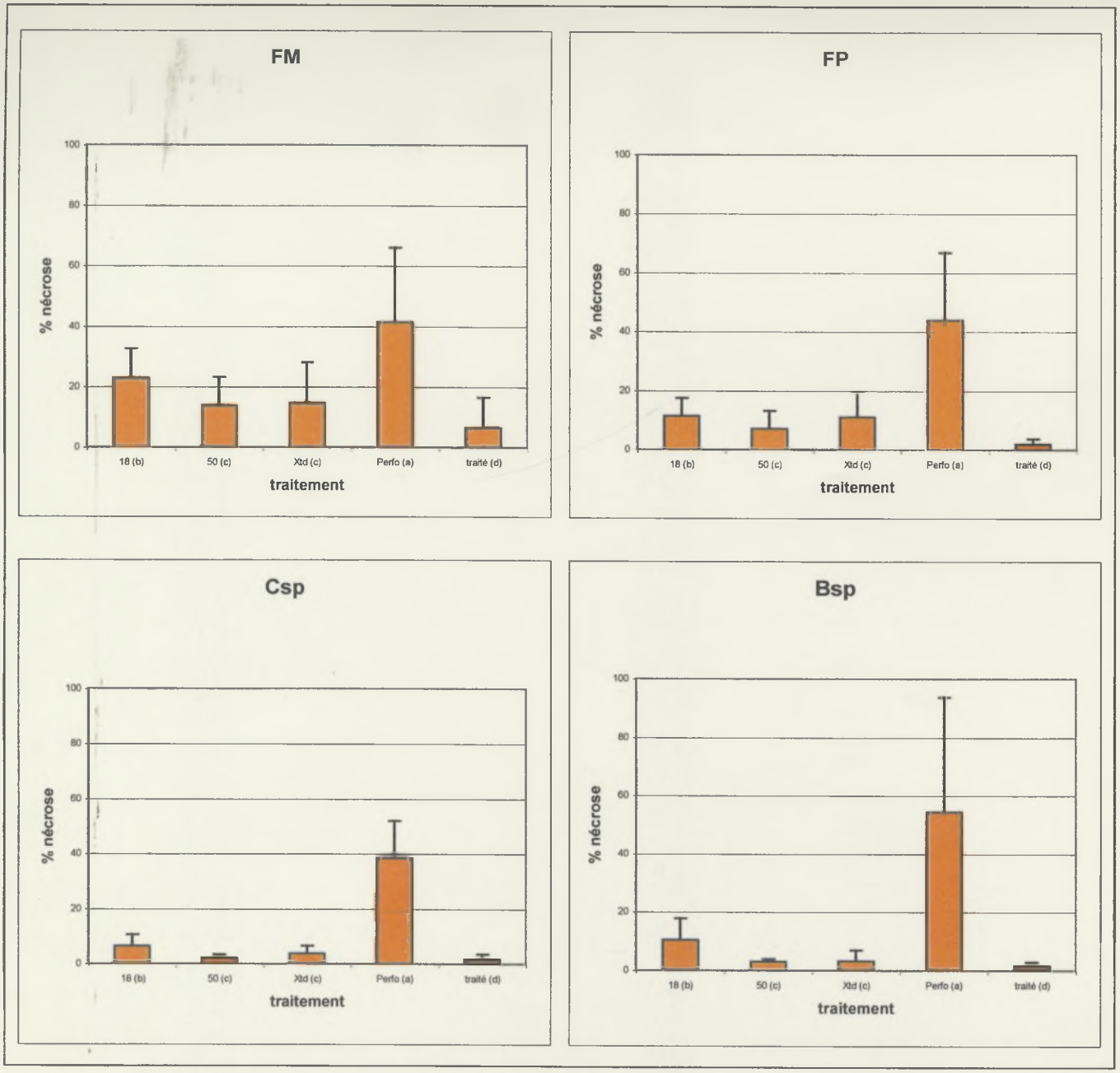


Figure 3.4 Effet du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne en sortie mûrisserie sur des bouquets inoculés avec les autres pathogènes :

FM : *F. Moniliforme* ; FP : *F. Pallidoroseum*
Csp : *Cephalosporium spp* ; Bsp : *Botryodiplodia spp*
% nécrose : % de surface interne de couronne colonisée
Barre d'erreur : erreur type

18 : polybag 18 µm
50 : polybag 50 µm
Xtd: polybag Xtend®

perfo : polybag perforé
traité : traitement fongicide

Tableau 3-9 Récapitulatif des effets du mode de conditionnement ou du traitement fongicide sur le développement des pourritures de couronne pour l'inoculation par différents champignons, en entrée et sortie mûrisserie

		Traitement				
		18 µm	50 µm	Xtend	perforé	traité
C.musae	entrée m*	b	c	c	a	c
	sortie m*	b	b	b	a	c
autres pathogènes	entrée m*	b	c	c	a	c
	sortie m*	b	c	c	a	d

* a, b, c, d : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % lorsqu'il y a une différence significative entre les traitements

Le développement des pourritures de couronne est toujours plus important lorsque les bouquets sont conditionnés en polybag perforé. En présence d'une atmosphère modifiée obtenue avec les polybags, les pourritures de couronne sont moins développées. Le sac de 18 µm est toutefois moins performant que les sacs de 50 µm et le Xtend®. En sortie de mûrisserie, ces deux polybags ont un effet légèrement plus faible que le traitement fongicide sur le contrôle de la maladie.

4 - Discussion

Les atmosphères modifiées permettent de limiter le développement des pourritures de couronne. Pour le *C. musae* il a été montré qu'une concentration inférieur à 20 % de CO_2 n'avait pas d'influence sur la germination et la croissance du champignon. Ceci est vrai pour une concentration en O_2 réduite à 2 % (de Lapeyre de Bellaire *et al.*, 1998). Il semble donc que dans la gamme d'atmosphère établies dans les polybags, le CO_2 n'a pas d'incidence sur le dévelopement de *C. musae*.

Le *Colletotrichum musae*, avait été choisi pour référence stable, et pour l'importance des nécroses qu'il induit. Il aurait permis de comparer l'influence des atmosphères modifiées sur les pourritures de couronne induites par chacun des 5 parasites étudiés. Cependant, les nécroses observées lorsque l'infection a été réalisée par le *C. musae* n'ont pas été très importantes et une très forte variabilité a été observée entre les répétitions.

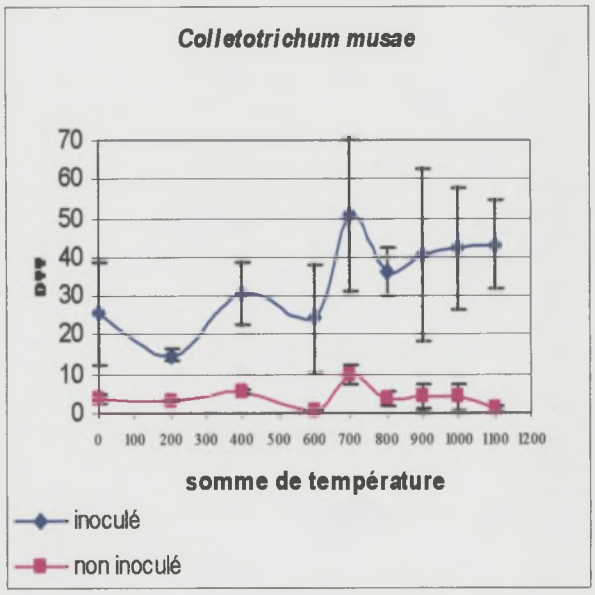
On peut penser qu'une partie de la variabilité entre répétions provient de la solution d'inoculation, notamment pour le *C. musea*. Les spores ont tendance à s'agglutiner entre elles et à sédimenter, une homogénéisation insuffisante a donc pu

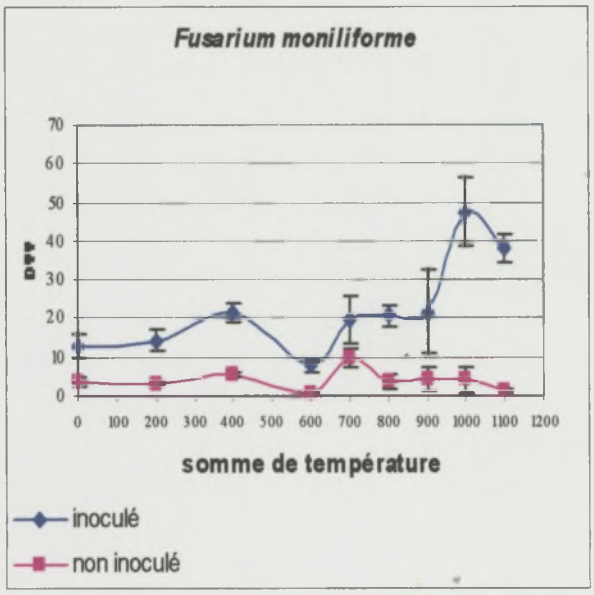
limiter le nombre de conidies dans l'inoculum qui était de 10 maximum dans le cas de *C. musae*. La goutte d'inoculum a pu couler le long du pédoncule avant d'être totalement absorbé par les tissus, limitant le nombre de spores pouvant germer sur la couronne et diminuant ainsi le niveau de contamination.

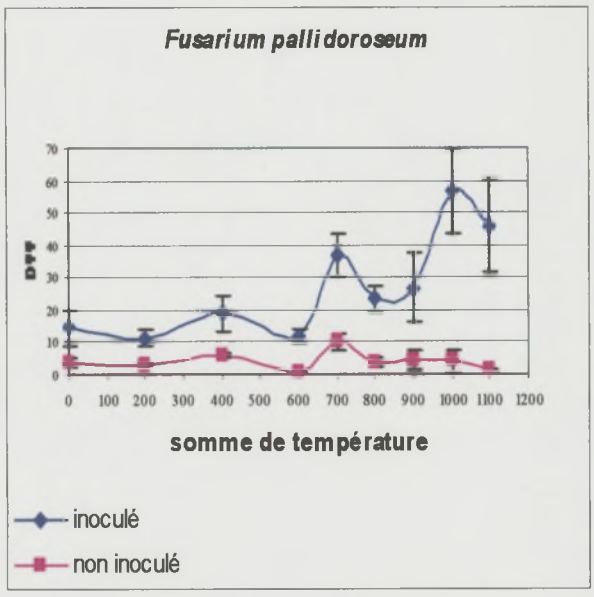
Des contaminations naturelles ont également pu se produire. Les bananes non inoculées (témoin) ont fréquemment présenté des nécroses de couronne. L'étendue de ces symptômes, quoique faible, était variable d'une répétition à l'autre. Des spores de champignon ont pu être présentes dans l'air des chambres thermorégulées qui accueillaient, pour certaines manipulations, de nombreuses autres bananes inoculées notamment avec le *C. musae*.

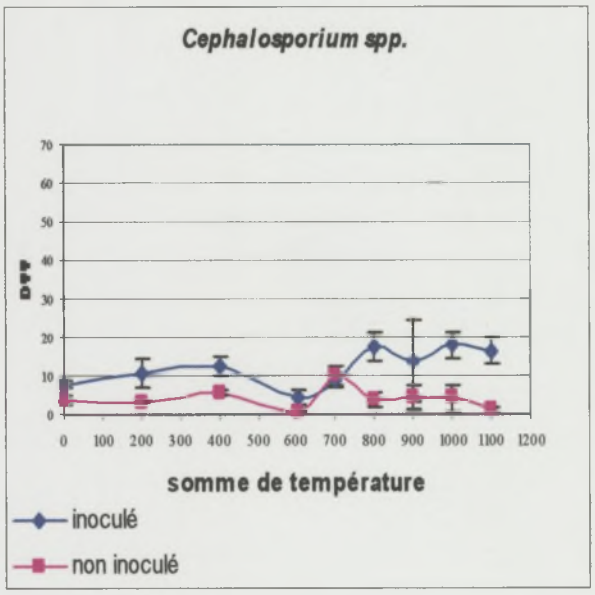
La très grande variabilité des résultats n'est pas facilement limitable car elle est aussi liée au phénomène étudié et à la méthode de mesure. En effet, l'évaluation de la taille des nécroses n'est pas aisée et source d'erreur, et une grande variabilité des résultats est fréquemment rencontrée en phytopathologie (Cécile Dubois, communication personnelle). Afin d'améliorer les résultats, il faudrait augmenter le nombre de répétition des tests sur les parasites autres que *Colletotrichum musae*. De plus, les niveaux de contaminations étaient très faibles, notamment pour l'infection par *C. musae*, dont la solution de conidies devrait être plus concentrée.

L'intérêt de l'utilisation des atmosphères modifiées pour limiter le développement des pourritures de couronne, qui a été montré dans cette étude, a été confirmé au cours d'expériences en grandeur réelle effectuées durant la péridode de ce stage. Un planteur coopérant avec le CIRAD-FLHOR a exporté des bananes non traitées après récolte et conditionnées dans deux types de polybag : polyéthylène basse densité 20 µm hermétique ou prédécoupé (c'est à dire sans atmosphère modifiée). Ce dernier est recommandé par les mûrisseurs car il ne nécessite pas de déchirer les sacs avant le mûrissage. Les résultats confirment qu'il n'existe pas de contrôle de la maladie avec ce type d'emballage. En moyenne, sur 6 cartons contrôlés en entrée mûrisserie, 18 % des bouquets conditionnées en polybag prédécoupé étaient contaminés contre 4 % pour le polybag hermétique. En sortie mûrisserie, la différence était encore plus grande : 68 % pour le polybag prédécoupé et 18 % pour le polybag hermétique.









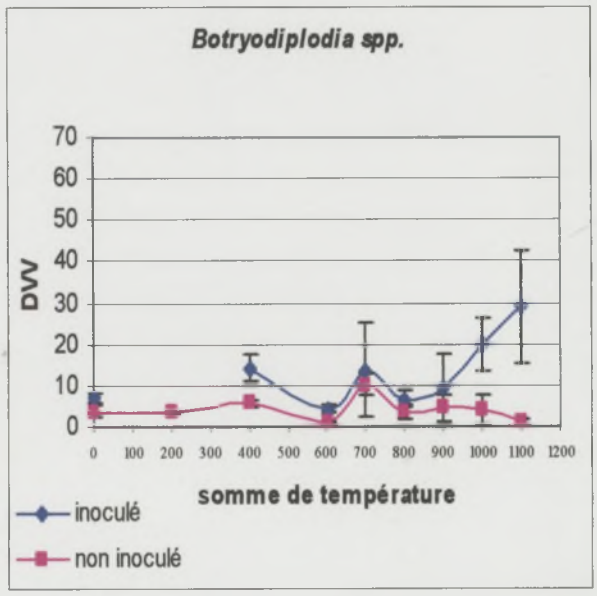


Figure3-5 Cinétiques d'évolution des pourritures de couronnes induites par différents champignons en fonction de l'âge physiologique des fruits à la récolte

CM : *Colletotrichum musae* ; FM : *Fusarium moniliforme*

FP : *Fusarium pallidoroseum* ; Bsp : *Botryodiplodia spp.*

Csp : *Cephalosporium spp.* ;T : Témoin non inoculé

Somme de température en degrés jour

DVV en jours

barre d'erreur : erreur type

B - Effet de l'âge physiologique des fruits à la récolte sur le développement des pourritures de couronnes

1 – Résultats

La mesure de la progression de la pourriture en sortie mûrisserie est la plus représentative de la sensibilité des fruit à la maladie car c'est la seule variable quantitative qui est mesurée avec précision. C'est pour cette variable que l'évolution a été la plus marquante. En conséquence, elle sera la seule a être présentée et discutée.

Les résultats présentent une très grande hétérogénéité entre les répétitions (Figure 3.5), surtout dans le cas de l'infection par *Colletotrichum musae*.

Le développement de la maladie n'est pas identique pour tous les champignons. *C. musae* et les deux espèces de *Fusarium* progressent plus profondément dans les tissus que les autres espèces (Figure 3.5).

Les fruits qui n'ont pas été inoculés (témoin) ont développé des pourritures ; elles sont cependant moindres que celles mesurées sur les fruits inoculés.

La relation qui lie l'âge physiologique des fruits à la récolte et la sensibilité à la maladie est faible. Toutefois, globalement, lorsque les couronnes ont été inoculés, la taille des nécroses est plus importante lorsque les fruits sont plus agés, c'est à dire à partir de 800 degrés jour environ. Pour les fruits récoltés à un âge physiologique inférieur, les variations observées semblent suivre celles du témoin, mais on observe quelques valeurs élevées à des âges physiologiques faibles, notamment lorsque l'infection a été réalisée par *C. musae*. Il faut noter aussi que les régimes les plus âgés (1200 degrés jour) ont été perdus avant d'atteindre ce stade (les bananiers ont chuté) et qu'ils auraient pu apporter un élément supplémentaire pour valider l'effet de l'âge physiologique sur la progression de la maladie.

2 - Discussion

La très grande variabilité des résultats observés peut être expliquée par une mauvaise gestion de l'inoculum, comme cela a été discuté précédemment.

Rapport-Gratuit.com

La conduite des récoltes à différents stade semble aussi être une source du manque de constance dans les résultats. Les marquages ont été fait trop tardivement pour permettre une récolte de l'ensemble des stades le même jour. Pour un même champignon, les couronnes des bananes à différents âges physiologiques n'ont pas été inoculées par la même solution, ce qui rend les résultats plus difficiles a interpréter. Pourtant, sur les mêmes récoltes, en utilisant également des solutions d'inoculations différentes pour chaque âge, il a pu être montré que la sensibilité à l'anthracnose de blessure augmente de façon continue à partir de 600 degrés jours (Germain, 2002). Cependant, les manipulations et les mesures liées à l'étude de l'anthracnose sont plus simples, donc source de moins d'erreur.

On peut également impliquer l'existance potentielle de contaminations extérieures pour expliquer la variabilité. Comme dans le cas de l'expérience sur les atmosphères modifiées, des nécroses se sont développées, sur le témoin qui n'a pas été inoculé. Les récoltes et les inoculation ont été effectuées le même jour pour des âges physiologiques différents. Les variations qui ont été observées par la suite sont identiques pour ces différents stades. Cela signifie que les contaminations extérieures influencent beaucoup les résultats. Les sources probables de contamination ont été exposées précédemment.

L'importance du développement des nécroses sur les fruits au stade "doigts horizontaux", notamment lorsque l'infection a été réalisée avec *C. musae*, est probablement liée à la petite taille de la couronne, proportionnelle au développement du fruit. Pour les autres stades, les couronne des bananes ont été découpées de manière homogène. Dans le cas des fruits au stade "doigts horizontaux", les couronne étaient rases. La profondeur de la nécrose étant exprimée en pourcentage de la taille de la couronne, à sensibilté du fruit égale, elle est plus grande pour les petites couronnes.

Dans cette expérience, les fruits ont été prélevés au champ, manipulés et placés à 13°C le jour même de la récolte. Dans le cas de l'expérience sur les atmosphères modifiées, les fruits ont été prélevés à la station de conditionnement où ils ont pu attendre quelques jours à une température élevée (entre 24 et 30°C). Ces temps d'attente et ces température différentes peut conférer des niveaux de sensibilités différents aux fruits, ce qui peut expliquer la différence des niveaux de contamination entre les deux expériences.

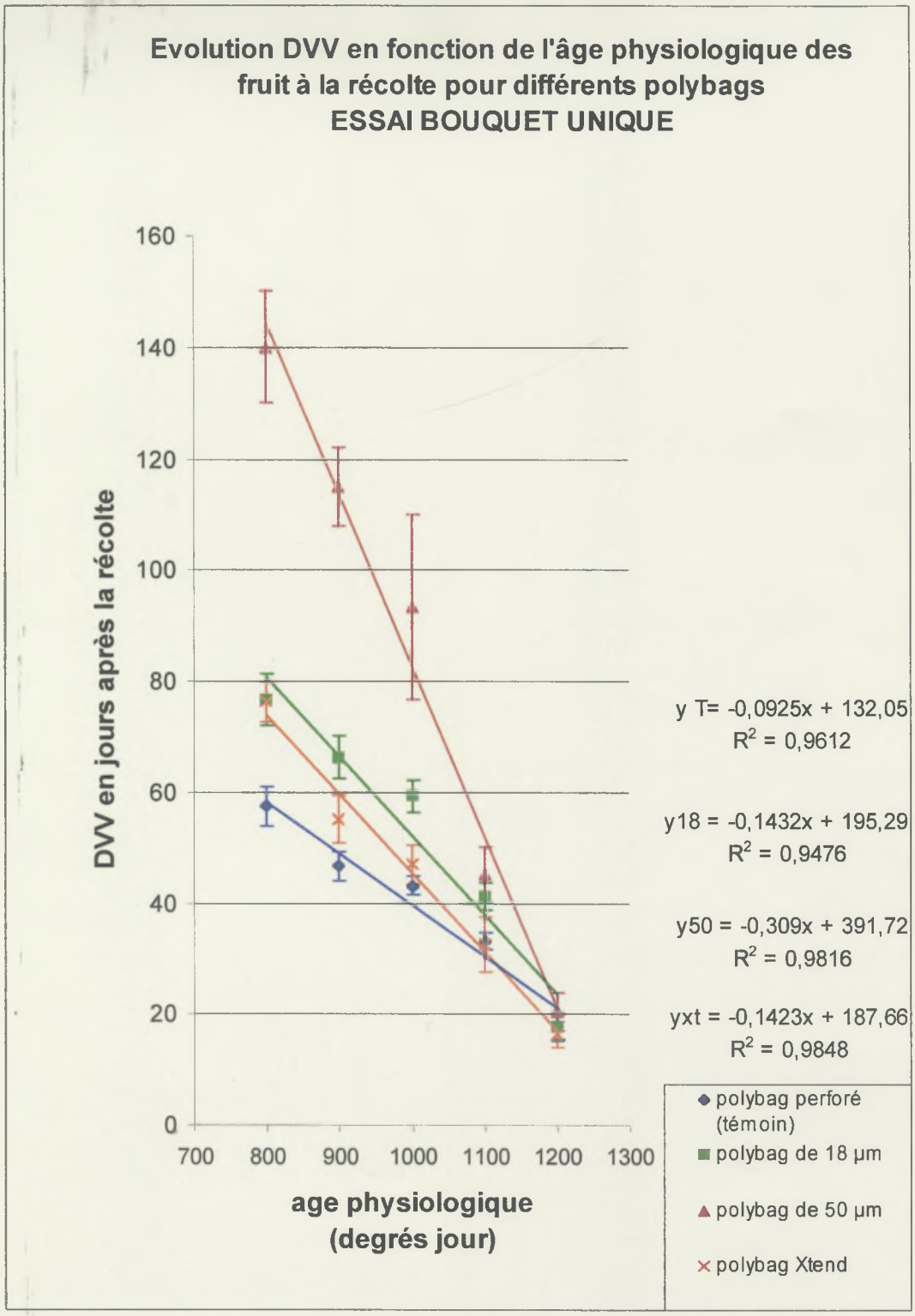


Figure 3.6 Evolution de la DVV en fonction de l'âge physiologique du fruit à la récolte
Chaque bouquet a été emballé en polybag de dimensions réduites (20 x 30 cm) et stocké à 13°C.
Les valeurs correspondent à la moyenne de 10 répétitions
Les équations de droite sont les équations de la régression linéaire et R^2 est le coefficient de régression correspondant :
yT : Régression linéaire pour le polybag perforé (témoin)
y18 : Régression linéaire pour le polybag de 18 µm
y50 : Régression linéaire pour le polybag de 50 µm
yXt : Régression linéaire pour le polybag Xtend

(barre d'erreur : erreur type)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Afin d'améliorer les résultats, il faudrait revoir le protocole de manière à infecter l'ensemble des stades physiologiques par la même solution d'inoculation, tout en conservant un nombre d'individus et/ou de répétitions convenables pour réaliser les tests statistiques. Dans cette optique, et pour faciliter la manipulation, certaines modifications pourraient être faites. Elles concernent la concentration et le volume d'inoculum. Une goutte de 100 µL à tendance à couler le long des faces de la couronne avant d'être totalement absorbée par le carré de papier filtre. Cela implique une augmentation de la concentration. Les spores auraient une tendance moins grande à s'agglutiner et cela supprimerait une étape de dilution, source potentielle d'erreur.

Pour éviter les contaminations, le nombre d'expérimentations différentes impliquant notamment des champignons parasites de la couronne, devraient êtres limitée dans les même locaux de stockage.

C - Effet des atmosphères modifiées sur la durée de vie verte de bananes à différents stade physiologiques

La DVV diminue de façon linéaire lorsque l'âge physiologique des fruits à la récolte augmente (Figures 3.6 et 3.7).

1 - Conditionnement en bouquet unique

La DVV est plus longue pour les fruits conditionnés en sac fermé que pour les fruits stockés dans les sacs perforés (Figure 3.6). Ceci est d'autant moins vrai que l'âge physiologique des fruits augmente : on voit sur la courbe que la DVV mesurée lorsque les fruits sont conditionnés en polybag et pour les stades les plus avancés, a tendance à se rapprocher de celle obtenue avec les fruits emballés dans le polybag perforé. Ainsi, pour les fruits ayant accumulé 1200 degrés jours, on n'observe aucune différence de DVV entre les différents modes de conditionnement.

Des contaminations ont fait pourrir de nombreux fruits encore verts. C'est le cas de bouquets conditionnés en sacs perforés mais aussi de bouquets conditionnés en sachets de 18 µm. Ils ont été jetés et considérés comme données manquantes.

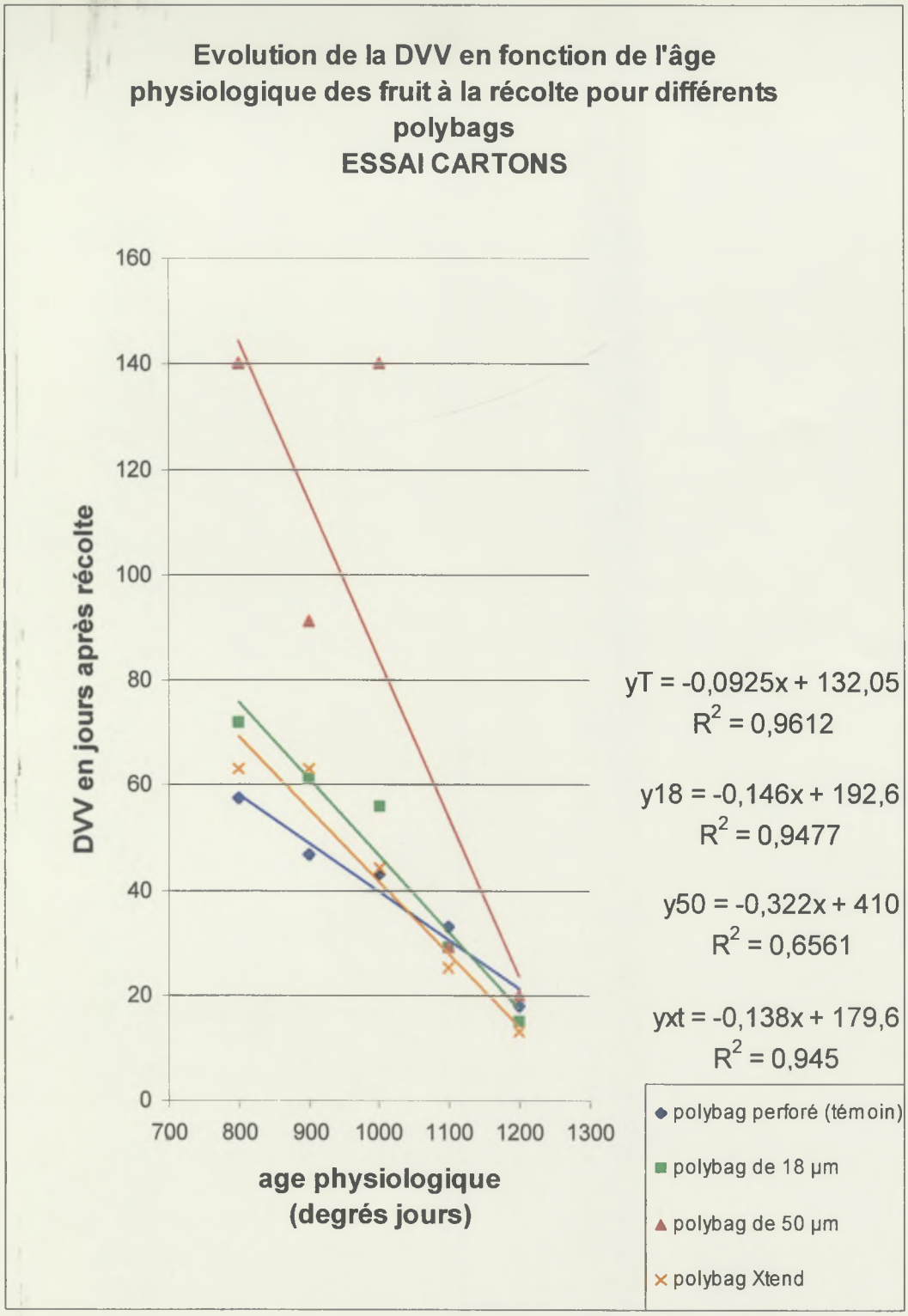


Figure 3.7 Evolution de la DVV en fonction de l'âge physiologique du fruit à la récolte
15 bouquets ont été emballé dans chaque type de polybag, disposés en carton et stockés à 13°C.
Les valeurs correspondent à une seule répétition
Les équations de droite sont les équations de la régression linéaire et R^2 est le coefficient de régression correspondant :
yT : Régression linéaire pour le polybag perforé (témoin)
y18 : Régression linéaire pour le polybag de 18 µm
y50 : Régression linéaire pour le polybag de 50 µm
yXt : Régression linéaire pour le polybag Xtend

De ce fait, en raison de l'hétérogénéité du nombre de répétitions entre les différents stades, les analyses de variance n'ont pas pu être effectuées.

2 – Conditionnement en carton

Il n'y avait aucune répétition pour les essais en cartons. Toutefois, les résultats sont comparables à ceux obtenus avec l'autre type de conditionnement (Figure 3.7). Les équations des droites sont comparables à celles calculées lors des essais en bouquet unique.

Il faut noter que des pourritures ont été observées dans le polybag de 50 µm contenant les fruits à 900 degrés jour.

Les résultats concernant le conditionnement en polybag de 50 µm ne sont pas encore définitifs pour les fruits ayant accumulé 800 et 1000 degrés jour à la récolte, pour les essais en carton, et 800 et 900 degrés jour pour les essais en bouquet unique. L'échéance de la remise de ce rapport nous a contraint à fixer arbitrairement une limite dans le temps (140 jours). Le 1e décembre 2002, la durée de stockage à 13°C aura atteint 150 jours.

3 - Discussion

Les modèles "bouquet unique" et "carton" donnent des résultats similaires ce qui confirme la validité du modèle "bouquet unique" pour ce type d'étude, déjà validé dans le cas du chancre (chillet *et al.*, 1995). Cependant, les fruits récoltés à 1000 degrés jour et conditionnés en polybag de 50 µm auront une DVV beaucoup plus importante pour l'essai en carton que pour l'essai en bouquet unique.

Dans le cas des essais sur le polybag de 50 µm, on ne peut pas émettre d'hypothèse pour expliquer pourquoi les fruits à 1000 degrés jours et conditionnés en bouquet unique ont mûrit avant ceux conditionnés en carton. Pour les fruits à 900 degrés jours et en polybag de 50 µm, seuls les fruits conditionnés en carton ont déjà subit leur crise climactérique, alors que ceux en bouquet unique ne sont pas encore mûrs. On peut penser que cette maturation plus précoce est dûe aux pourritures qui ont contaminé les fruits malgré le traitement préalable au fongicide.

Chapitre 4 :
Conclusions et Perspectives

Nous avons montré grâce à cette étude que le conditionnement sous atmosphère modifiée permettaient de limiter le développement de cinq parasites fongiques impliqués dans la maladie de la pourriture de couronne. L'efficacité du stockage sous atmosphère modifiée est identique à celle du traitement fongicide en entrée mûrisserie et légèrement plus faible en sortie mûrisserie. Ce sont les polybags de polyéthylène basse densité de 50 µm et Xtend® (polyamide) qui ont donné les meilleurs résultats.

Il ne semble pas que la DVV des fruits puisse être un bon marqueur de la sensibilité à la pourriture de couronne. La durée de "vie verte" est plus importante lorsque les fruits sont conditionnés en polybag. Cependant, le polybag Xtend®, offrant un des meilleurs contrôles de la pourriture, augmente la DVV de manière légèrement moins importante que le troisième type de polybag (polyéthylène de basse densité de 18 µm), alors que ce dernier est peu efficace pour limiter la maladie.

Nous n'avons pas vraiment pu apporter de conclusion quant à l'effet de l'âge physiologique du fruit à la récolte sur la progression des pourritures de couronne mais il semble que les fruits soient plus sensibles à la maladie lorsqu'ils sont plus agés. En revanche, la durée de "vie verte" est nettement lié à l'âge physiologique à la récolte et le processus de sénescence est plus précoce lorsque les fruits sont récoltés tardivement.

La durée de vie verte n'est peut-être pas un bon marqueur de la sensibilité des fruits à la pourriture de couronne, mais d'autres facteurs influençant le développement des pourritures de couronne ont pu biaiser les résultats.

La sensibilité du fruit à de faibles doses d'éthylène serait intéressante à étudier car elle pourrait conditionner la sensibilité du fruit à la à la pourriture de couronne. Les bananes ne répondent pas de façon similaire à cette hormone pour un temps de contact identique. Il semble qu'a partir d'un certain stade de développement, l'hormone déclenche la maturation. On ne sait pas quelle est l'action de ces doses d'éthylène sur le processus de sénescence de la couronne, mais il pourrait être lié avec le fait que le fruit devient "apte à mûrir". La faible quantité d'éthylène de blessure produite lorsque les fruits sont découpés pourrait agir sur les fruits s'ils sont sensibles, induire la sénescence de la couronne et, en conséquence,

la sensibilité à la pourriture. Il pourrait être également intéressant d'étudier le lien existant entre la sensibilité à l'éthylène et la durée de "vie verte".

L'étude de l'influence directe des conditions gazeuses établies dans les polybags sur le développement des champignons pourrait être réalisée. Cela a été le cas pour *C. musae* et non pour les autres parasites.

Nous avons observé que les polybag permettant la réduction du développement des nécroses de la couronne étaient ceux qui établissaient l'atmosphère la plus riche en CO_2. On ne connaît pas non plus l'influence de concentrations élevée de CO_2 sur les champignons en culture (autres que *C. musae*) et ceci pourrait faire l'objet d'une prochaine étude.

Ces résutats permettront de conseiller les planteurs Guadeloupéens pour améliorer la qualité de leur production :

Les fruits devraient être récoltés à des stade physiologiques constants, qui permettent une bonne homogénéité et d'optimiser le développement du fruit, c'est à dire sa taille en grade, et sa capacité de conservation. C'est au stade de 900 degrés jour que le CIRAD-FLHOR recommande d'effectuer la récolte.

Le conditionnement en polybag permet une amélioration importante de la conservation qui pourrait répondre à trois types de problèmes rencontrés par les planteurs :

1- Grade (diamètre) insuffisant pour des fruits provenant de régimes récoltés à 900 degrés jour des bananiers. La capacité de conservation offerte par le conditionnement en polybag de 50 µm permettrait de récolter des fruits plus tardivement ayant atteint un grade plus important. Il existe cependant une limite car au delà de 1000 degrés jour, les DVV mesurés dans ces emballages ont tendance à se rapprocher de celles observées lorsque les fruits ne sont pas conditionnés sous atmosphère modifiée.

2 – Allongement du temps de transit (conflits sociaux, changement de port de destination, problème technique du bateau, marché peu réceptif, etc) le conditionnement en polybag de 50 µm permettrait d'allonger la DVV, donc les fruits se conserveraient bien jusqu'à l'arrivée en mûrisserie.

3 – Pourriture de couronne. Le conditionnement en polybag réduit l'incidence de la maladie de la pourriture de couronne en absence de traitement fongicide. Le conditionnement en polybag constitue donc une alternative à la lutte chimique et

permettrait l'exportation de bananes non traitées après récoltes qui sont appréciées des consommateurs.

Références Bibliographiques

Rapport-Gratuit.com

Arneson PA (1960) Sensitivity of postharvest rot fungi of bananas to chlorine. *Phytopathlogy 60, 344-345*

Bakry F, Careel F, Caruana ML, Côte FX, Jenny C et Tezenas du montcel H (1997) Les bananiers. Dans : *l'amélioration des plantes tropicales, Charrier A, Hamon S, Jacquot M et Nicolas D (eds) Montpellier, CIRAD, ORSTOM, 109-139*

Barnett HL et Hunter Barry B (1972) Illustrated genera of impefect fungi. *Burgess publishing company third edition 237 pp*

Berril F (1956) Bunch cover for bananas. *Queensland agricultural journal 82, 435-440*

Booth C et Sutton BC (1984) *Fusarium pallidoroseum*, the correct name for *F. semitectum* Auct. *Trans. Br. Soc. 83, 702-704*

Brady (1987) Dans John et Marshal (1995)

Broughton et Wu (1979) Dans John et Marshal (1995)

Burden OJ (1968) Reduction of banan anthracnose following hot-water treatment of the green fruit. *Queensland J. Agric. Anim. Sci. 25, 135-144*

Careel F (1995) Etude de la diversité génétique des bananiers (genre Musa) à l'aide des marqueurs RFLP. *Thèse de troisième cycle, INA Paris-Grignon*

Champion J (1963) Le bananier. *Paris, Maisonneuve et Larose, 263 pp*

Chillet M et de Lapeyre de Bellaire L (1996) Conditionnement en polybag pour le contrôle de l'anthracnose de blessures des bananes. *Fruits 51, 163-172*

Chillet M, de Lapeyre de Bellaire et Joas J (1995) Un modèle expérimental pour l'étude de l'effet du conditionnement sur le chancre des bananes d'exportation. *Fruits 50, 173-181*

Chillet M et de Lapeyre de Bellaire L (1996) Elaboration de la qualité des bananes au champs. Détermination de critères de mesure. *Fruits 51, 317-326*

Chuang TY et Yang HR (1993) Biological control of banana anthracnose. *Plant Pathology bulletin (Taïwan) 2, 71-77*

Cox ML et Irwin JAG (1988) Conidium and appressorium variation in Australian isolates of the Colletotrichum gloesosporioides group and closely related species. *Australain Systematic botany 1, 139-149*

De Carvalho *et al.* (1988) Dans John et Marshal (1995)

De Costa DM, Amaradasa BS et Wegiriya RN (1997) Antagonists of *Colletotrichum musae* associated with banana fruit skin. *Journal of the national Science of of Sri-Lanka 25, 95-104*

de Lapeyre de Bellaire L (1999) Bio-écologie de *Colletotrichum musea* (Berk & Curt.) Arx, agent de l'anthracnose des bananes, dans les conditions tropicales humides de la guadeloupe. *Thèse, Université Paris 11 Orsay*

de Lapeyre de Bellaire L et Dubois C (1997) Distribution of thiabendazole-resistant Colletotrichum musae isolates from Guadeloupe banana plantations. *Plant Disease 81, 1378-1382*

de Lapeyre de Bellaire L et Mourichon X (1997) The pattern of fungal contamination of the banana bunch during its development and potential influence on incidence of crown-rot and anhrcnose diseases. *Plant pathology 46, 481-489*

de Lapeyre de Bellaire L, Chillet M et Buat H (1998) Intérêt du conditionnement en polybag des bananes d'exportation vis-à-vis de l'anthracnose de blessure due à *Colletotrichum musae. Réunion annuelle du CIRAD-FLHOR. Technique et maîtrise de la qualité. 4-7 septembre 1998, Montpellier, France*

de Lapeyre de Bellaire L, Chillet M, Dubois C, mourichon X (2000) Importance of different sources of inoculum and dispersal methods of conidia of *Colletotrichum musae*, the causal agent of banana anthracnose, for fruit contamination. *Plant Pathology 49, 782-790*

Deullin R et Monnet J (1956) Observations on the hardness of banana pulp during planned development and in the preclimacteric phase for the purpose of estimating the quality of the fruit. *Fruits 11, 341-*

Fergusson WE, Yates AR, MacQueen KF et Robb JA (1966) The effects of gamma radiation on bananas. *Food Technology 203, 105-107*

Finlay AR et Brown AE (1993) The relative importance of *Colletotrichum musae* as a crown rot pathogen on Windwards Islands bananas. *Plant Patholgy 42, 67-74*

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Finlay AR, Lubin C et Brown AE (1992) The banana stalk as a source of inoculum of fungal pathogens which cause crown rot. *Tropical Science 32, 343-352*

Fuchs Y et Temkins-Godoreiski N (1971) The course of ripening banana fruits stored in sealed polyethylene bags. *Jour. Am. Soc. Hor. Sci. 96, 401-403*

Ganry (1975) Influence du gainage des régime de bananiers avec une housse de polyéthylène sur la température des fruits dans les conditions de Neufchâteau (Guadeloupe). *Fruits 30, 735-738*

George et mariott, 1983 Dans John et Marshal (1995)

Germain S (2002) Etude des problèmes de la qualité de la banane d'exportation liée à la réceptivité du fruit à l'éthylène et à l'anthracnose de blessure. *Rapport de stage de MST, Université d'Angers*

Hassan *et al.* (1987) Dans John et Marshal (1995)

Indrakeerthi SRP et Adikaram NKB (1996) Papaya latex, a potential postharvest fungicide. Dans : Proceedings of the Australian Postharvest Horticulture Conference 'Science and technology for the fresh food revolution", *Melbourne, Australie 18-22 septembre 1995. Institute for horticultural Development, 423-427*

IRFA (Institut de Recherche sur les Fruist et Agrumes) (1980) La qualité de la banane, La règlementation française et son interprétation

John P et Marshal J (1995) Ripening and biochemestry of the fruit, dans : Bananas and plantains, *Gowen (ed), Chapman & hall, Londres*

Jones DR et Stover RH (1999) Fungal diseases of banana fruit. *Dans Diseases of banana, abacà and enset, Jones (ed) CABI publishing*

Jullien A (2000) Croissance, développement et qualité des fruits du bananier. Modélisation de la répartition des assimilats entre les fruits du régime. *Thèse de Troisième cycle. Institut National Agronomique de Paris Grignon, 92 pp*

Knight C (1982) Pathogenicity of some fungi associated with crown rot on ripe bananas. *Phytopathologische Zeitschrift 89, 170-176*

Krauss U (1996) Establishment of a bioassay for testing control measures against crown rot of banana. *Crop Protection 15, 269-274*

Lachenaud JL (1972) Protection contre le thrips de ka rouille par gainage du régime de bananes. *Fruits 27, 17-19*

Lescot T (2002) Banane, production, commerce et variétés. *Fruitrop 87, 7-11*

Liu FW (197)6 Ethylene inhibition of senescent spot on ripe bananas. *Jour. Am. Soc. Hor. Sci. 101, 684-686*

López-Cabrera JJ et Marrerro Domínguez A (1998) Use of hot water dips to control the incidence of banana crown rot. *Acta Horticulturae 490, 563-569*

Lukezic FL et Kaiser WJ (1966) Aerobiology of Fusarium roseum "Gibbosum" associated with crown rot of boxed bananas. *Phytopathology 56, 545-548*

Marin DH (1996) Pathogenicity of fungi associated with crown rot of bananas in Latin America on Grande Naine and disease-resistant hybrid bananas. *Plant disease 80, 525-528*

Mariott J et New S (1975) Storage physiology of bananas from new tetraploid clones. *Trop. Sci. 17, 155-*

Mariott J, New S, Dixon EA et Martin KJ (1979) factors affecting the preclimacteric peroid of banana fruit bunches. *Ann. Appl. Biol. 93, 91-*

Mariott J (1980) Bananas : physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality Dans : *CRC Critical Reviews of Food Science and nutrition*

Meredith (1962) Some fungi on decaying leaves in Jamaica. *Trans. Brit. Mycol. Soc. 45, 335-347*

Meredith DS (1965) Tip rot of banan fruit in Jamaica. II. *Verticilum theobrome* and *Fusarium spp. Trans. Brit. Mycol. Soc. 48, 327-336*

Muirhead IF et Deverall BJ (1981) Role of appressoria in latent infections of banana fruits by *Colletotrichum musae. Physiological Plant Pathology 19, 77-84*

Muirhead IF et Jones DR (1999) Fungal diseases of banana fruit : postharvest diseases Dans : Jones (ed) Diseases of banana, abaca and enset. *CABI publishing 543 pp*

Nelson paul E, Toussoun TA et Marasas WFO (1983) *Fusarium* species, An illustrated manual for identication. *The pennsylvania University press, 193 pp*

New S et Mariott J (1974) Post-harvest physiology of tetraploid babana fruit : response to storage and ripening. *Ann. Appl. Biol. 78, 193-*

Pacico R (2001) Influence d'atmosphères modifiées obtenues à l'aide de polybags sur la pathologie du complexe de la maladie de la pourriture de couronne. *Mémoire de fin d'études, Faculté Universaitaire des sciences agronomiques de gembloux, 60 pp*

Postmaster A, Kuo J, Sivasithamparam K et Turner DW (1997) Interaction between *Colletotrichum musae* and antagonistic microorganisms on the surface of banana leaf discs. *Scientia Horticulturae 71, 113-125*

Quazi MH et Freebairn HT (1970) Influence of ethylene, oxygen and carbon dioxide on on ripening of bananas. *Bot. Gaz. (Chicago) 13,1 5-*

Quimio AJ et tesserra M (1966) Disease of enset. Dans : Abate T, Hibish C, Brandt SA et gebremariam S (eds) Proceedings of the international workshop on Enset Institute of the agricultural research, *Addis Abada, Ethiopie 188-203*

Rey F (2002) Rouille argentée des bananes martiniquaises : distribution et méthodes de lutte. *Fruits 57, 3-10*

Sarananda KH et Wilson Wijeratnam RS (1997) Changes in susceptibility to crown rot during maturation of Embul bananas and effect of low oxygen and high carbon dioxide on extent of crown rot. *Seventh International Controlled Atmosphere Reserch conference, 13-14 juillet 1997. Université de californie, Davis, Californie (résumé) 110 pp*

Satyan S, Scott KJ et Graham D (1992) Storage of banana bunches in sealed polyehtylene tubes. *Jour. Hor. Sci. 67, 283-287*

Scott KJ et Gandesnegara S (1974) Effects of the temperature on the storage life of bananas held in ployethylene bags with ethylene absorbent. *Trop. Agri. (Trinidad) 51, 23-*

Shilligford CA (1976) Occurence of banana fruit-rot fungi in Jamaican Boxing plants. *Plant Disease Reporter 60, 788-793*

Shillingford CA (1977) Control of banana fruit rots and of fungi that contaminate washing water. *Trop. Sci. 19, 197-203*

Shillingford CA et Sinclair JB (1977) Susceptibility of five banan cultivars to anthracnose and crown rotting fungi. *PlantDdisease Reporter 61, 797-801*

Shorter AJ, Scott KJ et Graham D (1987) Controlled atmosphere storage of bananas in bunches at ambiant temperatures. *CSIRO Food Research Queensland 47, 715-719*

Simmonds NW (1962) The evolution of the bananas. *Longmans Green Londres 170 pp*

Simmonds NW et Mitchel RS (1940) Black end and anthracnose of banan with special reference to *Gloeosporium musarum* Cke. And Mass. *Bulletin of the Council for Scientific and Industrial Research of Australia 131, 1-63*

Slabaugh WR et Grove MD (1982) Postarvest diseases of bananas and their control. *Plant disease 66, 746-750*

Stover RH (1972) Banana, Plantain and Abaca diseases. *Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, RU 316 pp*

Stover RH et Simmonds NW (1987) Bananas 3rd edn. *Longman Scientific and Technical, Harlow, RU, 468 pp*

Thompson AK (1998) Controled atmosphere storage of fruits and vegetables. *CAB International, Willingford, UR, 265 pp*

Thompson et Seymour (1982) Dans John et Marshal (1995)

Tung *et al.* (1987) Dans John et Marshal (1995)

Wade NL (1974) Effects of oxygen concentration and ethephon upon the respiration and ripening of banana fruits. *J. Exp. Bot. 25, 955-964*

Wade NL et Graham D (1987) A Model to descrobe the modified atmospheres developed during the storage of fruit in plastic films. *ASEAN Food J. 3 105*

Wade NL, Kavanah EE et Sepiah M (1993) Effects of modified atmospheres storage on banana postharvest diseases and control of bunch main-stalk rot. *Postharvest Biology and Technology 3, 143-154*

Wallbridge A (1982) Fungi associated with crown-rot disease of boxed bananas from the Windward Islands during a two-year survey. *Trans. Br. Mycol. Soc. 3, 567-577*

Wei Y et Thompson AK (1993) Modified atmosphere packaging of diploid bananas *Musa* AA. *Post-harvest treatment of fruit and vegetables . COST'94 Workshop 14-15 septembre 1993, Leuven, Belgique 235-246*

Zaemey AB Al, Magan N, Thompson AK (1993) Studies on the effect of fruit-coating polymers ad organic acids on growth of Collettotrichum musae in vitrro and on post-harvest control of anthracnose of bananas. *Mycol. Res. 97, 1463-1468*

Zagory D (1990) Application of conputers in the design of modified atmosphere packaging to fresh produce. Dans : International conference in modified atmosphere packaging part 1. *campden Food and Drinks Research Association, Chipping Campden*

ANNEXE : ISOLEMENT DE SOUCHES DE CHAMPIGNON

Isolation de Fusarium pallidoroseum

Des pièces florales sont récupérées sur des régimes jeunes (entre 70 et 150 degrés jours) et mises en agitation 1 heures dans l'eau distillée stérile (40 mL pour 5 pièces florales). L'eau d'agitation est ensuite filtrée et centrifugée 10 minutes à 4000 rpm puis le culot de spores est repris dans 40 mL d'eau stérile, formant la solution mère. Celle-ci est diluée en cascade pour obtenir 4 concentrations (par rapport à la solution mère) : 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}. Deux fois 100 µL de ces solutions diluées sont étalées en boîte de Pétri sur PDA + chloramphénicol.

Au bout de 3 jours, les colonies de *Fusarium* sont grossièrement repérées puis le mycélium est repiqué sur un milieu neuf. Après 4 jours, la fraction centrale du champignon est grattée pour récupérer les mégaspores, étalée sur agar sans antibiotique puis placée 4 à 5 heures à 25 °C. Les mégaspores germées sont prélevées sous la loupe binoculaire et repiquées sur du PDA (culture de monospores). Après repiquage sur PDA, le *Fusarium pallidoroseum* est identifié grâce à la clé de détermination des Fusarium et mis en collection.

Isolation de *Botryodiplodia sp.*

Des bananes présentant les symptôme d'une infection par *Botryodiplodia* sont isolées. Le mycélium gris colonisant le fruit est placé sur milieu PDA ainsi que le fragment de peau comportant la zone bordante de colonisation des tissus par le champignon. Le mycélium qui s'est développé sur la boîte est repiqué sur PDA. Les mégaspores apparaissent à l'extrémité du mycélium de Botryodiplodia et sont prélevées sous la loupe binoculaire pour être repiquées sur un milieu neuf. Les champignons issus de ces monospores sont determinés comme appartenant au genre Botryodiplodia mais l'espèce n'a pas pu être déterminée.