LISTE DES ABRÉVIATIONS

% : pourcentage

°C : degré Celcius

°C-jour : degré jour

µg : microgramme

µl : microlitre

µm : micromètre

1-MCP : 1-méthylcyclopropène

ACC : 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid

Ca : calcium

CO_2 : dioxyde de carbonne

DVV : durée de vie verte

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations

IFC : intervalle fleur-coupe

MeJA : méthyljasmonate

Mt : million de tonne

PDC : pourritures de couronne

ppm : parties par millions

SNI : surface de nécrose interne

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1 : Schéma général d'un bananier en phase de fructification 6

Figure 2 : Echelle colorimétrique de maturation des bananes (Dadzie & Orchard, 1997) 16

Figure 3 : Schéma des différents facteurs influençant la qualité des fruits et moyens de contrôle 21

Figure 4 : Localisation géographique des deux parcelles ayant servi à l'essai 37

Figure 5: Régime au stade dernière main horizontale 38

Figure 6: Ablation des fausses mains et de la popote 39

Figure 7 : Marquage avec bande de chantier et ruban de couleur 39

Figure 8 : Numérotation de la semaine de marquage et du numéro de bananier 39

Figure 9 : Schéma de l'échantillonnage 40

Figure 10 : Récolte des mains 41

Figure 11 : Récolte des mains 41

Figure 12 : Boîte de Petri contenant le Colletotrichum musae 42

Figure 13 : Matériels servant à la préparation de l'inoculum 42

Figure 14 : Matériels servant à la préparation de l'inoculum 42

Figure 15 : Trois bouquets d'une seconde main numérotés 43

Figure 16 : Ensemble des bouquets constituant un carton 43

Figure 17 : Surface de nécrose interne 44

Figure 18 : Evolution des SNI sur les parcelles Fromager et Patate 2 en fonction de l'âge physiologique 47

Figure 19 : Représentation des données de températures récoltées sur la parcelle Fromager au cours de l'essai 48

Figure 20 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la première répétition 50

Figure 21 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la deuxième répétition 51

Figure 22 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la troisième répétition 51

Figure 23 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la quatrième répétition 52

Figure 24 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la cinquième répétition 52

Figure 25 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la sixième répétition 53

Figure 26 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la septième répétition 53

Figure 27 : Evolution de la SNI sur Fromager en fonction de l'âge physiologique 55

Figure 28 : Evolution de la SNI sur Patate 2 en fonction de l'âge physiologique 55

Figure 29 : Comparaison des deux modèles d'évolution de la SNI en fonction de l'âge 56

Tableaux

Tableau 1 : Classification et répartition géographique des principaux cultivars (Bakry et al., 1997) 4

Tableau 2 : Présentation des 20 plus grands producteurs de bananes "dessert" et bananes plantain 8

Tableau 3 : Répartition des différentes variétés produites selon la région productrice (en %) 9

Tableau 4 : Présentation des 10 plus grands pays exportateurs en 2005 (FAO, 2005) 10

Tableau 5 : Ages physiologiques obtenus à la récolte des régimes pour les différentes répétitions 46

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 1

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE 2

1. Le bananier 2

1.1. Taxonomie de la banane 2

1.2. Morphologie 5

1.2.1. L'appareil végétatif 5

1.2.2. L'inflorescence 5

1.3. Exigences écologiques 6

2. Économie mondiale de la production bananière 7

2.1. Production mondiale de bananes 7

2.2. Commerce international de la banane 9

2.3. La production de bananes en Guadeloupe 10

3. Qualité des bananes d'exportation 12

3.1. Importance de la réglementation européenne 12

3.2. Durée de vie verte 14

3.3. Maturation 15

4. Itinéraire technique 17

4.1. La plantation 17

4.2. Les soins au régime 17

4.3. De la récolte au transport par bateau 18

5. Maladies post-récolte ____ *19*

5.1. L'anthracnose ____ **19**

5.2. Les pourritures de couronne ____ **20**

5.2.1. Composante parasitaire ____ 22

5.2.1.1. Modèle de contamination ____ 23
5.2.1.2. Importance des parties florales et de la dernière bractée comme source d'inoculum 23
5.2.1.3. Importance de la pluie dans la dispersion des conidies ____ 24

5.2.2. Composante physiologique ____ 24

5.2.2.1. Variation de sensibilité due aux conditions pédoclimatiques ____ 25
5.2.2.2. Variation de la production d'éthylène par le fruit et son rôle dans la relation hôte/pathogène ____ 26
5.2.2.3. Variation intra-régime ____ 27
5.2.2.4. Variation suite à des modifications du rapport sources/puits ____ 28
5.2.2.5. Les composés fongitoxiques ____ 29
5.2.2.6. Variation selon l'âge physiologique ____ 30

5.2.3. Méthodes de lutte ____ 31

5.2.3.1. Méthodes prophylactiques ____ 31
5.2.3.2. Méthodes chimiques ____ 32
5.2.3.3. Méthodes biologiques ____ 33
5.2.3.4. Méthodes physiques ____ 34
5.2.3.5. Méthode génétique ____ 35
5.2.3.6. Lutte intégrée ____ 35

OBJECTIF ____ **36**

MATERIELS ET METHODE ____ **37**

1. Matériel végétal et lieux de l'essai ____ *37*

2. Marquage des régimes ____ *38*

3. Récolte ____ *39*

4. Méthode de reproduction des symptômes ____ *41*

4.1. Préparation de l'inoculum ____ **41**

4.2. Préparation des couronnes ____ **42**

4.3. Inoculation des couronnes ____ **43**

5. Simulation du programme d'exportation ____ *44*

6. Evaluation de la progression du pathogène ____ *44*

7. Analyse des résultats ____ *44*

RESULTATS ET DISCUSSION _____ **46**

1. Introduction _____ *46*

2. Etude de la variation de sensibilité selon la variété _____ *47*

3. Etude de la variation de sensibilité entre bananiers _____ *49*

4. Etude de la variation de sensibilité selon l'âge physiologique _____ *54*

CONCLUSION ET PERSPECTIVES _____ **62**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES _____ **64**

ANNEXES _____ **72**

Annexe I : Calendrier de marquage _____ *72*

Annexe II : Composition du milieu Mathur _____ *73*

Annexe III : Analyse statistique (AV4 semi-hiérarchisée mixte) _____ *74*

Annexe IV : Analyse statistique (Fromager) _____ *81*

Annexe V : Analyse statistique (Patate 2) _____ *85*

Annexe VI : ANCOVA _____ *89*

Annexe VII : Représentation graphique de l'évolution des SNI en fonction de l'âge physiologique pour les 7 répétitions _____ *90*

INTRODUCTION

Rapport-Gratuit.com

La banane est cultivée dans l'ensemble des régions tropicales et joue un rôle économique important pour de nombreux pays en développement. Elle représente la quatrième culture vivrière au monde après le riz, le blé et le maïs, en terme de valeur brute de production. La banane est également le fruit frais le plus exporté, en terme de volume et de valeur (FAO, 2003).

En outre, elle occupe une place importante dans l'économie de divers pays. Utilisée comme culture vivrière ou d'auto-consommation, elle constitue une part importante de l'alimentation de base; comme culture d'exportation, elle représente une ressource financière pour un certain nombre de pays (FAO, 2003).

La production de bananes destinées à l'exportation relève d'une activité économique et technologique différente de celle destinée à la production d'une denrée de base. Les bananes d'exportation n'appartiennent qu'à quelques variétés seulement et sont caractérisées par un rendement élevé, une résistance au transport, une qualité constante et des fruits sans taches. En effet, les pays importateurs tels que ceux de la Communauté européenne, ont fixé des normes auxquelles doivent correspondre les fruits. Dans le cas où ces normes ne sont pas respectées, les fruits sont déclassés. Ils constituent alors une perte financière à la fois pour le producteur et pour le mûrisseur. Outre les blessures, grattages et autres défauts mécaniques, certaines maladies peuvent encore diminuer la qualité des bananes. Notamment, la maladie post-récolte des pourritures de couronne peut engendrer des pertes importantes en l'absence de traitement.

Suite à l'apparition de la maladie de Panama, la variété la plus exportée, la Gros Michel, sensible à la maladie, s'est vue remplacée par la variété Cavendish, résistance à la maladie. Le problème des pourritures de couronne est alors apparu lorsque les bananes Cavendish, moins résistantes au transport, ont été exportées sous forme de bouquets plutôt que par régimes entiers (Muirhead & Jones, 2000). Cette maladie s'est largement répandue dans les pays producteurs et est considérée comme étant la plus importante affectant les bananes exportées (Krauss & Johanson, 2000). Pour contrôler cette maladie dans le cadre du commerce international de la banane tout en diminuant l'utilisation des fongicides, une connaissance détaillée de tous les facteurs affectant la sensibilité du fruit aux pathogènes et le développement de ces derniers est indispensable (Muirhead & Jones, 2000).

Au cours de ce travail, les aspects généraux concernant la taxonomie et la culture de la banane seront abordés ainsi que les caractéristiques commerciales auxquelles les bananes d'exportation doivent répondre. Les facteurs affectant la sensibilité des fruits à la maladie seront ensuite détaillés. Enfin, l'objectif de ce travail est d'apporter des réponses concernant l'impact de l'âge physiologique des fruits sur leur sensibilité aux pourritures de couronne. Les résultats de l'expérimentation seront finalement discutés.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1. Le bananier

1.1. Taxonomie de la banane

Les bananiers sont des monocotylédones appartenant à la famille des *Musaceae* de l'ordre des *Zingiberales*. La grande majorité des bananiers cultivés font partie du genre *Musa*. Le genre compte environ 40 espèces et est divisé en cinq sections: *Australimusa* (2n=20), *Callimusa* (2n=20), *Rhodochlamys* (2n=22), *Ingentimusa* (2n=14) et *Eumusa* (2n=22). Cette dernière comprend presque l'ensemble des bananiers cultivés (Bakry *et al*., 1997).

Les cultivars comestibles sont issus, pour l'essentiel, de deux espèces sauvages diploïdes, *Musa acuminata*, dont le génome est noté A et *Musa balbisiana*, dont le génome est noté B. Ces deux espèces produisent des graines et se reproduisent de manière sexuée ou par multiplication végétative à partir de rejets. Leur évolution et domestication par l'homme ont abouti à des variétés stériles et parthénocarpiques. Les variétés les plus rencontrées actuellement sont des clones triploïdes stériles et aspermes, qui proviennent soit de la seule espèce *M. acuminata* (groupe AAA), soit de croisements interspécifiques entre *M. acuminata* et *M. balbisiana* (groupe AAB et ABB). Des variétés diploïdes et tétraploïdes existent mais sont plus rares (Bakry *et al*., 1997).

La classification botanique adoptée actuellement se base sur des différences morphologiques. Quinze caractères (2 caractéristiques végétatives et 13 caractéristiques génératives) ont été retenus afin de classifier les espèces et sont notés sur une échelle allant de 1 à 5, où 1 correspond à une expression phénotypique du génome A et 5 à une expression phénotypique du génome B. Cette cotation permet de déterminer la contribution de chaque génome. En prenant en compte le niveau de ploïdie et le score obtenu en additionnant les notes, il est alors possible de déterminer la constitution génomique d'un cultivar et son appartenance à un groupe donné. Les cultivars d'un groupe (AA, AAA, AAB ou ABB), qui dérivent les uns des autres par des mutations de rejets et qui ont donc des caractères communs, sont rassemblés en sous-groupes (Bakry *et al*., 1997).

Suite aux multiples croisements, une grande diversité de bananiers existe actuellement. Les bananiers se différencient par leur taille, la production de graines, l'attribut comestible du fruit, etc. Cependant, les bananes sont classées selon deux principaux types:

- les bananes dites "à cuire" (Cooking bananas), utilisées pour l'alimentation de base (Ngeze, 1994) comprennent les plantains (Groupe AAB), les autres types de bananes "à cuire" (groupe ABB), les bananes d'altitude (groupe AAA, à bière) et les cultivars du groupe AAB autres que les plantains (Lassoudière, 2007). Les fruits sont riches en amidon et contiennent peu de sucre, même à maturité. D'autres variétés de ce groupe sont vigoureuses et résistantes à la sécheresse et à certaines maladies (Ngeze, 1994). Les cultivars "plantain" sont caractérisés par leur

inflorescence et leur taille. Quatre groupes majeurs, basés sur le type d'inflorescence et trois sous-groupes, basés sur la taille des plants, sont définis (Craenen, 1998).

- les bananes dites "dessert" (Sweet bananas), comestibles après avoir mûri (Ngeze, 1994) sont représentées par les variétés du sous-groupe Cavendish (groupe AAA), les autres bananes dessert de type Figue pommes et Prata (groupe AAB) et quelques variétés des groupes AA (Figue sucrée) et AAA (Gros Michel) (Lassoudière, 2007).

Tableau 1 : Classification et répartition géographique des principaux cultivars (Bakry *et al*., 1997)

Sous-groupe	Cultivars	Type de fruit	Distribution
GROUPE AA			
Sucrier	Pisang Mas, Fayssinette, Figue sucrée	dessert sucré	tous continents
Pisang Lilin	-	dessert	Indonésie, Malaisie
Pisang Berangan	-	dessert	Indonésie, Malaisie
Lakatan	-	dessert	Philippines
GROUPE AAA			
Cavendish	Lacatan, Poyo, Williams, Grande Naine, Petite Naine	dessert	pays exportateurs
Gros Michel	Gros Michel, Highgate, Cocos	dessert	tous continents
Figue Rose	Figue Rose rose, Figue Rose verte	dessert	Philippines, Pacifique, Antilles Afrique de l'Est
Lujugira	Intuntu, Mujuba	à bière, à cuire	Indonésie, Afrique
Ibota	Yangambi km5	dessert	
GROUPE AB			
Ney Poovan	Sait Velchi, Sukari	dessert acide	Inde, Afrique de l'Est
GROUPE AAB			
Figue Pomme	Maça, Silk	dessert acide	tous continents
Pome	Prata	dessert acide	Inde, Malaisie, Australie, Brésil, Afrique de l'Ouest
Mysore	Pisang Ceylan	dessert acide	Inde
Pisang Kelat	Pisang Kelat	dessert	Inde, Malaisie
Pisang Rajah	Pisang Rajah Bulu	à cuire	Malaisie, Indonésie
Plantains	French Corne, Faux corne	à cuire	Afrique du Centre et de l'Ouest, Caraïbe, Amérique latine
Popoulou	Popoulou	à cuire	Pacifique
Laknao	Laknao	à cuire	Philippines
Pisang Nangka	Pisang Nangka	à cuire	Malaisie
GROUPE ABB			
Bluggoe	Bluggoe, Matavia, Poteau, Cacambou	à cuire	Philippines, Caraïbe, Amérique latine
Pelipita	Pelipita	à cuire	Philippines, Amérique latine
Pisang Awak	Fougamou	dessert	Thaïlande, Inde, Philippines, Afrique de l'Est
Peyan	-	à cuire	Philippines, Thaïlande
Saba	Saba	à cuire	Philippines, Indonésie, Malaisie

1.2. Morphologie

1.2.1. L'appareil végétatif

Le bananier est une herbe géante, dont le pseudo-tronc, formé par l'emboîtement des gaines foliaires, mesure de 1 à 8 mètres de haut. Les feuilles sont émises par le méristème terminal de la tige vraie. Cette dernière, appelée cormus, ou improprement désignée "bulbe" est souterraine et de taille réduite. De nouvelles feuilles apparaissent tous les 7 à 10 jours et ont une durée de vie de 70 à 200 jours. La surface foliaire peut atteindre 2 m² (Bakry *et al*., 1997). Le méristème produit continuellement de nouvelles feuilles. Après 12 à 15 feuilles, des méristèmes latéraux apparaissent à la base des feuilles du cormus. Ceux-ci gonflent et se transforment en bourgeons. Cependant, ils sont inhibés par le méristème apical. En effet, des phytorégulateurs interviennent dans ce processus. L'inhibition du développement de ces bourgeons diminue lorsque le rapport cytokine/auxine augmente. La dominance apicale disparaît lorsque le méristème apical se transforme en inflorescence ou lorsqu'il est enlevé. Des rejets se développent alors à partir des bourgeons situés à l'aisselle de chaque feuille. Il s'agit du mode de reproduction naturel des variétés cultivées. La formation de rejets est très lente chez les plantains alors qu'elle est plus rapide chez les bananiers à fruits "dessert" et les bananiers d'altitude. En effet, la dominance apicale est beaucoup plus marquée chez les premiers par rapport aux deux derniers cités (Swennen & Vuylsteke, 2001). En fin de phase végétative, dont la durée varie de neuf à dix-huit mois selon la variété et les conditions de culture, une modification du fonctionnement du méristème central provoque la croissance et l'allongement de la tige vraie au cœur du pseudo-tronc puis l'émergence de l'inflorescence (Bakry *et al*., 1997).

1.2.2. L'inflorescence

L'inflorescence prend naissance à partir du méristème apical du cormus après l'initiation florale. Elle reste dans le pseudo-tronc, au niveau du sol, pendant deux mois environ, mais monte rapidement une fois que les 2 à 4 dernières feuilles sont sorties. Elle émerge alors du sommet du pseudo-tronc suite au déploiement de la dernière feuille. Cette étape est appelée la jetée (Swennen & Vuylsteke, 2001).

L'inflorescence est indéfinie et forme une grappe. Elle est constituée de spathes imbriquées, disposées en hélice, à l'aisselle desquelles naissent les rangées simples ou doubles de fleurs (Bakry *et al*., 1997). Celles-ci reposent sur des protubérances appelées glomérules, coussinets ou couronnes (Swennen & Vuylsteke, 2001). Les premières rangées de fleurs, appelées mains, constituent le régime de fruits. Il s'agit des fleurs femelles, presque toujours stériles, composées d'un ovaire infère bien développé, d'un style long et d'étamines non fonctionnelles, réduites à l'état de staminodes. Parfois, les étamines sont fonctionnelles et les fleurs sont alors hermaphrodites. Chez les bananiers cultivés, les ovaires des fleurs femelles se remplissent de pulpe et forment ainsi le fruit ou doigt, sans pollinisation ni formation de graines (Bakry *et al*., 1997). Le style et les staminodes tombent et laissent une cicatrice brun

noir à l'extrémité du fruit (Swennen & Vuylsteke, 2001). L'ensemble des fruits est dirigé vers le bas lors de l'anthèse et se recourbe ensuite vers le haut sous l'effet de la lumière (Swennen & Vuylsteke, 2001). En plantation, la récolte du régime marque le dépérissement du pied mère, qui est alors coupé. La longueur des fruits varie de 10 à 30 cm, un régime peut peser de 5 à 70 kg et compter de 1 à 15 mains. Le développement des fruits peut prendre de 2 à 6 mois, selon les conditions environnementales, le cultivar et le degré de ploïdie.

Sous les mains de fleurs femelles, suivent les mains mâles constituées de fleurs à ovaire réduit, d'un style court et d'étamines bien développées. La croissance de l'inflorescence se poursuit, chez la majorité des cultivars, de manière indéfinie pour former ce qu'on appelle la bourgeon mâle ou popote. S'il n'est pas coupé, ce bourgeon prolongera sa croissance jusqu'à la maturité des fruits et la fanaison de la tige (Bakry *et al*., 1997).

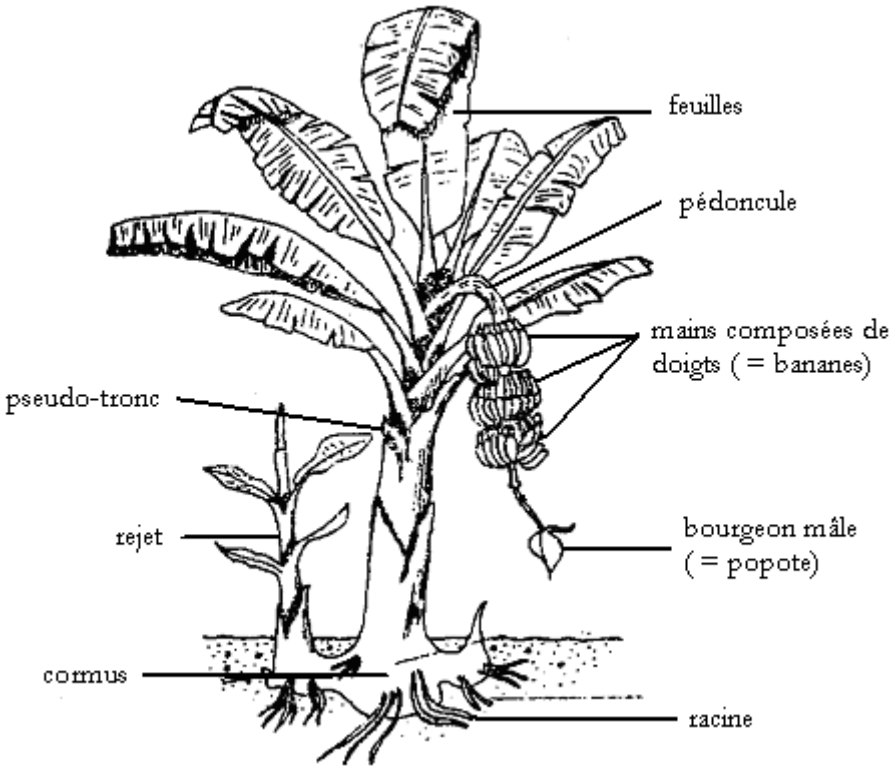


Figure 1 : Schéma général d'un bananier en phase de fructification

1.3. Exigences écologiques

Les bananiers "dessert" et les plantains se rencontrent plutôt sur les basses terres. En altitude, ils se développent lentement. Par contre, les bananiers produisant des fruits "à cuire" et "à bière" préfèrent les régions d'altitude entre 1200 et 1800 m.

Le climat adéquat pour la culture du bananier est une température située entre 19 et 33°C. Des valeurs supérieures sont tolérées si l'apport d'eau est adapté. Au-delà de 38°C, la croissance est cependant stoppée. De plus, la croissance est nulle en dessous de 14°C et le refroidissement endommage les fruits. Si les bananiers sont exposés au gel, ils dépérissent (Swennen & Vuylsteke, 2001).

L'humidité requise est élevée et varie de 60 à 100%. Les plants demandent également 25 à 70 mm d'eau par semaine, selon le taux d'évapotranspiration et une humidité du sol de 80 à 100% de la capacité au champ. La pluviométrie minimale est d'au moins 100 mm par mois. Cependant, les bananiers résistent assez facilement à une période de sécheresse inférieure à 3 mois (Swennen & Vuylsteke, 2001).

De plus, le sol doit être bien drainé. En effet, une inondation de plus de 24 h entraîne des pertes importantes. Les sols limoneux, profonds et bien drainés sont les plus adéquats pour la culture du bananier. Les éléments tels que l'N, le P, le K, le Ca et le Mg sont indispensables pour obtenir un bon développement et une production élevée. Le pH varie quant à lui entre 4 et 8 (Swennen & Vuylsteke, 2001).

Les basses températures ou une mauvaise pluviométrie peuvent engendrer des stress qui rendent les bananiers chlorotiques. Les nouvelles feuilles et les régimes émergent mal dans ces conditions.

Enfin, du fait de leurs nervures parallèles et non ramifiées, les feuilles se déchirent facilement sous l'action du vent (Shaw & Nagy, 1980).

2. Économie mondiale de la production bananière

Les bananiers comptent parmi les cultures vivrières les plus importantes de nombreux pays tropicaux et subtropicaux d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. Ils sont présents dans plus de 120 pays et jouent un rôle essentiel dans l'alimentation quotidienne (Frison & Sharrock, 1998).

En outre, suite aux échanges locaux et internationaux, la culture bananière représente une source de revenu pour de nombreux producteurs. La grande majorité des producteurs cultivent les bananes à petite échelle, soit pour leur propre consommation, soit pour les marchés locaux. Dans certains cas, cette culture constitue la seule source de revenu (Frison & Sharrock, 1998).

2.1. Production mondiale de bananes

Sur 30 ans, de 1970 à 1997, la production globale de bananes n'a cessé d'augmenter, passant de 51 millions de tonnes à 88 millions de tonnes. Une augmentation de 70% a ainsi été enregistrée. Cette tendance croissante a été observée dans toutes les régions de production (Asie, Afrique, Amérique latine - Caraïbes) (Frison & Sharrock, 1998). En 2006, la production mondiale de banane est estimée à 104,7 millions de tonnes. Les bananes "dessert" constituent 67% de la production, alors que les autres types de bananes, plantains et autres bananes "à cuire", constituent 33% (FAO, 2006). Ces chiffres demeurent toutefois approximatifs étant donné que la majorité de la production est alimentée par de petits producteurs, cultivant sur des superficies réduites pour lesquelles les statistiques font défaut.

Cet accroissement de la production, résultant essentiellement en une production accrue de Cavendish, est partiellement due à une augmentation des rendements mais résulte avant

tout de superficies cultivées plus importantes. L'augmentation des rendements enregistrée a essentiellement été importante en Asie entre 1970 et 1980, alors qu'en Afrique et en Amérique, la productivité n'augmente pas de façon significative (FAO, 2003). En ce qui concerne les superficies cultivées, celles-ci sont passées de 5,9 millions d'ha en 1970 à plus de 9,6 millions d'ha en 2006, soit un accroissement de 62%. En 2006, la superficie cultivée était, pour les bananes "dessert", de 4 180 038,7 ha et, pour les plantains, de 5 438 600 ha (FAO, 2006).

Il existe plus de 100 pays producteurs de bananes "dessert" et plantains dans le monde. L'Afrique, l'Asie-Pacifique et l'Amérique latine - Caraïbes produisent chacun environ un tiers de la production mondiale (Frison & Sharrock, 1998).

Tableau 2 : Présentation des 20 plus grands producteurs de bananes "dessert" et bananes plantain (FAO, 2006)

Pays	Production (T)	Pays	Production (T)
Inde	11 710 300	Rwanda	2 653 348
Ouganda	9 677 913	Costa Rica	2 429 253
Brésil	7 088 021	Cameroun	2 260 000
Chine	7 053 000	Mexique	2 196 891
Equateur	6 826 437	Thaïlande	1 864 850
Philippines	6 794 564	Côte d'Ivoire	1 722 000
Colombie	5 221 686	Pérou	1 697 120
Indonésie	5 177 608	Burundi	1 538 679
Ghana	2 956 000	Congo (Rép. Dém.)	1 517 500
Nigeria	2 785 000	Vietnam	1 344 200

La production mondiale de bananes en fonction de la variété se répartit de la manière suivante : 47% de Cavendish, 12% de Gros Michel et autres bananes "dessert", 17% de plantains et 24% de bananes d'altitudes, bananes du groupe ABB et les autres bananes "à cuire" (FAO, 2003).

L'importance relative des différentes variétés en fonction des régions productrices est reprise dans le tableau ci-dessous (Frison & Sharrock, 1998).

Tableau 3 : Répartition des différentes variétés produites selon la région productrice (en %) (Frison & Sharrock, 1998)

Région productrice	Cavendish export	Cavendish consommation locale	Gros Michel et autres bananes "dessert"	Plantain (AAB)	Bananes d'altitude et autres bananes "à cuire" (ABB)
Asie-Pacifique	5%	35%	22%	4%	34%
Amérique latine-Caraïbes	32%	24%	19%	23%	2%
Afrique Centrale et de l'Ouest	4%	11%	6%	73%	6%
Afrique de l'Est et du Sud	1%	12%	5%	11%	71%

Enfin, les bananes plantains sont majoritairement produites en Afrique et en Amérique, alors que d'autres variétés de bananes "à cuire" sont cultivées en Afrique et en Asie. L'Amérique latine est la première région productrice de Cavendish, devant l'Asie (FAO, 2003).

2.2. Commerce international de la banane

Le marché mondial de la banane correspond principalement au commerce des bananes du sous-groupe Cavendish. Plus résistantes à la maladie de Panama et plus productives, elles ont remplacé la variété Gros Michel au niveau du commerce international.

La banane d'exportation ne représente que 15,6% de la production mondiale de *Musa* (FAO, 2006). La production mondiale de bananes "dessert" se situe derrière l'orange et devant le raisin. Cependant, il s'agit d'une denrée d'exportation de grande importance pour beaucoup de pays. En effet, la valeur d'exportation et d'importation des bananes est de loin supérieure à celle d'autres fruits tels que les agrumes, les pommes et les raisins (Fajac, 1997).

Contrairement aux autres fruits tropicaux qui suivent une courbe caractérisée par une ascension, un palier et un déclin, la banane est restée un fruit exotique et n'a pas suivi ce schéma. En effet, cette dernière a toujours subi une croissance continue (Fajac, 1997).

En 30 ans, de 1964 à 1994, les exportations de bananes "dessert" ont triplé de volume. Elles sont passées de 4,3 millions de tonnes (Mt) en 1964 à 6 Mt en 1971 et ont ensuite suivi une croissance continue qui s'accélère vers les années 1980 pour atteindre plus de 16 millions de tonnes en 2006 (Fajac, 1997; FAO, 2006). En 2005, le commerce mondial de la banane "dessert" a été estimé à 14 millions de tonnes, correspondant à un chiffre d'affaire à l'exportation de 4 milliards d'euros (Loeillet, 2005).

Rapport-Gratuit.com

Les dix plus gros exportateurs de bananes sont repris au tableau suivant. L'Equateur se trouve en première position avec une valeur d'exportation annuelle de 1 068 664 000$.

Tableau 4 : Présentation des 10 plus grands pays exportateurs en 2005 (FAO, 2005)

Pays	Production totale, 1000T	Exportation totale, 1000T	Pourcentage exporté	Valeur de l'exportation (1000 US$)
Equateur	6 826,4	4 764,19	69,8	1 068 664,0
Philippines	6 794,6	1 791,93	26,4	326 436,7
Costa Rica	2 429,3	1 775,52	73,1	483 491,8
Colombie	5 221,7	1 621,75	31,1	464 958,8
Guatemala	1 342,9	1 129,48	84,1	238 100,0
Belgique	0	9 48,55	-	1 096 448,0
Honduras	1 172,1	516,36	44,1	112 033,2
Etats-Unis d'Amérique	9,1	449,66	4 957,7	218 546,0
Panama	534,4	352,48	66,0	96 518,0
Cameroun	2 260,0	265,46	11,7	68 428,9

Quatre-vingt trois pourcents de la banane d'exportation est originaire d'Amérique latine et des Caraïbes, 11% proviennent d'Asie et 3% d'Afrique centrale et de l'ouest.

Les principaux marchés importateurs sont l'Amérique du Nord, la Communauté européenne, le Japon et les pays de l'Europe de l'Est et de l'ex-URSS. Les pays développés absorbent 83% des importations mondiales de bananes. Une augmentation des importations nettes a été enregistrée entre 1985 et 2000 et est principalement due à l'ouverture des marchés des pays de l'Europe de l'Est et de la Chine, aux bas prix de la banane et à l'augmentation, durant les années '90, du revenu par habitant dans les principaux pays importateurs (FAO, 2003).

Le commerce international de la banane peut être divisé en trois systèmes d'échanges. Le premier, "les Amériques", comprend les Etats-Unis, le Canada et les pays du continent Sud américain ne cultivant pas la banane. Ceux-ci s'approvisionnent en Amérique latine. Un deuxième système peut être décrit comme le système "Europe" et comprend l'ensemble du continent européen et les pays de l'ex-URSS. Ces derniers s'alimentent en Amérique latine, en Afrique occidentale et aux Caraïbes. Le dernier et troisième système "Asie" est formé par les pays d'Asie et du Moyen-Orient dont les bananes proviennent des Philippines et d'Equateur principalement (FAO, 2003).

2.3. La production de bananes en Guadeloupe

La culture de la banane en Guadeloupe a débuté vers 1932 (Lassoudière, 2007). Cette filière représente une source importante d'emploi et de revenus agricoles (Région

Guadeloupe). La banane "dessert" est classée troisième des principales productions exportées de Guadeloupe, après le sucre de canne et le rhum (Bienvenue à la ferme). Cependant, elle n'arrive pas à maintenir un potentiel de production proche du quota offert par l'Organisation commune du marché (120 000 à 140 000 tonnes). De nombreuses difficultés sont rencontrées, telles qu'un niveau d'endettement élevé des planteurs, une évolution vers la disparition des petites exploitations ainsi qu'une organisation fragile (Région Guadeloupe).

Au contraire des bananes "plantain", dont la production n'a cessé d'augmenter jusqu'à maintenant, la production de bananes "dessert", dont la majorité est exportée, est passée de 126 000 tonnes en 1970 à 54 476 tonnes en 2006. Les surfaces cultivées ont diminué de 8 300 ha à 2 350 ha. La production de plantains, quant à elles, a évolué de 2 000 tonnes en 1970 à 8 790 tonnes en 2006 (FAO, 2006).

Au niveau commercial, la filière bananière en Guadeloupe se trouve en effet dans une situation inconfortable depuis plusieurs années. Les exportations diminuent de manière importante depuis plus de 15 ans. Les problèmes des planteurs guadeloupéens ont débuté en 1989, lorsque le cyclone Hugo a dévasté les plantations. Cependant, c'est la création, en 1993, de l'Organisation commune du marché de la banane qui a renforcé ces difficultés. En effet, avant 1993, les importations de bananes vers les pays européens relevaient des préférences de chacun (Stephan, 2006). Ainsi, la Guadeloupe fournissait, avec la Martinique, les deux tiers des bananes importées en France. Le tiers restant provenait des Etats africains de la zone franc (pays ACP): Côte d'Ivoire, Cameroun, Madagascar. Pendant les périodes de l'année où ces pays ne sont pas capables de fournir les quantités demandées, les bananes sont alors importées d'Amérique centrale ou latine (bananes dollars) (Hostachy *et al*., 1990). Les prix étaient définis d'avance. À partir de juillet 1993, l'OCMB (Organisation Commune du Marché de la Banane) a été créée. Les principes de base de l'OMCB en 1993 étaient un approvisionnement de bananes à préférence communautaire, une garantie de revenu aux producteurs communautaires, un système de contingentement pour les importations en provenance des pays ACP et latino-américains. Cependant, des modifications successives des principes de l'OMCB ont mené à une concurrence de plus en plus accrue entre les pays producteurs de la Communauté européenne et les pays producteurs de bananes dollars et ACP. Ces évolutions consistaient en une augmentation du contingent ou encore à une baisse des droits de douane mis en place. Les origines n'ont donc plus été protégées et un sur-approvisionnement du marché européen par la banane dollars a eu lieu. Les bananes guadeloupéennes deviennent de plus en plus difficiles à vendre du fait d'une main d'œuvre jusqu'à 10 à 20 fois moins chère chez les producteurs d'Amérique et d'Afrique. Beaucoup de planteurs se retrouvent surendettés et découragés et de nombreuses petites exploitations disparaissent. Des aides compensatoires ont été mises en place afin de combler le différentiel de coût de revient. Ce système était efficace au début mais est vite devenu insuffisant au fur et à mesure que les prix de la banane diminuaient. En 12 ans, le nombre de planteurs a été divisé par quatre. Et les problèmes ne vont pas en s'améliorant puisque le premier janvier 2006, les quotas d'importations, qui étaient octroyés aux bananes dollars et qui s'élevaient à 2 millions de

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

tonnes, ont été supprimés. Des tentatives de diversifications ont déjà été tentées mais ont échoués (Stephan, 2006).

3. Qualité des bananes d'exportation

3.1. Importance de la réglementation européenne

Le marché de la banane, comme celui des autres fruits et légumes, demande des produits de qualité et sans défaut. En effet, les bénéfices créés avec des fruits de petite taille et défectueux sont faibles. Ce sont les consommateurs qui régulent le marché. Ces derniers deviennent de plus en plus exigeants. Tout est donc mis en œuvre afin d'améliorer le rendement commercial, c'est-à-dire le rendement en fruits de qualité.

La Communauté européenne a fixé des normes communes de qualité pour les bananes destinées à être consommées à l'état frais, après conditionnement et emballage, à l'exclusion des bananes plantains, des bananes-figues et des bananes destinées à la transformation. Les variétés soumises à la réglementation sont celles du genre *Musa* (AAA) spp., sous-groupe Cavendish et Gros Michel. Les objectifs de ces normes sont d'assurer un approvisionnement du marché en produits homogènes et de qualité satisfaisante. Ce règlement est entré en vigueur le 1er janvier 1995 (Codex Alimentarius, 1997).

Il s'agit de normes minimales pour les bananes vertes non mûries. Les Etats Membres producteurs de bananes peuvent maintenir les normes en vigueur au niveau national appliquées aux différents stades de la filière de commercialisation. Cependant, elles ne seront applicables qu'aux stades de la filière au-delà de celui de la banane verte non mûrie, pour autant qu'elles ne sont pas incompatibles avec les normes communautaires et qu'elles n'entravent pas la libre circulation des bananes dans la Communauté (Codex Alimentarius, 1997).

Les qualités que doivent présenter les bananes vertes non mûries, après conditionnement et emballage, figurent dans la norme. Les bananes appartenant aux trois catégories (Extra, I, II) doivent satisfaire aux caractéristiques minimales suivantes:

- vertes et non mûries,
- entières,
- fermes,
- saines; sont exclus les produits atteints de pourriture ou d'altérations qui les rendraient impropres à la consommation,
- propres, pratiquement exemptes de matière étrangère visible,
- pratiquement exemptes de parasites,
- pratiquement exemptes d'attaques de parasites,
- à pédoncule intact, sans pliure ni attaque fongique et sans dessication,
- épistillées,
- exemptes de malformations et de courbure anormale des doigts,

- pratiquement exemptes de meurtrissures,
- pratiquement exemptes de dommages dus à de basses températures,
- exemptes d'humidité extérieure anormale,
- exemptes d'odeurs et/ou de saveurs étrangères.

En outre, les mains et les bouquets doivent comporter:

- une portion suffisante de coussinet de coloration normale, saine, sans contamination fongique,
- une coupe de coussinet nette, non biseautée, sans trace d'arrachement et sans fragment de hampe.

Le développement et l'état de maturité des bananes doivent leur permettre:

- de supporter le transport et la manutention,
- d'arriver dans un état satisfaisant sur le lieu de destination, afin d'atteindre un degré de maturité approprié après mûrissage.

Quelque soit la catégorie, les fruits doivent être caractéristiques de la variété et certains défauts peuvent être tolérés, à condition qu'ils ne portent pas atteintes à l'apparence générale de chaque main ou de chaque bouquet, à sa qualité, à sa conservation et à sa présentation dans l'emballage. Ensuite, selon la catégorie, les défauts acceptés sont plus ou moins importants. La catégorie "Extra" correspond à des fruits de qualité supérieure. Ils ne doivent pas présenter de défauts, à l'exception de très légères altérations superficielles. Dans la catégorie I, de légers défauts de forme ou d'épiderme (frottement), ne dépassant pas 2 cm² de la surface du doigt, sont autorisés. Enfin, la catégorie II comprend les bananes ne pouvant être classées dans les deux catégories précédentes et pour lesquelles des défauts de forme et d'épiderme sont admis, pour autant qu'ils n'affectent pas la pulpe du fruit. Il peut s'agir de grattages, frottements ou autres pour autant qu'ils ne dépassent pas 4 cm² de surface du doigt (Codex Alimentarius, 1997).

En plus de ces dispositions sur la qualité des bananes, les fruits doivent également répondre à un certain calibre. Le calibre est déterminé par la longueur du fruit (exprimé en cm) et le grade (exprimé en mm), correspondant à l'épaisseur de la section transversale du fruit. Le fruit de référence pour mesurer le calibre est le doigt médian situé sur la rangée extérieure de la main. La longueur et le grade minimum sont respectivement de 14 cm et 27 mm (Codex Alimentarius, 1997).

Au sein de chaque catégorie, des tolérances de qualité et de calibre sont cependant admises. Cinq pourcents et dix pourcents en nombre ou en poids de bananes non conformes sont acceptées au sein des catégories "Extra" et Catégorie I, respectivement. Cependant, ces non conformités doivent satisfaire aux caractéristiques de la catégorie inférieure, ou, exceptionnellement admises dans les tolérances de cette catégorie. Enfin, la catégorie II admet également 10%, en nombre ou en poids, de bananes non conformes aux caractéristiques de la

catégorie et aux caractéristiques minimales, à l'exception des fruits atteints de pourritures ou autres altérations les rendant impropres à la consommation. De plus, pour l'ensemble des catégories, une tolérance de calibre de 10% en nombre de bananes d'une longueur inférieure à 14 cm est admise (Codex Alimentarius, 1997).

Des dispositions concernant la présentation sont également reprises dans le règlement. Elles concernent l'homogénéité, le conditionnement et la présentation des colis. Ainsi, le contenu de chaque colis doit être homogène et ne comporter que des fruits de même origine, même variété et même qualité. Le conditionnement doit permettre de protéger le produit et être exempt de corps étrangers. Dans les colis, les bananes sont présentées en mains et en bouquets de quatre doigts au minimum, une tolérance de deux doigts manquant par bouquet étant admise (Codex Alimentarius, 1997).

Chaque colis doit être identifié, de manière lisible, indélébile et visible de l'extérieur. Il doit comporter des indications concernant la nature du produit (variété), l'origine, les caractéristiques commerciales (catégorie, poids net, calibre) et, de manière facultative, la marque officielle de contrôle du produit.

Enfin, les bananes doivent être exemptes de métaux lourds en quantités pouvant présenter un risque pour la santé. Elles doivent aussi être conformes aux normes en vigueur en ce qui concerne les résidus de pesticides et être exemptes de micro-organismes et parasites en quantités pouvant nuire à la santé (Codex Alimentarius, 1997).

3.2. Durée de vie verte

La durée de vie verte (DVV) indique l'état physiologique des fruits à la récolte. Il s'agit d'un critère de qualité majeur pour l'exportation des fruits. Il correspond au temps écoulé, en jour, entre la coupe du fruit et le début de sa crise climactérique correspondant au stade de maturité dit 'tournant vert'. Ce laps de temps doit être suffisamment long pour permettre le transport des fruits vers le pays d'exportation avant le début de la crise climactérique. La durée de vie verte varie selon les conditions de culture, le moment de récolte, les conditions de conservation des bananes et en particulier, selon la température de stockage (Lassoudière & Bugaud, 2005). Elle diminuerait de 7 à 8% par degré Celcius, indépendamment du stade physiologique du fruit à la récolte (Joas, 1987). Lorsque la température varie de manière importante durant le transport, la durée de vie verte peut alors en être affectée. Par conséquent, la température et la durée de conservation des fruits entre le conditionnement et le transport doivent être maîtrisés (Lassoudière, 2007). Dans le cas de bananes exportées des Antilles vers la métropole, la durée de vie verte minimale recommandée est de 25 jours en conteneur réfrigéré (Lassoudière & Bugaud, 2005). Même s'il est connu qu'une somme de température de 900°C-jour permet d'obtenir des fruits ayant une durée de vie verte optimale, évitant les problèmes de mûrs d'arrivage, ce problème persiste toujours. De plus, il survient également que des lots de fruits issus d'une même plantation soient hétérogènes à leur arrivée en mûrisserie.

En Martinique, Lassoudière et Bugaud (2005) ont montré que la DVV variait de 18 à 69 jours, avec une moyenne pour l'ensemble des producteurs de 42 jours. Environ 80% de la production possèdent une DVV entre 25 et 50 jours. Une corrélation négative a été déterminée entre la somme thermique des fruits sains et leur durée de vie verte. En effet, plus les fruits sont récoltés à un âge physiologique précoce, plus leur DVV sera importante. De plus, les fruits atteints par l'anthracnose ou par les pourritures de couronne présentaient une DVV plus courte que les fruits sains, indépendamment de la somme thermique des fruits à la récolte. De manière générale, il existe de grandes variations dans la DDV des fruits, même au sein d'une plantation, sans compter les différences entre les fruits d'un même régime. Ceci met en évidence des états physiologiques des fruits très différents, pouvant être préjudiciables pour la qualité du mûrissage et en particulier, l'homogénéité des lots. Trois facteurs semblent expliquer la variation du potentiel de conservation des fruits (Lassoudière & Bugaud, 2005). Le premier de ces facteurs est la variation dans les sommes thermiques des fruits à la récolte. Cette variation se produit lorsque les producteurs récoltent les régimes selon le grade et non la somme de températures. D'autre part, la contamination fongique des fruits constituerait un second facteur. La production d'éthylène peut être associée au stress ou induite par l'éthylène émis par le champignon, ce qui peut aboutir à une maturation précoce du fruit et par conséquent une diminution de la durée de vie verte. Enfin, des variations apparaissent également selon le lieu de production, indépendamment du stade de récolte (Lassoudière & Bugaud, 2005). De plus, plus l'air est sec et plus la DVV sera faible. Enfin, un emballage dans un polybag augmente la DVV (Lassoudière, 2007).

3.3. Maturation

Durant son développement, le fruit augmente en grade depuis la montée de l'inflorescence dans le tronc jusqu'à la récolte. La pulpe se forme d'abord par multiplication cellulaire jusqu'au stade dernière main femelle horizontale. Puis, le fruit se remplit et grossit. Il devient moins anguleux. Ensuite, commence la phase préclimactérique durant laquelle l'amidon se transforme en sucres. Les fruits devront être récoltés durant cette période.

Afin de déterminer le degré de maturation des bananes, une échelle colorimétrique est mondialement utilisée. Cette échelle est composée de 7 stades de maturité.

Figure 2 : Echelle colorimétrique de maturation des bananes (Dadzie & Orchard, 1997)

Après le transport, les bananes arrivent encore vertes à leur destination. Pour s'assurer de mettre sur le marché des lots homogènes, les bananes vont subir un mûrissage artificiel. La phase climactérique va être déclenchée par un apport exogène d'éthylène. En entrée mûrisserie, les fruits ne peuvent dépasser le stade vert tournant (stade 3). La procédure de mûrissage est décomposée en trois étapes: augmentation de la température, apport d'éthylène exogène et ventilation. La durée totale de cette procédure est de 4 à 8 jours selon le protocole choisi. La température de départ est située entre 15 et 18°C. Après les 24h de gazage, la température est progressivement diminuée mais ne descend jamais en dessous de 13°C. La quantité d'éthylène apportée lors du gazage est comprise entre 500 et 1000 ppm. Après l'exposition des fruits au gaz, la chambre est ventilée. Cette dernière étape accélère la vitesse de maturation des fruits (Lassoudière, 2007). A partir de ce moment, le processus de mûrissement est considéré comme irréversible, même si certains changements biochimiques, tels que la production de composés volatiles, ne se mettent en place qu'après plusieurs jours (Wyllie *et al*., 1997).

Le mûrissement de la banane est accompagné par le changement de couleur de la pelure (passant du vert au jaune), l'augmentation de la production d'éthylène, la conversion de l'amidon en sucre (le maximun étant atteint au stade 5), le ramollissement de la chair (Gross *et al*., 1976 ; Seymour, 1993), la transformation des acides gras en composés aromatiques et des alcools en esters, l'augmentation de la concentration en composés aromatiques et en acides organiques, la diminution des composés phénoliques (tanins) (responsables de l'astringence) et la dégradation des parois cellulaires et de la chlorophylle (Lassoudière, 2007). L'éthylène joue un rôle essentiel dans la mise en place de tous ces évènements biochimiques.

La température influence le mûrissement. Plus elle diminue et plus la vitesse de maturation va diminuer, de manière de plus en plus importante lorsque les fruits sont de plus

en plus immatures. En outre, à 13°C, les dégâts dus au froid déprécient les fruits. Ces symptômes progressent lorsque le fruit mûrit et deviennent plus apparents lorsque le mûrissement atteint le stade 6. Les bananes à un stade de maturité précoce et situées sur les mains distales montrent des niveaux de dégâts dus au froid plus importants. La variation de qualité des fruits à l'échelle commerciale pourrait provenir de stades de maturité différents et de la position des fruits sur le régime (Saeed *et al.*, 2007).

4. Itinéraire technique

4.1. La plantation

Une production bananière, dans le cas d'une plantation industrielle, a une durée de vie de 5 à 6 ans avant d'être renouvelée, ce qui correspond à 4 ou 5 cycles de culture. Généralement, la replantation est envisagée à partir du moment où le rendement diminue et la rentabilité économique n'est plus assurée, souvent suite à une baisse importante de la densité du peuplement. Avant l'établissement de la culture, le sol doit être assaini. Les anciennes souches de bananiers sont détruites. Une jachère ou la mise en place d'une culture insensible aux parasites telluriques (ananas, cannes) est nécessaire pour terminer l'assainissement et stabiliser la fertilité du sol. La jachère doit être maintenue durant un an au moins. Si une autre culture que la banane est mise en place, la durée minimale de culture est d'un cycle (Lassoudière, 2007).

Ensuite, le premier cycle de culture est initié par la plantation d'un matériel végétal sain et homogène, c'est-à-dire des vitroplants. Le dispositif de plantation peut être en quinconce, en lignes simples, en lignes jumelées en quinconce ou encore en touffes (Lassoudière, 2007).

Au cours de leur croissance, les bananiers vont émettre des rejets. Les cycles ultérieurs seront alors mis en place après sélection du rejet le plus vigoureux et le mieux positionné. Celui-ci permettra de maintenir la population constante et l'alignement dans la parcelle. Cette opération est appelée l'oeilletonnage.

Durant tout le développement des plants, divers traitements, essentiellement pesticides, vont être appliqués afin de lutter contre les adventices, les insectes (thrips, charançons), les nématodes et les champignons. Des pièges à phéromones sont également utilisés pour combattre les charançons (Swennen & Vuylsteke, 2001).

4.2. Les soins au régime

L'émergence de l'inflorescence annonce le début des soins au régime. Un effeuillage doit être pratiqué au moins une fois par semaine dans le but de protéger les fruits d'éventuels grattages occasionnés par le frottement des feuilles sur la peau (Lassoudière, 2007). En outre, cette opération est aussi un moyen de lutter contre la cercosporiose par l'élimination des parties de feuilles atteintes par le champignon.

Ensuite, le haubanage des bananiers consiste à lier deux plantes adjacentes pour qu'elles se supportent mutuellement. Il permet d'éviter la chute des plants liée au poids du régime, à un vent trop violent, à un mauvais enracinement ou à un stress hydrique. Le haubanage est essentiel pour maintenir la densité et l'homogénéité des populations de bananiers (Lassoudière, 2007).

Lorsque le régime a atteint le stade appelé "doigts horizontaux" c'est-à-dire que les doigts de la dernière main femelle sont horizontaux, un ruban de couleur est fixé sur le régime. La couleur est caractéristique de la semaine de marquage. Cette opération marque le moment à partir duquel les températures journalières utiles sont additionnées jusqu'à atteindre une somme de 900°C-jour. Cette valeur est caractéristique d'un état physiologique du fruit qui est un compromis entre les qualités organoleptiques de la banane et sa durée de conservation.

Le régime est aussi soumis à un épistillage consistant à enlever les parties florales. Il permet de diminuer les risques de contamination des fruits par les spores de champignons tels que *Colletotrichum musae*. L'ablation des fausses mains et de la popote (bourgeon mâle) est pratiquée au même moment. Cette opération favorise le bon allongement des doigts. Un tire sève est conservé afin d'arrêter les remontées de pourriture dans le rachis (Lassoudière, 2007). Enfin, le régime est recouvert d'une gaine en polyéthylène, ouverte par le dessous et permettant de tamponner les variations de température, de protéger les fruits contre les attaques mécaniques et de constituer une barrière contre les pathogènes (Lassoudière, 2007).

4.3. De la récolte au transport par bateau

Lorsque le régime a atteint la somme de températures désirée, d'environ 900 degré-jour à partir du stade de floraison dernière main horizontale, celui-ci va être récolté. Le grade moyen des fruits est alors de 34 mm (Lassoudière, 2007). Une fois coupés, les régimes sont transportés sur des berceaux matelassés afin d'éviter au maximum les chocs, à l'origine d'une diminution de qualité des fruits. Un autre système existe et consiste à transporter les régimes fixés à un câble les amenant directement à la station de conditionnement. Cependant, un tel système, appelé cable way, demande un investissement plus important et un relief bien adapté.

Une fois à la station d'emballage, diverses opérations sont pratiquées. Tout d'abord, le grade est contrôlé afin de s'assurer qu'il respecte les normes. Ensuite, le dépattage consiste à désolidariser les mains de la hampe florale. Les mains, plongées dans des bassins d'eau, sont alors découpées en bouquets. Le rinçage doit être suffisamment long afin d'assurer l'arrêt de l'écoulement du latex. Pour éviter que le latex contenu dans l'eau de lavage ne tache les fruits, du sulfate d'alumine (alum), un floculant minéral, est ajouté à l'eau (Lassoudière, 2007). Le bain contient également un désinfectant (chlore) afin de limiter la contamination des fruits par les champignons et les bactéries. Les bouquets sont ensuite placés sur un plateau et les autocollants de la marque sont apposés sur les fruits (Lassoudière, 2007).

Avant la mise en carton, les fruits subissent un traitement fongicide au niveau des couronnes, par pulvérisation ou badigeonnage. Ils sont ensuite emballés dans les cartons et mis en palettes. Les palettes sont stockées dans des containers frigorifiques qui sont exportés

par bateau vers les pays consommateurs. Le délai de mise en froid ne devrait pas excéder 24 heures après la coupe (Lassoudière, 2007).

5. Maladies post-récolte

Les bananes d'exportation sont sévèrement affectées par des maladies post-récoltes. Parmi celles-ci, l'anthracnose et les pourritures de couronne sont les plus dommageables (Stover & Simmonds, 1987).

5.1. L'anthracnose

L'anthracnose affecte sévèrement la qualité des bananes d'exportation, notamment dans les Antilles françaises. Elle produit des défauts de la peau correspondant à des pourritures brunes causées par un champignon pathogène, *Colletotrichum musae*. L'anthracnose est particulièrement importante les six derniers mois de l'année aux Antilles, période correspondant à la saison des pluies. Son incidence dépend également du transport, de l'emballage et de la physiologie des fruits. Des fruits blessés sont beaucoup plus sensibles à la maladie (de Lapeyre de Bellaire & Mourichon, 1997).

Il existe deux formes d'anthracnose: l'anthracnose quiescente et l'anthracnose de blessure. Les fruits sont contaminés par les conidies du champignon durant le mois qui suit la floraison, suite à l'écoulement de l'eau de pluie des parties florales et des bractées sénescentes vers l'ensemble du régime (de Lapeyre de Bellaire & Mourichon, 1997; de Lapeyre de Bellaire *et al*., 2000). Ces spores germent rapidement et forment des appressoria mélanisés, correspondant à une structure quiescente (Muirhead & Deverall, 1981). Si le fruit n'a pas été blessé, ces appressoria germent lorsque la banane mûrit et forment alors des hyphes infectieux qui colonisent la peau et peuvent pénétrer le fruit (Swinburne & Brown, 1983), menant au développement de l'anthracnose quiescente. Des taches brunes sont alors visibles en sortie mûrisserie (Lassoudière, 2007).

Si le fruit est blessé, la pourriture peut se développer lorsque le fruit est toujours vert, longtemps avant de mûrir, et mener à des lésions beaucoup plus larges (Meredith, 1960), observables avant l'entrée en mûrisserie (Lassoudière, 2007). Il s'agit alors de l'anthracnose de blessure. Les blessures à l'origine de cette maladie peuvent être causées par les manutentions effectuées lors des opérations de récolte ou d'emballage. L'éthylène produit en réponse à la blessure réduit la durée de vie verte des fruits (Abeles *et al*., 1992), en déclenchant leur mûrissement précoce (Peacock, 1973), provoquant parfois de sérieux dommages lorsqu'il se développe durant le transport par bateau (Chillet *et al.*, 2006a). Néanmoins, dans les deux cas, une nécrose allongée, de couleur brun-noir, apparaît. Elle s'étend en même temps que le fruit mûrit et peut gagner la pulpe (Lassoudière, 2007).

L'anthracnose est contrôlée par des traitements fongiques (de Lapeyre de Bellaire & Nolin, 1994). Cependant, actuellement, il devient de plus en plus important de mettre en place des méthodes de luttes alternatives. En effet, les consommateurs deviennent plus exigeants et

Rapport-Gratuit.com

sont davantage attentifs à la qualité des produits qu'ils consomment. En outre, l'utilisation des pesticides est freinée par l'apparition de résistances. Enfin, dans le secteur bananier en particulier, la production est réalisée par de nombreux petits producteurs incapables d'acheter des produits chimiques pour lutter contre la maladie. De ce fait, il devient nécessaire de comprendre et d'étudier les aspects épidémiologiques de la maladie.

Les caractéristiques de *C. musae*, sa taxonomie et son épidémiologie sont décrites au paragraphe suivant traitant de la maladie des pourritures de couronne, le pathogène pouvant être impliqué dans les deux maladies.

5.2. Les pourritures de couronne

Les pourritures de couronne constituent la malade post-récolte la plus sévère affectant les bananes d'exportation. Cette maladie est causée par un complexe parasitaire. Celui-ci infecte le coussinet des mains coupées, appelé la couronne, lors de la découpe des mains en bouquets. La couronne correspond à l'ensemble des tissus joignant les pédicelles des fruits. Cette infection quiescente et complexe se développe durant le transport et le stockage des fruits. Elle provoque un ramollissement et un noircissement des tissus de la couronne suite au développement des champignons. Parfois d'autres organismes, tels que des bactéries, sont également impliqués. La maladie se répand rapidement dès la maturation des fruits. Une couche de mycélium duveteux, de couleur blanche, grise ou rose, peut recouvrir la surface de la couronne (Muirhead & Jones, 2000). Superficielle dans un premier temps, elle peut contaminer le pédicelle, et, dans des cas plus graves, la pulpe du fruit lorsque les champignons pénètrent plus profondément les tissus. Les doigts peuvent alors se détacher de la couronne (Muirhead & Jones, 2000).

Du fait qu'il s'agit d'une infection latente, la maladie n'est pas détectée par l'homme lors de la mise en carton en station de conditionnement (Latunde-Dada, 2001). La détection des premiers symptômes ne se fait qu'après le transport maritime, la sévérité de la maladie augmentant avec la durée du voyage. De plus, le nombre de bananes atteintes par la maladie n'est pas du tout prévisible. Dans un même carton, les couronnes de certaines bananes peuvent être pourries alors que d'autres restent saines (Stover & Simmonds, 1987).

Les pourritures ont pour conséquence de réduire la qualité des bananes d'une part mais peuvent également contribuer à la maturation précoce des fruits lors du transit (Peacock, 1973). En effet, le mûrissement peut être déclenché par l'éthylène produit par les fruits stressés et nécrosés mais également par les champignons pathogènes, tels que *C. musae* (Daundasekera *et al.*, 2003). Une maturation précoce peut entraîner des mûrs d'arrivage et, de ce fait, une dépréciation des fruits entraînant des pertes économiques importantes.

L'incidence de la maladie sur les fruits varie au cours de l'année. Au cours de la saison des pluies, des pertes supérieures à 10% ont été enregistrées au Royaume-Uni pour des bananes provenant des îles sous le vent (Windward Islands) (Krauss & Johanson, 2000). Les pratiques de manutention et de conditionnement étant généralement les mêmes, ces variations

de qualité proviennent d'autres facteurs. Parmi ceux-ci, les changements saisonniers, ayant des implications sur la physiologie des fruits, pourraient jouer un rôle. Une notion de "potentiel de qualité de la banane" a été définie par Chillet & de Lapeyre de Bellaire (1996a) dans le cas de l'anthracnose et a été transposé aux pourritures de couronne (Lassois, 2005). Ce potentiel caractérise un certain état physiologique du fruit au champ (composante physiologique) et un niveau donné d'inoculum sur le fruit (composante parasitaire). Il apparaît durant la phase de croissance des bananes et dépendrait de facteurs agronomiques et pédo-climatiques (Chillet & de Lapeyre de Bellaire, 1996a). Il est déterminant à chaque niveau de la filière et conditionne la présence ou non de pourritures de couronne sur les fruits (Lassois, 2005). Un schéma des différents facteurs influençant la qualité de la banane a été proposé par Chillet & de Lapeyre de Bellaire (1996a). La fermeté et la dureté du fruit se sont révélés être de bons indicateurs de qualité. Les fruits sont moins fermes durant la mauvaise saison. Par conséquent, ils sont plus sensibles aux chocs et aux pathogènes. La sensibilité des fruits à *C. musae* constitue, quant à lui, le critère principal du potentiel de qualité. Ce facteur est déterminé par la vitesse de développement des nécroses et est en relation étroite avec les variations de qualité des bananes. Les facteurs responsables de la variation de sensibilité des fruits à *C. musae* proviennent essentiellement d'études concernant l'anthracnose, mais peuvent être transposés aux pourritures de couronne.

Les deux composantes, parasitaire et physiologique, sont développées séparément dans les paragraphes ci-dessous.

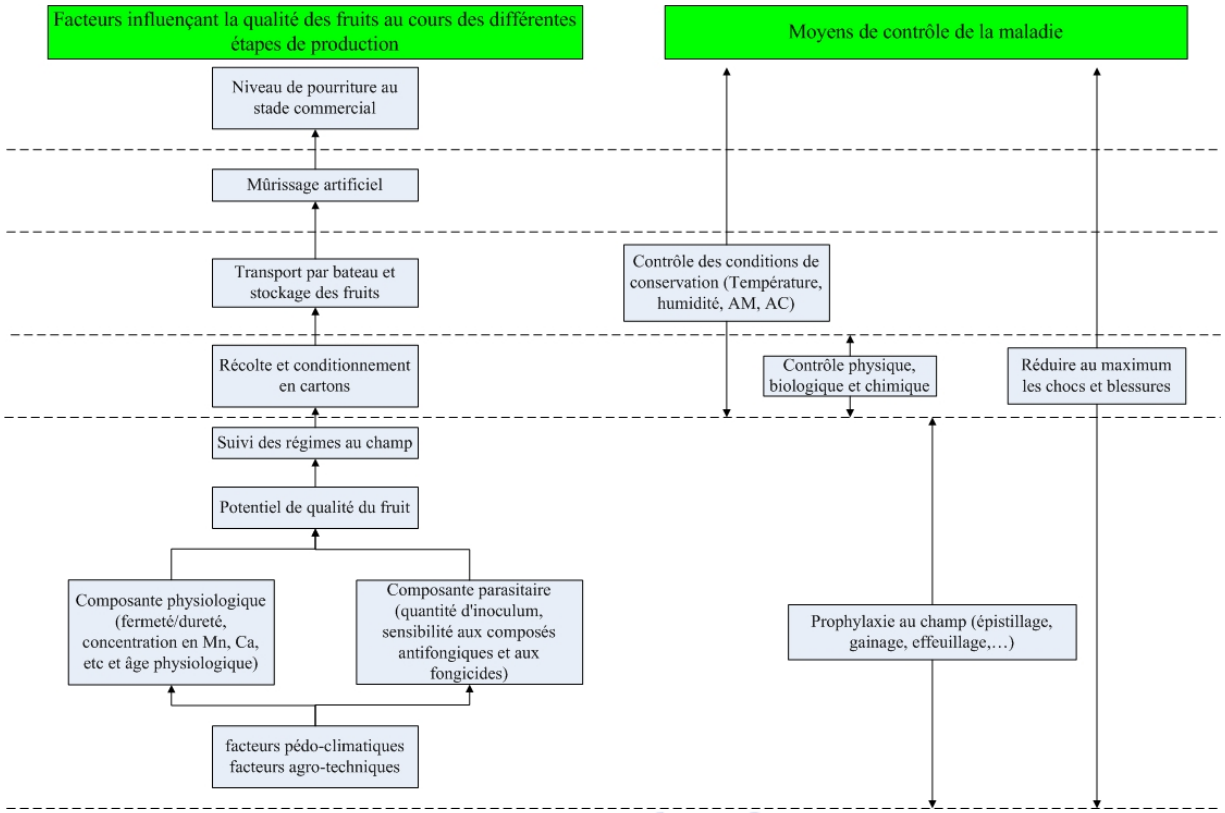


Figure 3 : Schéma des différents facteurs influençant la qualité des fruits et moyens de contrôle

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

5.2.1. Composante parasitaire

Les pourritures de couronne sont causées par un complexe fongique dans lequel *Colletotrichum musae* est l'agent le plus agressif (Finlay & Brown, 1993). Les autres pathogènes impliqués sont *Fusarium moniliforme, Fusarium semitectum, Fusarium graminearum, Nigrospora sphaerica, Botryodiplodia theobromae, Verticillium theobromae, Fusarium roseum, Ceratocystis paradoxa, Thielaviopsis paradoxa, Cladosporium* sp., *Cephalosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp. (Anthony *et al.*, 2004; Greene & Goos, 1963; Griffee & Burden, 1976; Johanson & Blasquez, 1992; Lukevic *et al*., 1967; Marin *et al*., 1996; Ogundero, 1987; Shillingford, 1976; Wallbridge, 1981; Wallbridge & Pinegar, 1975).

Le genre *Colletotrichum* appartient à l'ordre des Mélanconiales, à la classe des Coelomycètes, embranchement des Deutéromycètes, lorsqu'il s'agit de la forme imparfaite. Le pathogène existe également sous la forme parfaite, encore appelée téléomorphe ou sexuée et appartient alors au genre *Glomerella* (embranchement des Ascomycètes). Il est répandu partout dans le monde et est associé au chancre. Les dégâts les plus importants sont occasionnés sur les fruits tropicaux et subtropicaux où les pertes peuvent être très sévères (Latunde-Dada, 2001).

Sur milieu de culture, les colonies de *C. musae* sont lâches, avec un mycélium blanc, aérien, qui prend plus tard une coloration orange. Plusieurs masses noires, semblables à des acervules, se développent après dix jours d'incubation à 25°C, avec des masses orange foncé de conidies. Ces masses sont généralement coalescentes. Les conidies ne sont pas septées, sont hyalines, souvent ellipsoïdes et leur taille est d'environ de 10-18 x 5-9 µm. L'appressorium, qui se développe à partir du tube germinatif, est brun foncé et de forme ronde ou irrégulière. Aucun sclérote n'est formé (Lim *et al*., 2002).

C. musae est un pathogène primaire (Griffee & Burden, 1974). Il est capable d'initier l'infection à partir d'un faible niveau d'inoculum, contrairement aux autres agents du complexe qui requièrent un niveau élevé d'inoculum pour initier l'infection. Pour cette raison, ces derniers sont généralement considérés comme pathogènes secondaires (Griffee, 1976; Finlay & Brown, 1993; Krauss, 1996). Finlay & Brown (1993) ont montré que la quantité de conidies de *Fusarium pallidoroseum* requise pour produire un même niveau de pourriture à la surface des couronnes était vingt fois plus importante qu'en utilisant *C. musae*. De plus, la pourriture était beaucoup plus superficielle. En outre, le pouvoir pathogène de *C. musae* est plus élevé en comparaison des autres champignons du complexe car il se développe de manière beaucoup plus importante que les autres sur des fruits encore verts (Finlay & Brown, 1993). Enfin, *C. musae* est le seul a produire des enzymes polygalacturonase capables de dégrader de manière efficace les tissus de fruits immatures (Stanley & Brown, 1994).

5.2.1.1. Modèle de contamination

Les champignons du complexe parasitaire sont omniprésents dans les plantations bananières (Stover & Simmonds, 1987). Ils vivent de manière saprophyte sur les feuilles mortes, les bractées florales, les fruits et la hampe florale (Muirhead & Jones, 2000). de Lapeyre de Bellaire & Mourichon (1997) ont étudié la contamination des régimes par *C. musae* au champ. L'ensemble de l'inoculum atteignant le régime pendant toute sa croissance a été analysé et il a été observé que les modèles de production de spores sont les mêmes à la fois en saison sèche et en saison des pluies. Dans les conditions naturelles (sans manipulation ni gainage mais seulement la découpe du bourgeon mâle et l'élimination des feuilles sénescentes), la majorité des conidies sont récoltées entre 25 et 40 jours après l'émergence du régime. Cela indique qu'il y a une période critique pendant laquelle la plus grande partie des contaminations pourrait avoir lieu. Après cette période critique, une réduction importante du nombre de conidies recueillies est observée. Cette observation peut être mise en relation avec celle de Meredith (1962b). Selon cet auteur, *C. musae* serait colonisateur primaire des feuilles avant de disparaître progressivement suite à la sénescence de ces dernières. Il semblerait que le pathogène ne se développe que sur des organes qui commencent à entrer en sénescence, fonctionnant comme un support pour l'inoculum mais qui, rapidement, s'épuise après un mois. Cet inoculum est alors lessivé par l'eau de pluie et les acervules déchargées des conidies n'en produisent pas de nouvelles (Meredith, 1962b). Plus les pluies sont importantes, plus rapidement les conidies vont être libérées et plus forte sera la réduction du nombre de conidies récupérées.

Cependant, des différences de contamination entre la saison sèche et humide apparaissent dans le nombre de spores récoltées. Les quantités de spores libérées sont plus importantes durant la période pluvieuse. Le manque d'eau durant la saison sèche pourrait altérer la sporulation du champignon. Toutefois, les conditions climatiques avaient peu d'effets sur la multiplication du champignon 42 jours après la floraison. En effet, aucun inoculum n'a été détecté après cette période (de Lapeyre de Bellaire & Mourichon, 1997).

5.2.1.2. Importance des parties florales et de la dernière bractée comme source d'inoculum

Les parties florales et la dernière bractée constituent une source d'inoculum importante. Le fait d'ôter ces organes entraîne une diminution significative de la quantité de conidies récoltées, ce qui indique que les conidies sont produites majoritairement sur ces deux organes (de Lapeyre de Bellaire & Mourichon, 1997).

Lorsque seules les conidies situées sur les pièces florales sont récoltées, le modèle de dynamique de population de *C. musae* est similaire à celui où les conidies de l'ensemble du régime sont piégées. Cette observation suggère très fortement que les parties florales et les bractées constituent les sources les plus importantes d'inoculum. En outre, de Lapeyre de Bellaire *et al.* (2000) ont aussi mesuré que la sévérité de la contamination passait de 94,1 à 26,5% lorsque les bractées et les organes floraux sont éliminés.

L'inoculum primaire pourrait être produit à partir des vieilles feuilles pendantes ou provenir d'autres régimes. Il peut être appelé allo-inoculum. Il serait alors projeté, par les gouttes de pluie, sur les parties florales et la dernière bractée, qui constitueraient l'inoculum secondaire le plus important et seraient à l'origine de la contamination du régime. Ce second inoculum peut être nommé auto-inoculum. Les insectes, qui sont des visiteurs habituels des fleurs de bananiers, pourraient également jouer un rôle comme vecteur de l'inoculum primaire. Cependant, ce dernier est de loin moins important que l'inoculum secondaire alimenté par les parties florales et la dernière bractée, qui constituent les meilleures sources d'inoculum pour le champignon du fait de son incapacité à se développer sur des tissus encore verts, où il reste quiescent (Meredith, 1962b).

5.2.1.3. Importance de la pluie dans la dispersion des conidies

Fitzell & Peak (1984) avaient déjà mis en évidence l'importance de la pluie dans la dispersion des conidies alors que la dispersion des conidies par l'air avait été décrite comme étant minime (Meredith, 1962a). de Lapeyre de Bellaire *et al*. (2000) ont également montré l'importance de la pluie comme facteur de dispersion des conidies par l'usage de gaines recouvrant le régime. En effet, les gaines, qui diminuent l'écoulement de l'eau et le transport des conidies de la source d'auto-inoculum vers les fruits, ont permis une réduction considérable du niveau de contamination.

Un autre essai, portant sur des plants placés sous abri et ayant été inoculés, montrait une production importante d'inoculum sur les parties florales mais très peu de lésions sur les fruits. Le pathogène a pu se multiplier mais l'absence de pluie empêchait sa dispersion (de Lapeyre de Bellaire *et al.*, 2000).

A la récolte, les fruits portent une charge importante d'inoculum (Muirhead & Jones, 2000). La contamination au champ contribue avant tout à l'établissement de l'anthracnose. Cependant, en station de conditionnement, les couronnes vont être contaminées si les pathogènes réussissent à trouver une voie d'entrée au niveau de la couronne des fruits (Griffee & Pinegar, 1974). Cette contamination des couronnes peut se réaliser lors du dépattage, créant une blessure directement accessible aux spores qui se trouvent dans l'air. De plus, les spores de la surface des fruits qui se retrouvent dans les bacs de lavage peuvent pénétrer les tissus jusqu'à 5 à 7 mm de profondeur (Greene & Goos, 1963). Enfin, les couteaux eux-mêmes peuvent entraîner l'inoculum de la surface des couronnes vers les tissus blessés (Finlay *et al*., 1992).

5.2.2. Composante physiologique

Le potentiel de qualité de la banane dépend également de la réponse du fruit à l'agent pathogène. Cette composante physiologique conditionne la sensibilité du fruit (Chillet *et al*., 2000). Le stade de récolte, l'alimentation minérale du plant, les opérations culturales

pratiquées, la fermeté de la peau et de la pulpe (Chillet & de Lapeyre de Bellaire, 1996a; Deullin, 1966), la durée de vie verte (Marriot *et al.*, 1979) sont autant de facteurs capables d'influencer la réponse physiologique. Peu de travaux concernant ces divers facteurs ont été réalisés sur les pourritures de couronne. Par contre, nous disposons de quelques données en ce qui concerne l'anthracnose.

5.2.2.1. Variation de sensibilité due aux conditions pédoclimatiques

Chillet *et al*. (2000) ont mis en évidence l'importance des conditions pédo-climatiques sur la sensibilité des fruits à *C. musae* dans le cas de l'anthracnose, en relation avec la nutrition minérale et l'alimentation en eau des plants. Selon les éléments présents dans le sol, la composition minérale des fruits sera différente et influencera leur sensibilité à *C. musae*.

Une relation entre les caractéristiques chimiques du sol et la sensibilité des fruits a été trouvée. Plus le sol est riche en Mn et plus le bananier et ses fruits vont en contenir. Les fruits les plus sensibles à *C. musae* sont ceux contenant les plus fortes concentrations en Mn (Chillet *et al*., 2000). Une hypothèse du rôle de ce composé sur la sensibilité des fruits serait de stimuler la synthèse de l'éthylène (Konze & Kwiatkowski, 1981) du fait qu'il est essentiel à l'oxydation de l'ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid), précurseur direct de l'éthylène. De plus, il a été montré que cette hormone active la germination des spores et la formation de l'appressorium de *C. musae* (Flaishman & Kolattukudy, 1994). Les fruits à haut contenu en Mn seraient capables de synthétiser une plus grande quantité d'éthylène, ce qui accélèrerait le développement du champignon.

Une concentration en Mn importante dans la plante et les fruits se rencontre lorsqu'une situation de stress s'installe, ce qui est le cas après des pluies importantes et sur des sols mal drainés. Des conditions anoxiques se créent et le Mn se réduit sous forme de Mn^{2+}, forme sous laquelle il est facilement absorbé (Patrick & Turner, 1968). Ces conditions anoxiques doivent être présentes suffisamment tôt avant la floraison, 3,5 mois par exemple, pour entraîner un stress suffisamment important et avoir des conséquences sur la sensibilité des fruits à la maladie (Chillet *et al*., 2006b). Jackson (1985) a aussi montré que des racines, se trouvant dans des conditions anoxiques, entraînent une synthèse d'éthylène par la plante.

De même, le contenu en Ca des bananiers jouerait un rôle sur la sensibilité des fruits à l'anthracnose. Plus le contenu en Ca est élevé, plus la surface de nécrose est faible. Chez d'autres fruits, tels que la pomme, le Ca est couramment appliqué pour éviter certaines maladies telles le bitter pit, le cœur vitreux,… Cependant, même sur des sols à haute teneur en calcium, les fruits ne sont pas particulièrement résistants au pathogène. Il semblerait également que le calcium puisse jouer le rôle d'indicateur de sols compacts et acides, résultant généralement d'un niveau élevé en Mn (Chillet *et al*., 2000).

La sensibilité des fruits varie selon le type de sol mais également, pour un même type de sol, selon les conditions climatiques. Les conditions pédoclimatiques ont donc une

influence sur la sensibilité des fruits et par conséquent, sur la composante physiologique du potentiel de qualité. Cependant, ces facteurs ne sont pas seuls responsables de la sensibilité. En effet, en basse altitude, dans une région bien déterminée en ce qui concerne les conditions climatiques et pédologiques, il subsiste encore de grandes variations.

5.2.2.2. Variation de la production d'éthylène par le fruit et son rôle dans la relation hôte/pathogène

Les bananes sont des fruits climactériques, elles produisent de l'éthylène et répondent à cette hormone, qu'elle soit apportée de manière endogène ou exogène. La production d'éthylène par des fruits blessés varie selon qu'ils sont originaires de basse ou de haute altitude et selon la saison. Ce sont essentiellement les zones de basse altitude qui enregistrent les variations les plus importantes. De plus, les quantités d'éthylène mesurées sont plus élevées qu'en altitude (Chillet & de Lapeyre de Bellaire, 2002).

En outre, il a été établi que cette molécule jouerait un rôle essentiel durant les phases initiales du processus infectieux de *C. musae*. Elle accélère la germination et augmente le nombre d'appressoria formés (Flaishman & Kolattukudy, 1994). Cependant, selon Chillet *et al*. (2006a), l'éthylène exogène n'est pas directement impliqué dans l'initiation du développement des pourritures. Le 1-MCP (1-methylcyclopropène) (Serek *et al.*, 1995), un inhibiteur des récepteurs à l'éthylène, a permis de montrer que l'anthracnose quiescente ne se développe pas sur des fruits traités. Au contraire, si seuls les appressoria sont traités aux 1-MCP et que les fruits subissent un traitement à l'éthylène, la maladie se met en place. Cette observation confirme que la molécule d'éthylène en elle-même ne serait pas impliquée dans la rupture de quiescence de l'appressorium. Par conséquent, l'augmentation de la production d'éthylène durant le mûrissement ne constitue pas un signal activateur du développement de la maladie. Elle induit le mûrissement du fruit et ce sont les changements chimiques et histologiques, impliqués dans le processus de mûrissement, qui seraient responsables de la perte de quiescence. Selon Prusky *et al*. (1996), ayant mené une étude similaire sur avocat, l'éthylène inhiberait les mécanismes de résistance du fruit, menant de ce fait à une rupture de la phase de latence appressoriale.

A l'opposé, l'anthracnose de blessure se développe aussi rapidement sur des bananes vertes traitées au 1-MCP que sur bananes non traitées. Dans ce cas, la peau joue un rôle de barrière envers le champignon. La blessure ayant endommagé les couches externes de la peau, le champignon est alors capable de pénétrer les couches internes. Par conséquent, le mûrissement ne semble pas essentiel au développement de la pourriture (Chillet *et al*., 2006a). Le champignon peut alors être soumis à des composés fongitoxiques tels que la dopamine (Muirhead & Deverall, 1984) ou le 3-4 dimethoxybenzaldehyde, retrouvés au sein de la pelure du fruit (Abdelsaater & Nawwar, 1986), et être freiné dans son développement. Le développement du champignon dépendrait uniquement du niveau de résistance du fruit à

l'installation de l'infection. La dopamine, dont la concentration reste constante, pourrait jouer un rôle important dans cette résistance.

Cependant, même si l'anthracnose de blessure est capable de se développer sur les fruits verts traités au 1-MCP, dans les conditions naturelles, l'aire des nécroses augmente lorsque les bananes mûrissent. Une relation entre le stade de mûrissement, exprimé en terme de couleur de peau, et la surface de nécrose a été notée. Plus l'âge physiologique augmente, plus le mûrissement du fruit et le développement des nécroses sont rapides (Chillet *et al*., 2007).

Daundasekera *et al.* (2003) ont démontré que *C. musae* était capable de produire de l'éthylène. Cette aptitude pourrait jouer un rôle sur le développement des pourritures de couronne. En effet, il pourrait enclencher la synthèse de cette molécule par le fruit et sa maturation précoce. La synthèse d'éthylène avait déjà été enregistrée chez certains champignons cultivés sur des milieux contenant divers substrats (Swart & Kamerbeek, 1976). Daundasekera *et al.* (2003) ont montré qu'aucune production n'était présente en l'absence de L-méthionine dans le milieu. Cependant, *C. musae* produit de l'éthylène sur un substrat contenant de la méthionine. En outre, la quantité d'éthylène libérée par le champignon s'accroît lorsque la concentration en L-méthionine augmente. Sept isolats avaient été testés et tous produisaient de l'éthylène mais en quantité différente.

Divers facteurs de stress, incluant l'infection par un pathogène, peuvent induire la biosynthèse d'éthylène par la plante. Des infections par *C. musae* semblent causer un mûrissement prématuré des bananes (Peacock, 1973). La contribution relative de l'éthylène produit par le pathogène contre le système de production d'éthylène par l'hôte n'est pas connue (Daundasekera *et al.*, 2003).

5.2.2.3. Variation intra-régime

Il existe une variation dans le poids des fruits, les plus lourds étant situés au sommet du régime (basal) et les fruits les plus légers étant situés à l'extrémité distale du régime. Jullien *et al*. (2001) ont essayé d'expliquer cette différence de poids entre les fruits d'un même régime. Ils ont remarqué que les fruits distaux sont 30 à 40% plus petits que les fruits basaux. Cette variation serait liée à un retard de développement entre les fruits, caractérisé par une différence du nombre de cellules et de l'âge des fruits.

Pour un fruit situé au sommet du régime, la division cellulaire cesse à environ 350 °C-jour et les cellules commencent alors à se remplir d'amidon. Un retard de développement entre les fruits du sommet et distaux est observé. Les divisions cellulaires commencent et s'arrêtent environ 70°C-jour plus tard pour les fruits distaux. A la fin de la division cellulaire, les fruits basaux possèdent un nombre de cellules plus élevé. Cette différence du nombre de cellules pourrait être due à une compétition pour les assimilats qui augmenterait entre les fruits lorsque la division cellulaire se réalise au niveau des fruits distaux (Jullien *et al*., 2001).

Comme il existe des différences morphologiques entre les fruits d'un même régime, des différences de sensibilité aux pourritures de couronne entre fruits d'un même régime ont également été observées. La compétition pour la répartition des éléments nutritifs jouerait un rôle essentiel sur l'état physiologique des fruits. Une corrélation linéaire entre la position des mains sur le régime et la surface de nécrose interne a été démontrée. Plus les fruits sont situés proches de l'extrémité basale du régime, plus ils seront sensibles aux pourritures de couronne (communication personnelle). Ces résultats montrent l'existence de différences physiologiques dans la composition de la pulpe qui résulteraient du décalage lors des phases de division et de remplissage des cellules entre les mains du régime (Jullien *et al*., 2001). Les premières mains sont plus sensibles car elles sont initiées les premières et ont par conséquent un âge physiologique plus avancé.

5.2.2.4. Variation suite à des modifications du rapport sources/puits

Des modifications du rapport sources/puits, les sources étant assimilées aux feuilles et les puits aux fruits, ont été réalisées sur des bananiers. L'effet de ces modifications se marque au niveau du diamètre et de la longueur des fruits. Ces dernières caractéristiques sont plus élevées lorsque le nombre de feuilles restantes est important et que le nombre de mains est faible. De plus, lorsque les régimes sont défoliés, le grade de 34 mm est atteint après une période beaucoup plus longue. De ce fait, ces régimes ont accumulé un nombre de °C-jour plus élevé comparé aux fruits provenant de régimes dont le nombre de mains a été réduit (Chillet *et al*., 2006b).

En outre, ces traitements ont eu un effet important sur la sensibilité des fruits à l'anthracnose de blessure et sur leur durée de vie verte. Quand les fruits sont récoltés à un même grade, la surface de nécrose des fruits dont le ratio sources/puits est faible est alors trois fois plus grande que pour ceux ayant un ratio important. Par contre, si les fruits sont récoltés à un même âge physiologique de 900°C-jour, aucune différence significative en ce qui concerne la surface de nécrose n'a été mise en évidence. Ces résultats confirment donc l'importance de l'âge physiologique. Il existe bien une dissociation entre le diamètre du fruit et son âge physiologique, dont la somme des températures est un indicateur fiable (Chillet *et al*., 2006b).

Cependant, dans une étude similaire concernant les pourritures de couronne, les résultats sont différents. En effet, les régimes ont été récoltés à 900°C-jour et font apparaître des différences de sensibilité. La modification du rapport sources/puits agit sur l'importance du rayonnement capté par la plante, sur l'évapotranspiration et par conséquent sur les mouvements de sève dans la plante et la répartition des éléments entre les organes puits. Le statut minéral de la plante et de ses organes est modifié, ce qui influence la croissance et l'état physiologique des fruits. Ici, des différences de sensibilité se sont marquées entre les régimes portant des nombres différents de mains. Lorsque seules deux mains ont été maintenues, les fruits étaient moins sensibles, mais étaient aussi plus lourds et plus longs. Par contre, aucune différence de sensibilité n'a été révélée pour des plants possédant un nombre différent de feuilles, et donc un potentiel photosynthétique différent. Le potentiel photosynthétique aurait

donc une moindre importance par rapport à la compétition de la matière sèche entre les puits. Cependant, trois paramètres peuvent modifier l'impact de la défoliation sur le développement des fruits et pourraient expliquer l'importance réduite de la défoliation observée dans cette étude. Il s'agit de la manière dont s'est réalisée la défoliation, du moment de la défoliation et de sa sévérité. De manière générale, plus la défoliation est sévère et précoce et plus elle aura un impact sur la physiologie et la morphologie des bananes (communication personnelle).

La modification du rapport sources/puits pourrait être une solution pour pouvoir récolter des fruits situés à basse altitude à un âge physiologique plus précoce, donc moins sensibles au champignon, en conservant un même grade commercial (Chillet *et al*., 2007).

5.2.2.5. Les composés fongitoxiques

Beaucoup d'auteurs mettent en avant l'existence de composés fongitoxiques qui seraient responsable d'un certain niveau de résistance des fruits aux pathogènes (Chillet *et al*., 2006c; Prusky & Keen, 1993; Prusky & Plumbley, 1992; Flaishman & Kolattukudy, 1994; Chillet & de Lapeyre de Bellaire, 1996a).

Les fruits immatures contiennent de hautes concentrations en composés antimicrobiens préformés. Ces molécules peuvent s'accumuler dans le péricarpe immature (Prusky & Plumbley, 1992) et pourraient être à l'origine de la quiescence de *C. musae.*

Selon Chillet *et al. (*2007), les quantités de ces composés pourraient dépendre des conditions pédo-climatiques et du taux de développement physiologique. En effet, Chillet *et al*. (2006c) ont montré des variations dans les quantités de polyphénols retrouvées dans la pelure des fruits de haute et de basse altitude. Les concentrations les plus hautes sont retrouvées dans les fruits produits à faible altitude. De plus, le contenu en polyphénols dans des fruits d'âge physiologique différent est constant, aucune différence significative n'a été observée. Par contre, les concentrations sont beaucoup plus élevées dans la peau que dans la pulpe.

Muirhead & Deverall (1984) ont mis en évidence que des extraits éthanoliques standards préparés à partir de la pelure verte de banane inhibent *C. musae in vitro*. Le 3,4-dihydroxybenzaldehyde, qui avait été rapporté par Mulvena *et al.* (1969) comme étant un composé fongistatique, n'a pas été retrouvé lors de l'analyse chromatographique. Les inhibiteurs fongiques ont été identifiés comme étant les produits d'oxydation de la dopamine et provenaient de l'action de la tyrosine sur la dopamine. Ces composés se formeraient dans des cellules spécialisées et inhiberaient le développement de l'hyphe subcuticulaire.

Des études menées sur avocats ont montrés que la résistance des fruits à *Colletotrichum gloeosporioides* serait liée à la présence de composés fongitoxiques dont le principal est le 1-acetoxy-2-hydroxy-4-oxo-heneicosa-12,15-diene (AFD) (Prusky & Keen, 1993). La concentration en AFD est plus élevée dans des fruits récoltés plus jeunes, en comparaison à des fruits plus vieux (Wang *et al*., 2006). Le taux d'AFD dans les fruits diminue lors de leur mûrissement, passant de 1000 µg/g de poids frais à des concentrations

subfongitoxiques inférieures à 350 µg/g de poids frais (Prusky *et al*., 1982). Cette réduction se perçoit par le développement de pourritures sur le fruit. Cela s'explique par l'oxydation de l'AFD sous une forme non-active par la lipoxygénase, elle-même régulée et inhibée par l'épicatechine, un antioxydant naturel et dont les concentrations diminuent au cours du mûrissement du fruit (Wang *et al*., 2006).

Un traitement des fruits à l'éthylène ou au CO_2 augmente le niveau d'AFD. Cependant, l'application d'éthylène doit être opérée juste après la récolte, avant la crise climactérique. Dans le cas contraire, aucune augmentation d'AFD n'est observée. Lors du traitement au CO_2, deux augmentations du niveau d'AFD et d'épicatechine sont observées. Seuls les fruits traités au CO_2 montrent une diminution de développement des pourritures, indiquant que le second accroissement pourrait être impliqué dans le retard de croissance du champignon (Ardi *et al.*, 1998).

5.2.2.6. Variation selon l'âge physiologique

En ce qui concerne les bananes d'exportation, les fruits sont récoltés encore verts et doivent rester dans leur phase pré-climactérique jusqu'à l'arrivée aux mûrisseries, où elles sont traitées à l'éthylène afin d'induire la maturation des fruits. La maturation précoce ainsi que le développement de pourritures de couronne occasionnent une diminution de la qualité du produit. Cette maturation précoce peut provenir de facteurs physiologiques indépendants du développement de maladies post-récoltes. C'est notamment le cas lorsque les fruits sont récoltés trop tard et atteignent alors un stade physiologique trop avancé. Il en résulte une diminution de la longueur de la phase pré-climactérique, ou encore durée de vie verte. En outre, le grade de bananes récoltées à un même stade physiologique peut être très différent. Inversement, des bananes de même grade commercial peuvent avoir des âges physiologiques très variables. Il est donc essentiel de tenir compte du stade physiologique pour prévoir la période de récolte (Chillet *et al.*, 2006b).

La prévision du stade de récolte des bananes "dessert" de type Cavendish a été étudiée par Ganry (1978). Le modèle prend en compte les données climatiques et stipule que l'intervalle fleur-coupe (IFC) optimal est lié à une somme de températures utiles. Celles-ci sont calculées en prenant en considération une température seuil, en dessous de laquelle le développement du bananier est nul, équivalente à 14°C et les températures minimale et maximale du jour. Selon ce modèle et sans la présence de facteurs limitants autres que la température, le stade optimal de récolte est atteint après qu'une somme de températures journalières utiles de 900°C ait été accumulée. Actuellement, ce modèle est largement utilisé par les producteurs de bananes.

La sensibilité des bananes à l'anthracnose de blessure diffère selon l'âge physiologique. A la fois en haute et en basse altitude, les fruits les moins sensibles sont ceux récoltés à un stade physiologique précoce, avant 900°C-jour. De plus, la durée de vie verte de ces fruits est

significativement augmentée (Chillet *et al.*, 2006b). Une relation exponentielle entre l'aire nécrosée et l'âge physiologique a été mise en évidence. Aucun développement de pourritures n'a été observé sous une somme de températures de 400°C-jour (Chillet *et al.*, 2007).

En outre, à même âge physiologique, les bananes de haute altitude étaient beaucoup moins sensibles que celles de basse altitude. Cette différence diminue lorsque les âges physiologiques testés augmentent (Chillet *et al.*, 2007). Cela pourrait être dû à des caractéristiques mécaniques et physiologiques telles que la fermeté et à la production d'éthylène après blessure (Chillet & de Lapeyre de Bellaire, 2002; Chillet *et al.*, 2000).

Toujours pour une même somme de températures, les fruits de haute altitude possèdent un grade plus important que ceux de faible altitude (Chillet *et al.*, 2006b). En effet, les fruits récoltés en haute altitude prennent plus de temps que ceux de basse altitude pour atteindre la même somme de température. La croissance accélérée des fruits de basse altitude pourrait augmenter leur sensibilité. L'âge physiologique jouerait un rôle primordial dans la sensibilité des fruits mais le taux d'accumulation des températures interviendrait également. Par contre, la durée de vie verte semble fermement liée à l'âge physiologique uniquement. A même âge physiologique, les bananes présentent la même durée de vie verte (Chillet *et al.*, 2006b).

Les problèmes de qualité des bananes sont souvent liés au fait que celles-ci sont récoltées une fois que le grade commercial est atteint. Cependant, durant la période pluvieuse, un mauvais drainage du sol et de grandes quantités d'eau créent des conditions anoxiques, non favorables aux développement de la plante et de ses fruits. Pour atteindre le grade souhaité, l'intervalle fleur-coupe est plus long, entraînant une accumulation plus importante des températures. Les bananes sont alors récoltées à un âge physiologique plus avancé, ce qui accroît leur sensibilité à la maladie. Cela explique également les différences de sensibilité entre les bananes de montagne et celles de basse altitude. Les fruits de montagne atteignent le grade de 34 mm à un âge physiologique plus faible étant donné les températures inférieures rencontrées en altitude. En outre, les bananes de haute altitude sont naturellement moins sensibles à *C. musae* (Chillet *et al.*, 2006b; Chillet *et al.*, 2007). Tout ceci a été démontré dans le cas de l'anthracnose. Cependant, beaucoup de données manquent en ce qui concerne les pourritures de couronne. Ce travail vient donc en continuité des quelques travaux déjà réalisés sur les pourritures de couronne.

5.2.3. Méthodes de lutte

5.2.3.1. Méthodes prophylactiques

L'importance de l'infection des fruits par les pathogènes du complexe dépend de la quantité d'inoculum présente dans l'environnement. Un certain nombre de pratiques doivent être mises en place tout au long de la filière afin de limiter au maximum cette infection (Muirhead & Jones, 2000).

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Comme nous l'avons vu plus haut, la dernière bractée et les parties florales constituent une source d'inoculum importante (de Lapeyre de Bellaire & Mourichon, 1997). Tous les fruits doivent donc être épistillés (élimination des parties florales) à un stade précoce de développement du régime. Il est également conseillé d'enlever les feuilles mortes et les bractées. De plus, le gainage précoce des régimes permet de limiter les attaques des fruits par *C. musae*. La pose de la gaine au stade doigts horizontaux ou à un stade plus précoce se révèle la plus efficace (Bedimo *et al*., 2003).

L'âge et le grade des fruits doivent être bien contrôlés durant le développement du régime. Une fois par semaine, les régimes émergeant sont marqués à l'aide d'un ruban de couleur, différent d'une semaine à l'autre. Si un régime n'atteint pas le grade après 13 semaines, il ne peut être exporté car il aura atteint un âge physiologique trop avancé (Krauss & Johanson, 2000).

Enfin, le conditionnement des fruits doit être réalisé dans des endroits éloignés des sources d'infection (Krauss & Johanson, 2000). Les abords et la station elle-même doivent être propres, les déchets végétaux doivent être évacués régulièrement (Lassoudière, 2007). L'eau de lavage et de délatexage doit être renouvelée et traitée. La découpe des mains en bouquets doit être la plus franche possible. En effet, si les tissus de la couronne sont déchirés, les fragments qui en résultent se dessèchent et constituent une voie idéale pour l'établissement des pathogènes. Une recoupe des couronnes après la période de délatexage peut également être effectuée. Cette étape permettrait d'éliminer l'inoculum qui aurait pu pénétrer les couches plus profondes de la couronne des fruits (Krauss & Johanson, 2000). Les outils utilisés doivent être propres et aiguisés et la couronne découpée doit être suffisamment large afin de minimiser les risques de développement de pourritures (Muirhead & Jones, 2000).

5.2.3.2. Méthodes chimiques

L'application de fongicides en traitement post-récolte a débuté lorsque les régimes n'étaient plus exportés entiers mais découpés en bouquets. La couronne est alors devenue un site majeur d'infection par les pathogènes. Les premiers fongicides utilisés étaient des pesticides systémiques de la famille des benzimidazoles (thiabendazole et benomyl) mis sur le marché à la fin des années 60. Ensuite, des fongicides d'autres familles chimiques, telles que imazalil et prochloraz, ont été utilisés (Muirhead & Jones, 2000; de Lapeyre de Bellaire & Nolin, 1994). Aujourd'hui, les fongicides reconnus efficaces contre les pourritures de couronne sont le thiabendazole (Mertect 20 S: 200 ml/100 l) et le bitertanol (Baycor 300 EC: 70 ml/100 l). Leur efficacité dépend de la qualité d'application définie par la durée de traitement et le débit (Lassoudière, 2007).

Des souches résistantes au thiabendazole et au benomyl notamment, ont été mises en évidence (Hostachy *et al.*, 1990; Johanson & Blasquez, 1992). L'utilisation de fongicide en mélange ou en alternance est préconisée (Muirhead & Jones, 2000). La tolérance au thiabendazole serait due à une résistance croisée au benomyl, largement utilisé en

pulvérisation aérienne pour lutter contre la cercosporiose (de Lapeyre de Bellaire & Nolin, 1994 ; de Lapeyre de Bellaire & Dubois, 1997).

Les fongicides sont appliqués le plus fréquemment par aspersion, badigeonnage ou encore par trempage. Ils doivent être appliqués le plus rapidement possible après la découpe des couronnes. Plus longtemps la surface de la couronne reste sans protection, plus le risque est important de voir se développer des pourritures (Muirhead & Jones, 2000). La solution de fongicide est utilisée soit en circuit ouvert (perte de solution), soit en circuit fermé. Dans ce dernier cas, il faut alors tenir compte de la dilution en fonction du nombre de fruits traités (Lassoudière, 2007).

5.2.3.3. Méthodes biologiques

Plusieurs antagonistes ont été identifiés. Plusieurs souches de champignons seraient capables d'attaquer les pathogènes du complexe responsable des pourritures de couronne. Il s'agit notamment des espèce *Gliocladium sp.*, *Pythium sp.*, *Verticillium sp.*, *Trichoderma sp.* (Krauss *et al*., 1998). Cependant, la biodiversité des pathogènes impliqués dans la pourriture de couronne mène à une discrimination de souches par les agents antagonistes. Il en résulte un biocontrôle variable de la maladie. L'efficacité du contrôle était augmentée lorsque plusieurs antagonistes étaient combinés (Krauss *et al*., 2001).

De plus, des filtrats de cultures ou des fragments de parois cellulaires de *C. musae* sont capables d'induire la production de composés antifongiques dans la peau de bananes vertes. Ceux-ci inhibent la germination des conidies (Brown & Swinburne, 1980).

Certaines molécules telles que le méthyljasmonate (MeJA) permettent d'induire la résistance des bananes aux maladies provoquées par *C. musae.* En effet, des traitements au MeJA réduisent le diamètre des lésions et l'incidence de la maladie due au pathogène (Shijiang & Baocheng, 2007).

L'activité antagoniste de deux souches de levure (*Pichia anomala* souche K et *Candida oleophila* souche O) a été testée pour lutter contre le complexe parasitaire responsable des pourritures de couronne. Les essais ont porté sur des couronnes de bananes inoculées avec *C. musae*, *Fusarium moniliforme*, *Cephalosporium* sp. et le complexe formé par les trois champignons. La souche O de *Candida oleophila* s'est révélée être la plus efficace contre le complexe fongique, avec un niveau de protection atteignant 54,4% (Lassois *et al*., 2008). Ce type de lutte biologique est très prometteur et adapté car la zone d'application des levures est limitée à la couronne, les conditions environnementales sont stables durant le stockage et les bananes sont des fruits à haute valeur ajoutée. Cependant, pour pouvoir être utilisée comme agent de lutte biologique, la souche devra encore répondre à de nombreux critères, tels que ceux de la formulation et de la production industrielle à grande échelle.

5.2.3.4. Méthodes physiques

ATMOSPHÈRE MODIFIÉE ET CONTRÔLÉE

Modifier l'atmosphère dans lequel se trouvent les fruits verts permet d'étendre la durée de vie verte des bananes en empêchant l'initiation prématurée du mûrissement durant le transport et le stockage. La maturation des fruits est retardée lorsque la concentration en oxygène est réduite à 3-7% et que la concentration en dioxyde de carbone est augmentée à 10-13%. L'effet est renforcé si l'éthylène est absorbé (Wade *et al*., 1993).

Cette atmosphère modifiée peut être obtenue grâce à des équipements sophistiqués mis en place dans les conteneurs des bateaux transportant les cartons de bananes. Des chambres à atmosphère contrôlée permettent d'assurer des concentrations exactes en gaz présents dans la pièce (Krauss & Johanson, 2000).

Cependant, si les fruits sont emballés dans des polybags en polyéthylène et que le vide est réalisé, l'atmosphère se modifie au sein du plastique suite à l'activité respiratoire des fruits (Muirhead & Jones, 2000). Un environnement riche en CO_2 et pauvre en oxygène se crée et les pertes d'humidité des fruits sont réduites, ceux-ci gardent alors plus longtemps leur fraîcheur (Krauss & Johanson, 2000). En plus d'étendre la durée de vie verte des fruits, l'atmosphère modifiée ralentit le développement des pourritures de couronne, surtout sur une longue période (Chillet & de Lapeyre de Bellaire, 1996). Cependant, l'équilibre à atteindre est délicat afin de ne pas tomber dans des conditions anaérobiques, qui sont à l'origine de changements de texture et de couleur des fruits (Krauss & Johanson, 2000).

EFFET DE LA TEMPÉRATURE

Le développement des champignons responsables des pourritures de couronne est favorisé par les températures tropicales. Ainsi, la température optimale de développement de *C. musae* est située entre 25 et 30°C. A une température de 35°C, la croissance n'est pas fortement inhibée. Par contre, le mycélium croit très lentement à des températures inférieures à 10°C (Lim *et al*., 2002). Le contrôle de la température durant le transport, le stockage et le mûrissement est déterminant. Les bananes sont ainsi conservées à 13-14°C. Sous 12°C, celles-ci sont endommagées par le froid. Le délai de mise en froid doit être le plus bref possible après la récolte, particulièrement si les bananes doivent supporter une période de transit supérieure à 10 jours (Stover, 1972; Lassoudière, 2007).

EFFET D'UNE HAUTE HUMIDITÉ

Une humidité importante permet de maintenir la turgescence et la fraîcheur des tissus. En empêchant de cette manière la dessiccation de la couronne, une réduction des tissus morts est observée et par conséquent la colonisation fongique des couronnes est diminuée (Stover & Simmonds, 1987).

AUTRES MÉTHODES

Des traitements à l'eau chaude ont été expérimentés pour lutter contre les champignons et permettent de réduire l'incidence des pathogènes impliqués dans les pourritures de couronne (Burden, 1968). Nous pouvons citer également l'utilisation de polymères formant un film comestible (acides organiques et sels). L'efficacité de cette méthode n'est pas spectaculaire et est à combiner avec une faible quantité de fongicide (Al Zaemey *et al*., 1993). Il existe également un contrôle de la maladie par irradiation (Akamine & Moy, 1983; Burditt, 1994). Cependant, les doses à utiliser pour un contrôle complet de la maladie sont trop élevées et engendrent des dommages aux fruits (Thomas, 1986).

5.2.3.5. Méthode génétique

Une autre voie qui est menée est l'amélioration variétale. Notamment, la variété Goldfinger a été créée en Australie par le programme d'amélioration du Honduras. Celle-ci est assez résistante aux ravageurs et aux maladies dont les pourritures de couronne (Daniells *et al*., 1995).

5.2.3.6. Lutte intégrée

Dans un monde où les problèmes de sécurité alimentaire et de protection environnementale et humaine sont de plus en plus au centre des préoccupations, le concept de lutte intégrée prend de l'importance. La combinaison de plusieurs méthodes de lutte contre la pourriture de couronne pourrait permettre de limiter au maximum l'utilisation des pesticides. La lutte prophylactique est un point de départ essentiel afin de limiter au maximum la contamination des fruits. Combinée avec une ou plusieurs autres méthodes, elle permettra de réduire davantage le développement des pourritures. Toutefois, une faible quantité de fongicide pourra être appliquée dans le but de s'affranchir complètement de la maladie et ainsi respecter les normes européennes pour l'exportation.

OBJECTIF

Le développement de la maladie post-récolte des pourritures de couronne varie selon le potentiel de qualité du fruit. Les conditions pédo-climatiques et agro-techniques jouent un rôle primordial dans la mise en place de ce potentiel. En effet, elles contribuent à déterminer l'importance des composantes physiologiques et parasitaires.

Des études ont montré que divers facteurs ou techniques culturales influençaient ces composantes. Ainsi, la composante parasitaire va varier selon l'importance des pluies, l'application ou non d'une gaine sur le régime, l'épistillage des fruits,… De même, une modification du rapport sources/puits, la composition chimique du sol vont modifier la composante physiologique, c'est-à-dire la capacité du fruit à résister aux pathogènes.

Afin d'approfondir nos connaissances en ce qui concerne la composante physiologique du potentiel de qualité, le facteur étudié est l'âge physiologique du fruit à la récolte. L'étude a déjà été réalisée dans le cas de l'anthracnose. De la même manière, ce travail a ici pour but d'étudier la sensibilité des bananes aux pourritures de couronne, et particulièrement au champignon *Colletotrichum musae*, en fonction de leur âge physiologique. Ce champignon appartient au complexe de pathogènes responsables de la maladie et est le plus agressif.

MATERIELS ET METHODE

1. Matériel végétal et lieux de l'essai

Le matériel végétal utilisé (triploïde *acuminata*) appartient au cultivar Jaffa d'une part et au cultivar Williams d'autre part, tous deux faisant parties du sous-groupe "Cavendish". Le premier est cultivé sur la parcelle nommée "Fromager", alors que le deuxième se trouve sur la parcelle "Patate 2". Le choix de ces deux parcelles a été fait sur base de leur état de floraison. Des parcelles émettant suffisamment d'inflorescences étaient nécessaires.

Ces parcelles sont situées à Bois Debout, dans la commune de Capesterre-Belle-Eau en Guadeloupe et sont la propriété de Monsieur Dormoy, le plus grand propriétaire guadeloupéen. La parcelle, nommée Fromager, possède une superficie de 3 ha 35 et est située entre 70 et 80 m d'altitude. La densité de plantation est de 2000 plants/ha. Cette parcelle a été plantée le 15 juillet 2005 et se situe dans son 4ème cycle. Quant à la parcelle "Patate 2", elle est d'une superficie de 1 ha 92 et plantée à une densité de 2000 pieds/ha également. L'altitude est de quelques dizaines de mètres supérieure à celle de "Fromager". Elle a été plantée à partir du 30 juin 2006 et est en 3ème cycle.

Figure 4 : Localisation géographique des deux parcelles ayant servi à l'essai

La carte présente l'ensemble du parcellaire de la propriété Dormoy situé à Bois Debout. Les parcelles colorées de bleu sont Patate 2 sur la gauche et Fromager à droite.

2. Marquage des régimes

Six stades physiologiques ont été étudiés. Les bananes ont été récoltées approximativement aux différents intervalles fleur-coupe (IFC) suivants: 650 ; 750 ; 850 ; 950 ; 1050 et 1150°C-jour. L'âge physiologique des fruits est exprimé en somme thermique accumulée durant leur croissance calculée au seuil de 14°C (Ganry, 1978). Sachant que la somme de températures accumulées durant une semaine est environ de 100°C-jour et que les différents stades sont espacés par cette même somme, les régimes ont été marqués chaque semaine, au nombre de 10 par âge physiologique. Par conséquent, la récolte de tous les stades était réalisée le même jour. Deux séances de marquage ont été réalisées sur la semaine afin d'avoir, à la récolte, des régimes se rapprochant le plus possible des âges physiologiques testés. Le calendrier de marquage est repris en annexe 1. Les régimes sélectionnés se trouvaient au stade dernière main femelle horizontale. Lors du marquage, la popote, les fausses-mains et deux mains femelles ont été éliminées. Des bandes de chantier ont été liées au bananier et au régime et un ruban de couleur, correspondant à la semaine de marquage, a également été fixé au régime. Les bananiers ont ensuite été numérotés en reprenant le numéro de la semaine et le numéro du bananier.

Figure 5: Régime au stade dernière main horizontale

Figure 6: Ablation des fausses mains et de la popote

Figure 7 : Marquage avec bande de chantier et ruban de couleur

Figure 8 : Numérotation de la semaine de marquage et du numéro de bananier

3. Récolte

Afin de prévoir la récolte, une sonde de température "Tinytag" a été installée dans la parcelle "Fromager" et les températures ont été relevées toutes les semaines. Un programme

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Excel a calculé les sommes de températures cumulées à partir des données récupérées ou estimées et a permis de prévoir la date de récolte. Les dates précises de récolte ont été déterminées après avoir relevé les températures 2 ou 3 jours avant la date prévue afin d'avoir les sommes thermiques les plus précises possibles. Une fois la date fixée, une sélection entre les régimes marqués début ou fin de semaine a été effectuée afin d'être le plus proche des stades de maturité testés.

Les secondes mains des régimes ayant atteint les différents stades physiologiques ont été récupérées et conservées en chambre froide à 13°C jusqu'à l'inoculation du lendemain. Dix bananiers par stade ont été récoltés.

Les mains ont ensuite été découpées en 3 bouquets de 4 doigts. Les fruits des extrémités sont systématiquement rejetés et les bouquets sont composés des fruits les plus conformes possibles. Chaque expérimentation a été répétée 7 fois dans le temps. Quatre répétitions (blocs) ont été exécutées sur la parcelle "Fromager" et les 3 autres sur la parcelle "Patate 2".

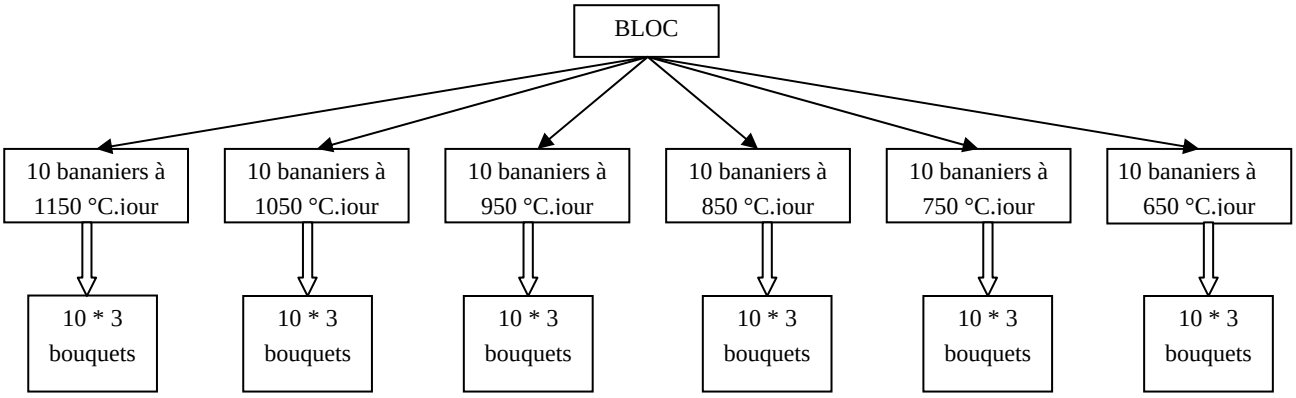


Figure 9 : Schéma de l'échantillonnage

Figure 10 : Récolte des mains

Figure 11 : Récolte des mains

4. Méthode de reproduction des symptômes

La méthode a été mise au point, testée et validée par le CIRAD Guadeloupe, Unité de Recherche 'Systèmes de culture banane et ananas' dans le cadre du programme qualité de la banane en post-récolte. Les couronnes des bananes sont inoculées artificiellement par *C. musae* et subissent les conditions imitant l'exportation industrielle.

4.1. Préparation de l'inoculum

Le champignon utilisé dans l'expérimentation est *Colletotrichum musae*. La souche a été isolée sur des couronnes de bananes de Guadeloupe et est conservée à –80°C dans des cryotubes contenant une solution de glycérol (50%). *C. musae* a été remis en culture par étalement de la solution d'un cryotube sur boîte de Petri contenant du milieu Mathur (annexe 2). Cette boîte a été notée et placée ensuite en chambre à 25°C durant 10 jours. Un repiquage régulier du champignon permettait d'en avoir à disposition pour les 7 répétitions. A partir d'un étalement, quatre repiquages sont réalisés avant d'effectuer un nouvel étalement.

L'inoculation doit être réalisée à partir d'une solution ayant une concentration en spores de 10^4 conidies/ml. Ainsi, 10 ml d'eau distillée ont été déposés dans la boîte de Petri, qui a ensuite été agitée à la main afin de permettre la mise en suspension des spores de champignon. Lorsque l'eau se trouble légèrement, le liquide contenant les spores est prélevé et filtré au travers d'un tamis stérile. Après agitation au vortex, la concentration initiale en spores a été déterminée par comptage à l'aide d'une cellule de Mallassez.

Une fois la concentration initiale déterminée, la concentration finale de 10^4 conidies/ml a été obtenue par dilutions successives.

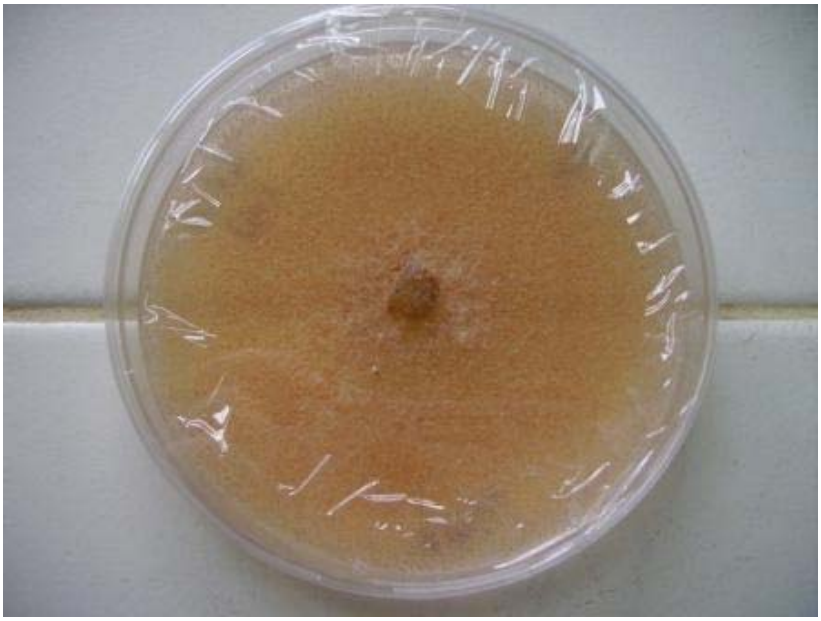


Figure 12 : Boîte de Petri contenant le *Colletotrichum musae*

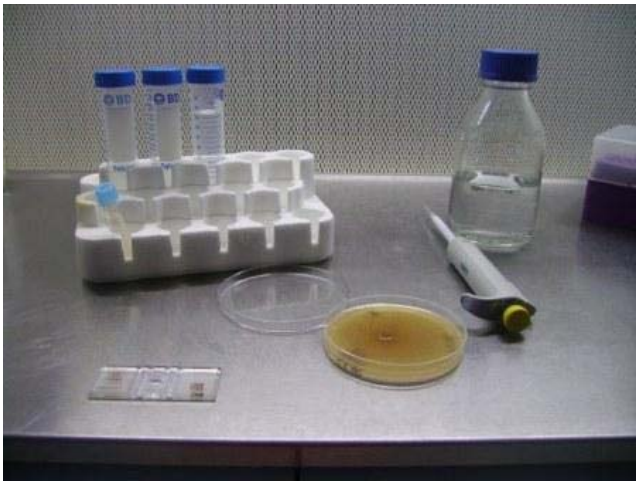


Figure 13 : Matériels servant à la préparation de l'inoculum

Figure 14 : Matériels servant à la préparation de l'inoculum

4.2. Préparation des couronnes

Les mains de bananes, récupérées la veille de l'expérience, ont été ramenées au laboratoire. Chaque main a été découpée pour former 3 bouquets de 4 doigts sans défaut. Les doigts des extrémités des mains ont systématiquement été éliminés. Les couronnes ont été découpées en section carrée, régulière et nette afin d'obtenir des couronnes similaires entre les bouquets. Chaque bouquet a été numéroté avec la lettre du traitement, le numéro du régime (1 à 10) et le numéro du bouquet (1 à 3).

Exemple: A.1.1 signifie traitement 1150°C-jour, Régime 1, bouquet 1

Les bouquets sont placés sur les tables selon leur numéro de régime et forme un ensemble qui sera emballé dans le même carton. Ainsi, un carton sera constitué de la manière suivante:

Traitement 1150°C-jour, Régime 1, 3 bouquets : A.1.1. / A.1.2. / A.1.3.
Traitement 1050°C-jour, Régime 1, 3 bouquets : B.1.1. / B.1.2. / B.1.3.
Traitement 950°C-jour, Régime 1, 3 bouquets : C.1.1. / C.1.2. / C.1.3.
Traitement 850°C-jour, Régime 1, 3 bouquets : D.1.1. / D.1.2. / D.1.3.
Traitement 750°C-jour, Régime 1, 3 bouquets : E.1.1. / E.1.2. / E.1.3.
Traitement 650°C-jour, Régime 1, 3 bouquets : F.1.1. / F.1.2. / F.1.3.

Ensuite, les bouquets ont été laissés à l'air libre pendant 30 min minimum afin de laisser s'écouler le latex. Le reste du latex a été essuyé avec un papier absorbant. Enfin, les couronnes ont été désinfectées en les trempant 10 secondes dans de l'alcool à 90° dilué à 50°.

Figure 15 : Trois bouquets d'une seconde main numérotés

Figure 16 : Ensemble des bouquets constituant un carton

4.3. Inoculation des couronnes

Une fois les couronnes sèches, celles-ci ont été inoculées avec la suspension du pathogène. Cette inoculation a été réalisée en déposant une goutte 50 µl de la suspension au niveau de la couronne à l'aide d'une micropipette. La suspension a été agitée régulièrement pour que la concentration en pathogène reste homogène. Un carré de papier filtre stérilisé a été déposé sur la goutte afin d'éviter son écoulement et de maintenir l'inoculum sur la couronne.

5. Simulation du programme d'exportation

Une heure après l'inoculation, les bananes ont été emballées, comme décrit précédemment, dans des polybags perforés et placées dans des cartons d'exportation. La simulation du transport en bateau a été réalisée par un stockage des bananes en chambre tempérée à 13°C durant 13 jours.

6. Evaluation de la progression du pathogène

Pour procéder à l'évaluation, les bouquets de 4 doigts ont été séparés en deux bouquets de 2 doigts. La découpe transversale de la couronne a permis une visualisation des nécroses internes. La mesure de la surface de nécrose se réalise en déterminant une surface rectangulaire de nécrose, exprimée en mm^2.

Figure 17 : Surface de nécrose interne

7. Analyse des résultats

Les résultats obtenus ont été analysés à l'aide du logiciel MINITAB 15. Dans un premier temps, une analyse de la variance à quatre critères de classification partiellement hiérarchisée mixte a été la méthode utilisée. Les facteurs étaient les variétés (aléatoire, qualitatif, 2), les blocs (aléatoire, 7), les âges physiologiques (fixe, quantitatif, 6) et le troisième facteur était les bananiers (aléatoire, qualitatif, 10).

Ensuite, deux analyses de la variance à trois critères de classification partiellement hiérarchisée mixte ont été réalisées. Les facteurs étaient les blocs (aléatoire, 4 et 3), les âges physiologiques (fixe, quantitatif, 6) et le troisième facteur était les bananiers (aléatoire, qualitatif, 10). Une analyse a été effectuée pour chaque parcelle séparément.

Lorsque des différences significatives sont mises en évidence par le logiciel, une structuration des moyennes selon la méthode des contrastes est réalisée afin de connaître la relation s'établissant entre les différents âges physiologiques testés et la surface de nécrose interne, c'est-à-dire la sensibilité à la maladie.

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Introduction

Dans ce travail, nous avons mis en évidence une relation qui existe entre la surface de nécrose interne (SNI), mesurée après inoculation des fruits, et six âges physiologiques.

Les âges physiologiques testés étaient au nombre de six et se rapprochaient au maximum des valeurs suivantes : 1150, 1050, 950, 850, 750, 650°C-jour. Ces valeurs correspondent à une somme de températures accumulées à partir de la date de marquage réalisée au stade dernière main horizontale, au seuil de 14°C. Cependant, il nous est impossible d'arriver à ces valeurs exactes en dépit du fait que les marquages sont réalisés par semaine et la somme de températures accumulées sur une semaine est environ de 75-80°C-jour et non de 100°C-jour.

Ainsi, nous sommes arrivés aux valeurs suivantes:

Tableau 5 : Ages physiologiques obtenus à la récolte des régimes pour les différentes répétitions

			âge physiologique correspondant					
Récolte	**date de récolte**	**parcelle**	**1150**	**1050**	**950**	**850**	**750**	**650**
1	8-juil	fromager	1144	1040	966	898	816	744
2	14-juil	fromager	1150	1044	975	893	821	739
3	20-juil	fromager	1153	1051	969	897	815	733
4	25-juil	fromager	1151	1069	994	880	798	717
		Moyennes	1150	1051	976	892	813	733
5	30-juil	patate 2	1137	1029	947	865	784	703
6	6-août	patate 2	1151	1037	955	874	793	707
7	11-août	patate 2	1139	1056	940	859	773	684
		Moyennes	1142	1041	947	866	783	698

Ce tableau reprend le numéro (bloc) et la date de récolte, la parcelle sur laquelle celle-ci a eu lieu et les âges physiologiques obtenus à la récolte et se rapprochant autant que possible des valeurs des six stades testés. On constate que l'intervalle entre les différents stades de maturité ne sont pas toujours de 100°C-jour. Lors de l'analyse des résultats, cet écart entre les valeurs d'âge physiologique réelles et les valeurs attendues a été pris en compte.

La maladie des pourritures de couronne est causée par un complexe de pathogènes. Cependant, afin de simplifier la manipulation mais aussi par le fait qu'il est le plus fréquemment rencontré, seul le champignon le plus agressif du complexe a été utilisé, en l'occurrence *Colletotrichum musae*. En champ, les concentrations maximales moyennes en conidies enregistrées pour ce pathogène sont environ de $4*10^2$ conidies/ml durant la période

Rapport-Gratuit.com

sèche de l'année et de 1,3*10^3 conidies/ml durant la période pluvieuse (de Lapeyre de Bellaire & Mourichon, 1997). Ces valeurs sont bien inférieures à la concentration utilisée lors de notre expérimentation qui était alors de 10^4 conidies/ml, permettant de garantir la contamination des bouquets.

2. Etude de la variation de sensibilité selon la variété

Au lieu d'une seule parcelle prévue au départ, deux parcelles, plantées avec deux variétés différentes de bananiers, ont été utilisées pour effectuer l'essai. Comme les deux parcelles comportaient deux variétés de bananiers différentes, pour l'une Jaffa et pour l'autre Williams, nous avons tout d'abord testé si la variété n'influençait pas la SNI mesurée.

Les résultats de l'analyse de la variance (AV4 semi-hierarchisée mixte) ont révélé qu'il n'y avait pas d'effet significatif (p = 0,585) de la variété sur la surface de nécrose interne. Les variétés Jaffa et Williams semblent donc se comporter de la même manière vis-à-vis de *Colletotrichum musae.*

Dans notre expérience, les parcelles ont été choisies suffisamment proches l'une de l'autre afin d'éviter que l'altitude n'influence la sensibilité des fruits au champignon. En effet, Chillet *et al*. (2006b) ont mis en évidence des différences de sensibilité des bananes à l'anthracnose de blessure en fonction de l'altitude. Les plants situés à altitude élevée portaient des fruits moins sensibles au champignon que ceux cultivés à faible altitude. Comme prévu, cela n'a pas été observé lors de notre essai.

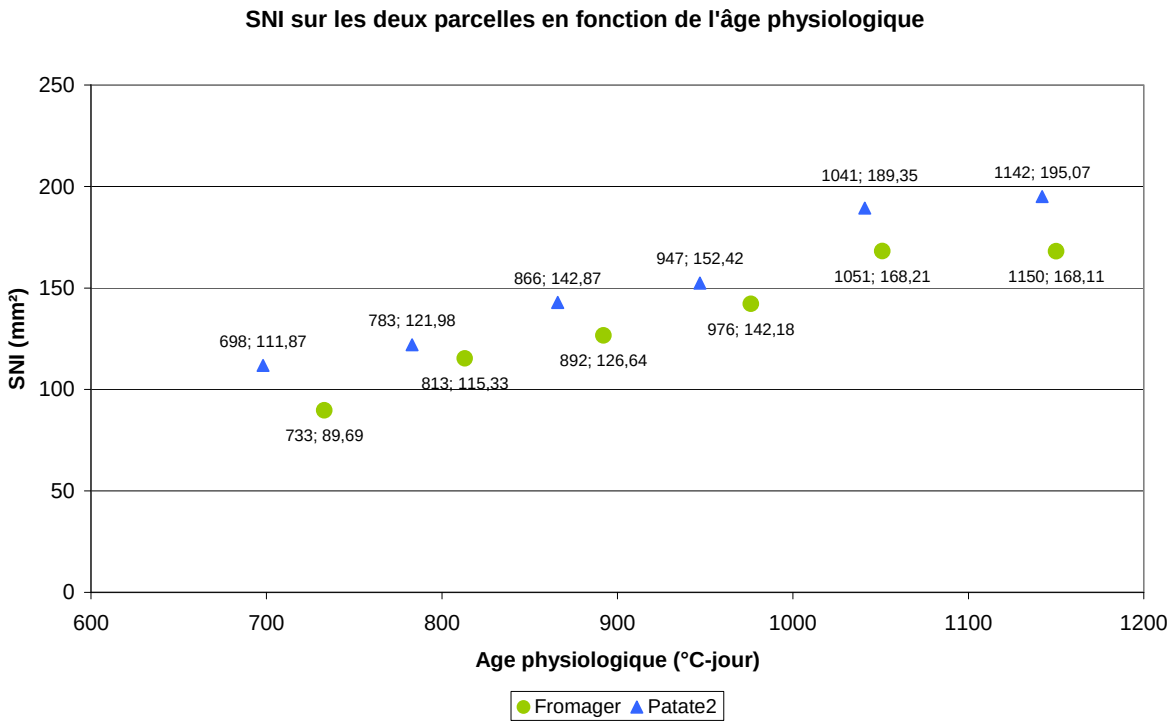


Figure 18 : Evolution des SNI sur les parcelles Fromager et Patate 2 en fonction de l'âge physiologique (Les valeurs d'âge physiologique représentées sur le graphique correspondent à la moyenne des valeurs d'âge physiologique sur Fromager d'une part et sur Patate 2 d'autre part)

Par contre, Patate 2, qui se trouvait à altitude légèrement plus élevée que Fromager, montrait des SNI sommairement plus grandes, comme nous pouvons l'observer sur le graphique ci-dessous. En effet, si on examine ce graphe, les SNI sont en moyenne plus grandes sur Patate 2 que sur Fromager. Cette légère différence pourrait être due aux conditions climatiques plus pluvieuses lorsque les bananes situées sur Patate 2 ont été récoltées et qui auraient pu avoir une influence sur la physiologie des fruits, sur l'efficacité de l'inoculation ou encore sur la colonisation du champignon au laboratoire. Anselmo (2005) a observé que la température moyenne et l'humidité relative moyenne du jour de l'inoculation pouvaient influencer la surface de nécrose interne. En effet, plus la température et l'humidité relative étaient élevées et plus les SNI étaient importantes. L'évapotranspiration plus importante lors de température plus élevée provoquerait des pertes en eau du fruit, ce qui engendrerait une production d'éthylène et une respiration plus importante. Cela contribuerait à augmenter le métabolisme du fruit et engendrerait à une sensibilité accrue des fruits. Dans notre expérience, la récolte des fruits produits sur Patate 2 a été effectuée à la fin du mois de juillet (30/07/08) et au cours du mois d'août (6 et 11/08/08). En Guadeloupe, ces mois correspondent à la saison des pluies caractérisées par une plus forte pluviosité et des températures plus élevées. Comme présenté dans le graphe ci-dessous (figure 19), les températures augmentent au cours des mois de l'expérimentation. Ces facteurs pourraient donc expliquer la différence de sensibilité entre la parcelle Fromager et Patate 2.

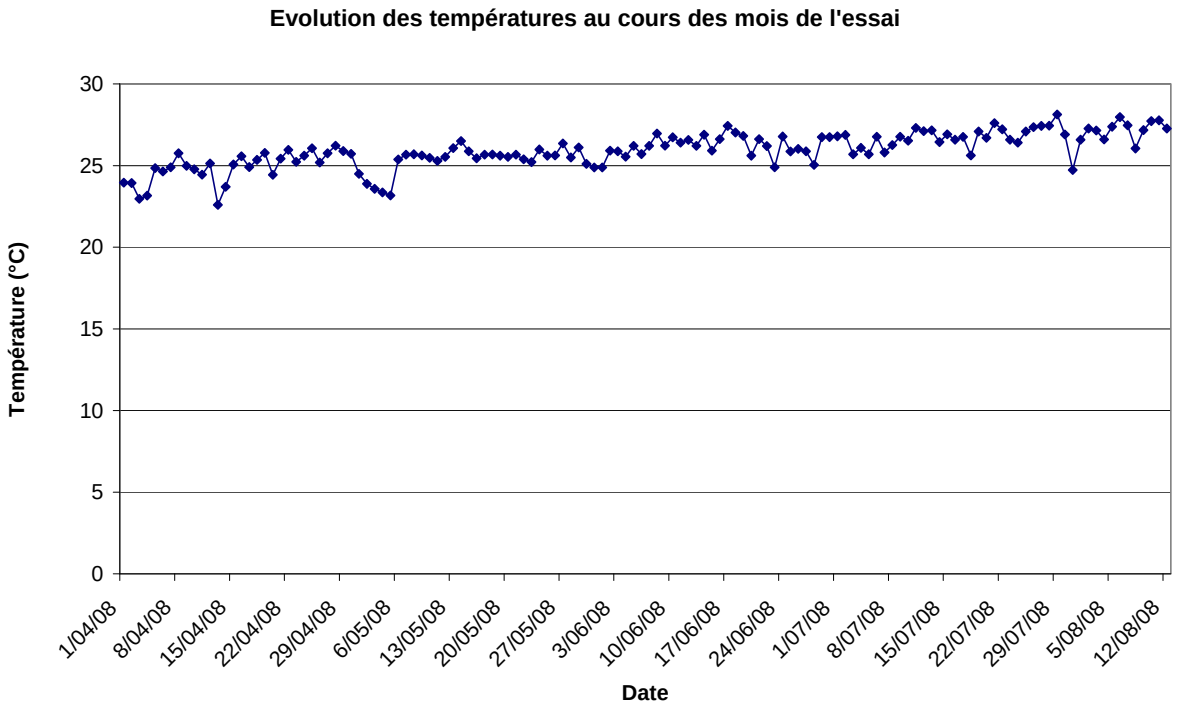


Figure 19 : Représentation des données de températures récoltées sur la parcelle Fromager au cours de l'essai

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

De plus, si on observe les valeurs d'âge physiologique obtenues pour Patate 2, celles-ci sont de manière générale plus faibles que sur Fromager, alors que les valeurs de SNI sont plus élevées sur Patate 2 que sur Fromager. L'analyse statistique ne prend pas en compte cette différence d'âge physiologique. De ce fait, si les valeurs d'âge physiologique enregistrées sur Patate 2 étaient les mêmes que sur Fromager, les valeurs de SNI sur Patate 2 pourraient être encore plus importantes. A ce moment, l'analyse statistique serait éventuellement capable de mettre en évidence un effet de la variété sur la SNI. Comme aucune conclusion certaine n'a pu être retirée de cette analyse, l'étude statistique sera réalisée séparément pour les deux parcelles.

3. Etude de la variation de sensibilité entre bananiers

L'analyse statistique (AV3 semi-hierarchisée mixte) s'est donc réalisée séparément pour les parcelles Fromager et Patate 2. Dans les deux cas, l'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif des bananiers ($p = 0,000$ pour les parcelles) ainsi qu'un effet très hautement significatif pour Fromager ($p = 0,000$) et hautement significatif pour Patate 2 ($p = 0,004$) des blocs sur les SNI mesurées.

Les graphes ci-dessous illustre cette différence de SNI entre bananiers. Lors d'une même répétition, nous observons des SNI distinctes entre les dix bananiers sélectionnés. Ces différences entre bananiers seraient dues à des nombres de feuilles et de mains différents entre les plants sélectionnés. La croissance et le développement d'un bananier dépendent de l'intensité lumineuse captée par les feuilles, de la conversion du rayonnement en biomasse et de la répartition de la matière sèche entre les différents organes. Comme il a déjà été démontré dans plusieurs études (Demoulin, 2004; Anselmo, 2005; Bastiaanse, 2006), la sensibilité des fruits va varier selon ces paramètres. En effet, plus il aura de feuilles, source d'assimilas pour les fruits, plus ces derniers seront résistants aux pathogènes. Cependant, il semble que ce facteur ait une moindre importance par rapport au nombre de mains présentes sur le régime. Il a été montré que moins le régime compte de mains et moins les fruits sont sensibles à la maladie. L'explication de ces constations est une compétition pour les assimilas entre les différentes mains du régime. Plus il y a de mains, plus la compétition est importante et plus la quantité d'assimilas attribuée à chaque main est moindre. De là, il pourrait en découler une moindre quantité de métabolites secondaires, impliqués dans la résistance des fruits aux pathogènes. Plus la quantité d'assimilas reçue est importante et plus les fruits seront résistants. Cette hypothèse est d'autre part renforcée par des études dans lesquelles des déséquilibres d'alimentation du régime correspondant à des ablations de mains ou de feuilles avaient été pratiqués (Bastiaanse, 2006). Les résultats montraient que ces ablations influençaient à la fois le remplissage du fruit et le développement des nécroses. Il est par conséquent très probable que la teneur en certains métabolites soit responsable d'un certain niveau de sensibilité des fruits.

De plus, Anselmo (2005) avait déjà mis en évidence une différence de sensibilité des fruits au sein d'une même parcelle. La sensibilité à la maladie dépendrait de plusieurs facteurs, tels que la circonférence du pseudo-tronc à 1 m de hauteur, responsable de la grosseur des régimes; le nombre de feuilles vivantes, sources d'assimilas; la surface de la couronne et surtout le nombre de mains présentes sur le régime. Dans notre expérience, ces paramètres n'ont pas été pris en compte et pourraient donc être responsables de la variabilité entre les bananiers.

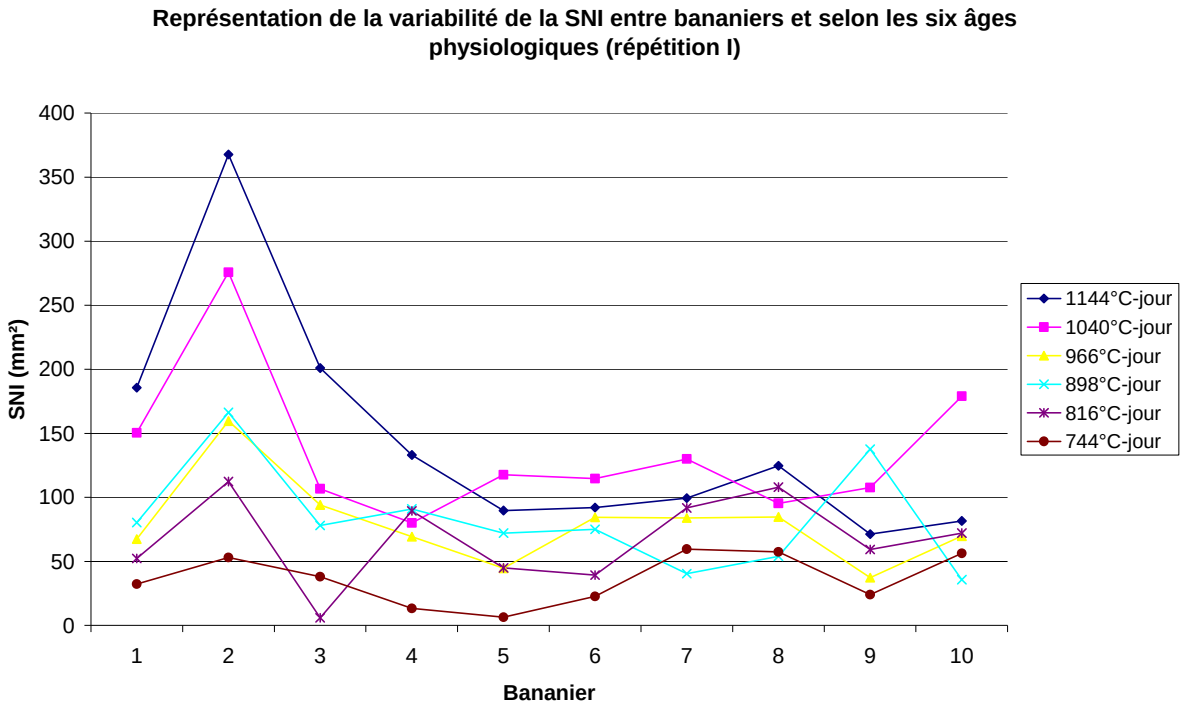


Figure 20 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la première répétition

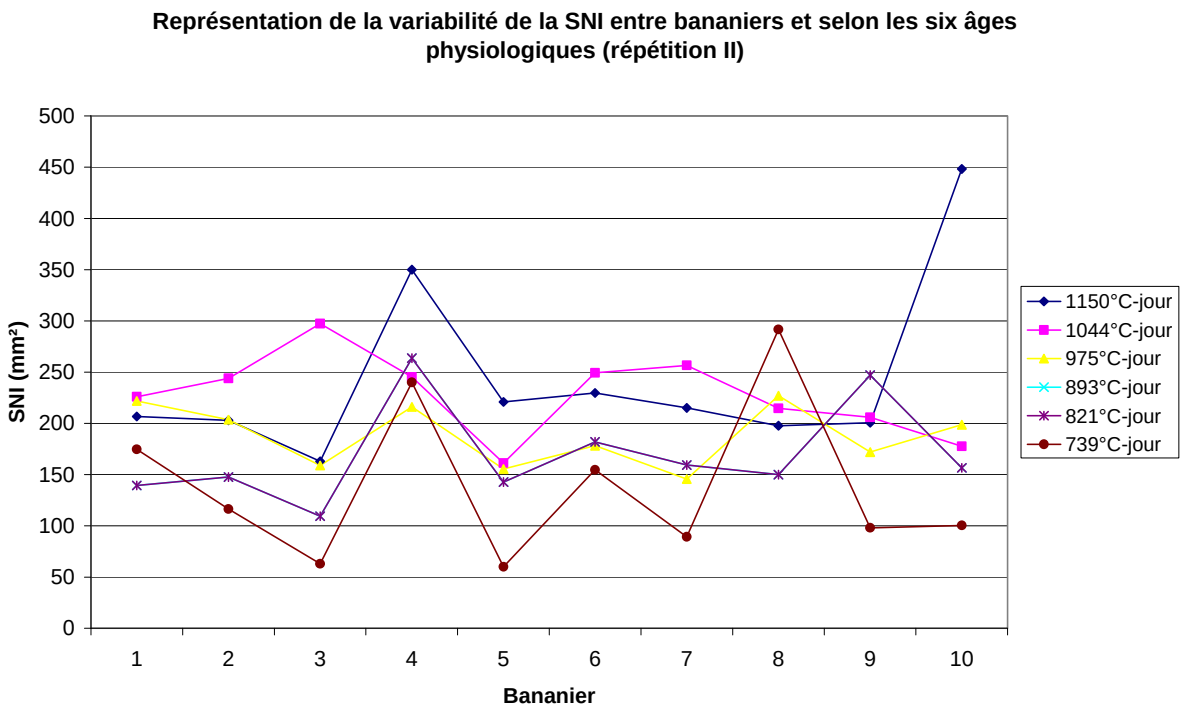


Figure 21 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la deuxième répétition

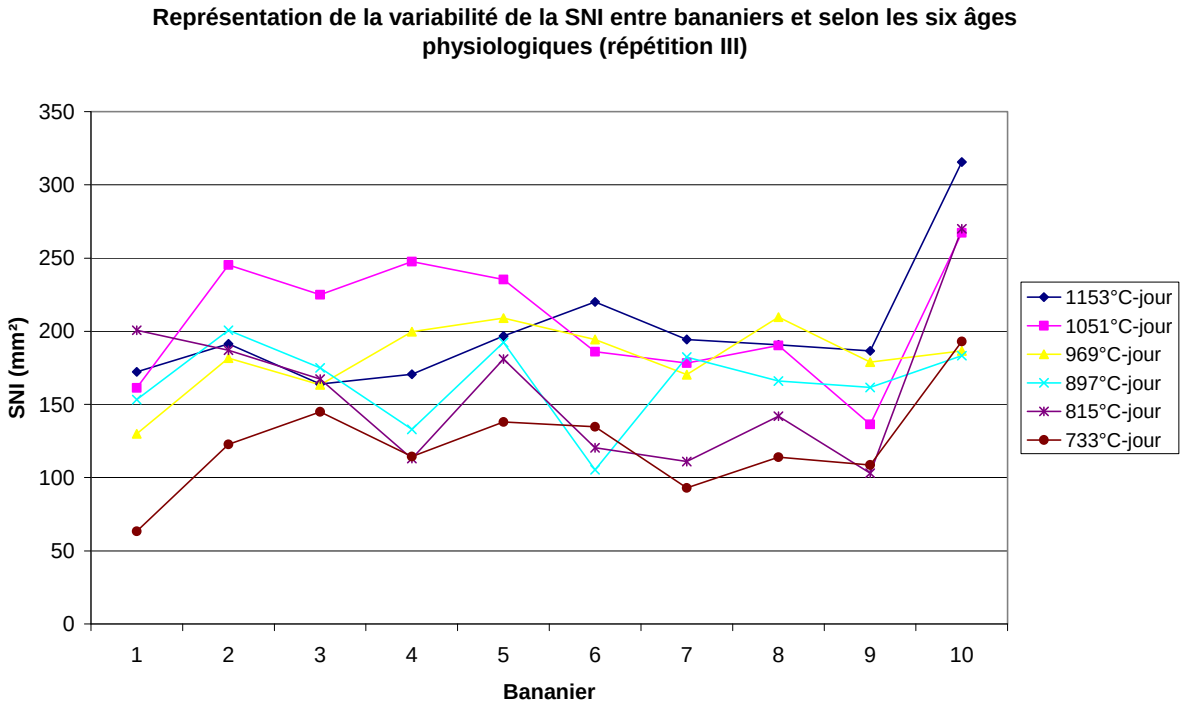


Figure 22 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la troisième répétition

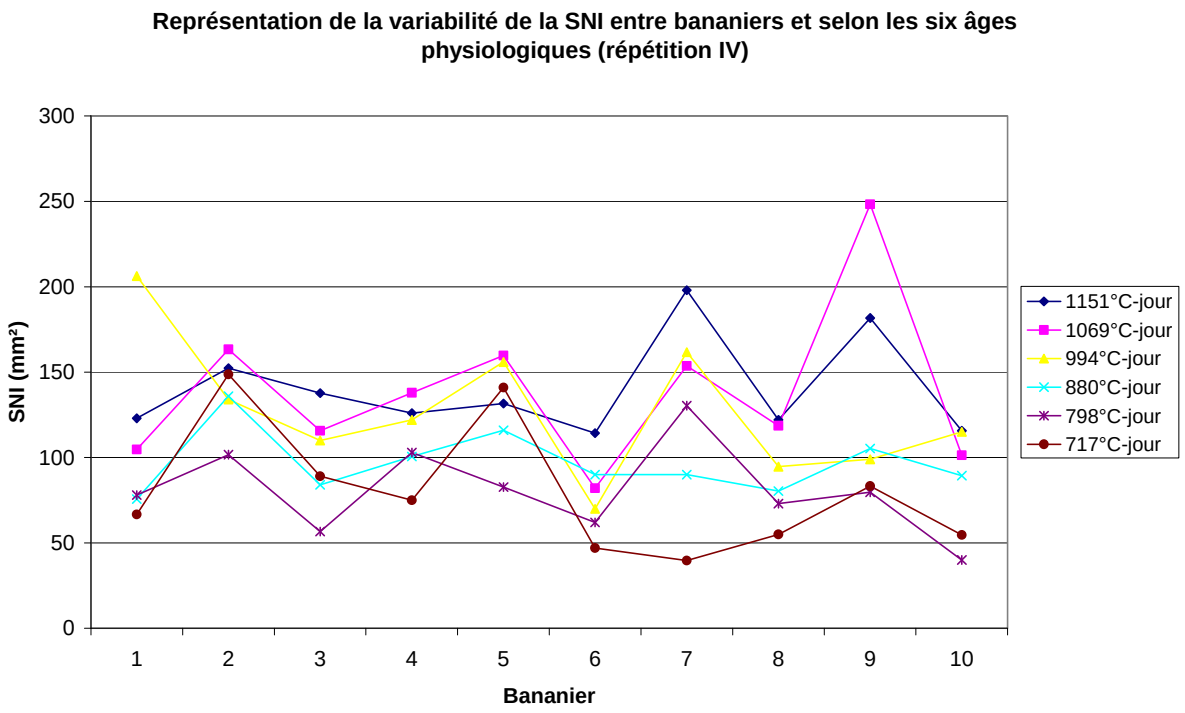


Figure 23 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la quatrième répétition

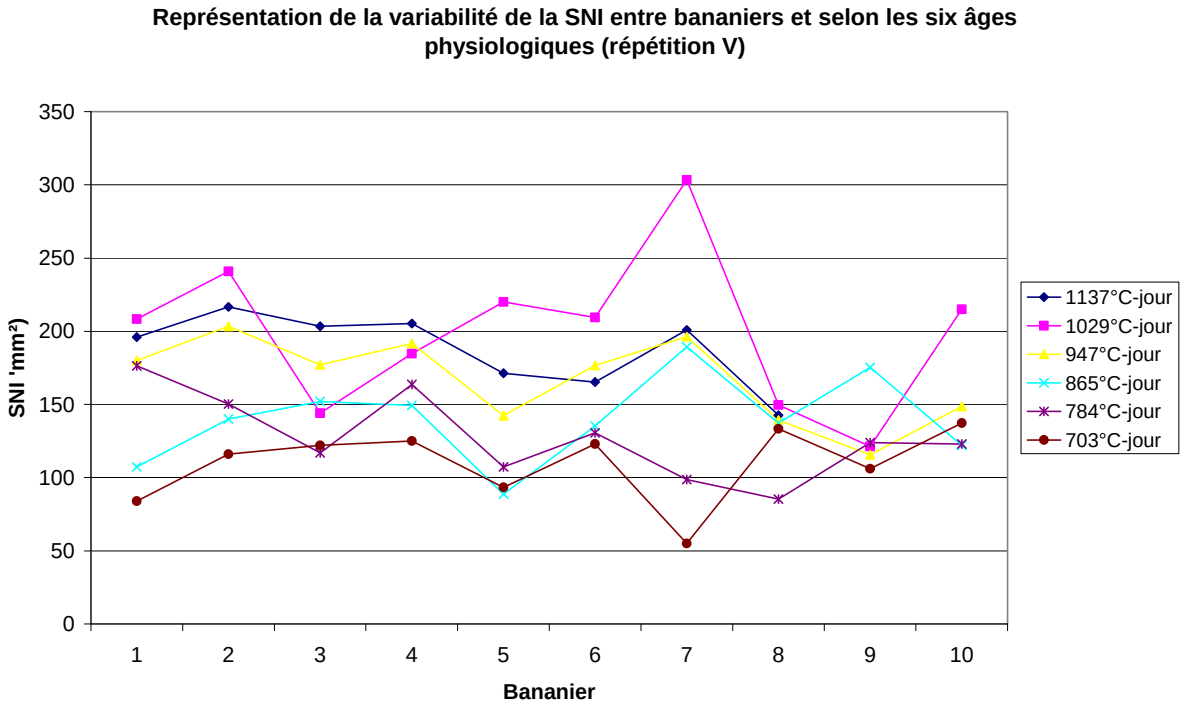


Figure 24 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la cinquième répétition

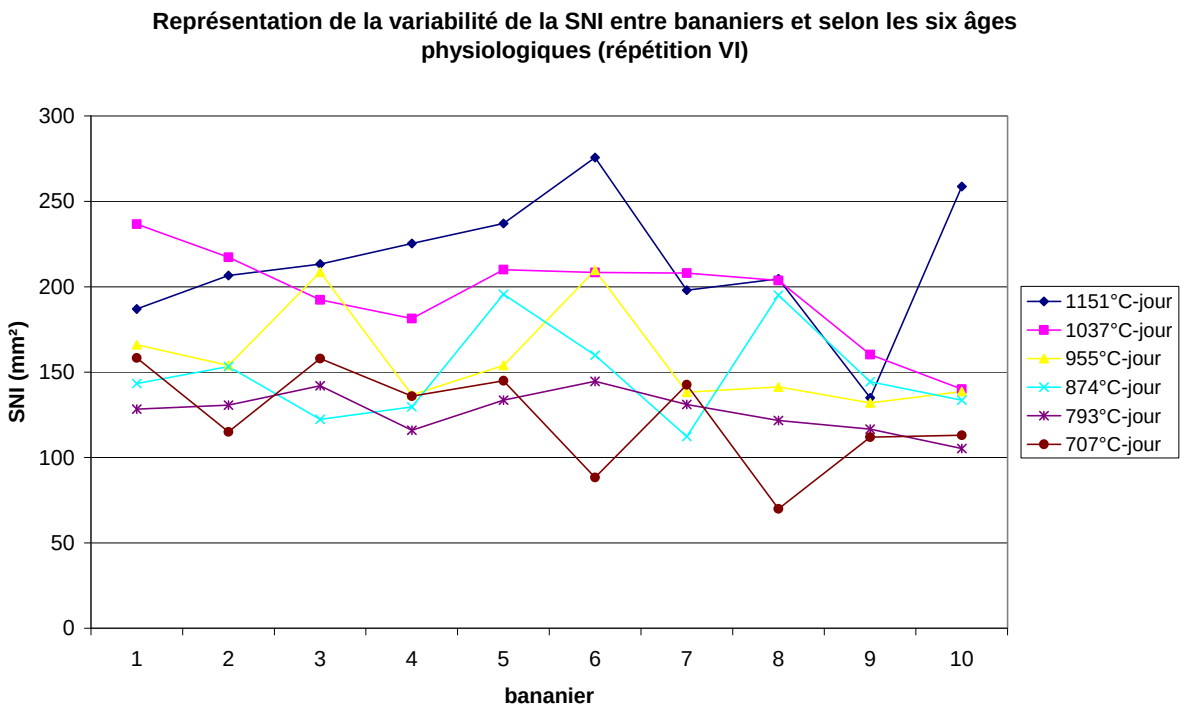


Figure 25 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la sixième répétition

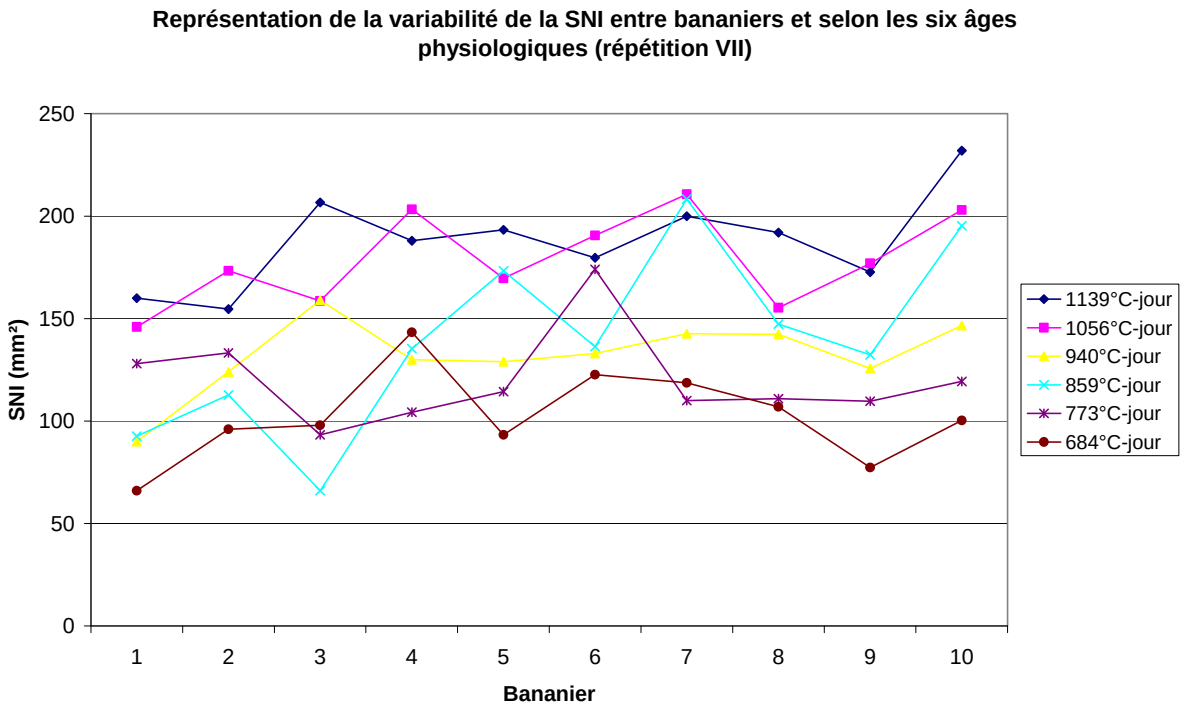


Figure 26 : Représentation de la SNI en fonction du bananier et de l'âge physiologique lors de la septième répétition

En outre, la variabilité qui a été mise en évidence entre les blocs peut s'expliquer par des conditions environnementales qui n'étaient pas exactement identiques au cours des mois de l'expérimentation. Comme l'avait déjà suggéré Anselmo (2005), certaines conditions climatiques pourraient avoir influencé l'efficacité de l'inoculation et de la colonisation du champignon en laboratoire. Ces conditions, comme expliquées plus haut, pourraient être la température et l'humidité du jour de l'inoculation.

Cependant, il était important de prendre en compte ces facteurs aléatoires afin de réduire l'erreur résiduelle servant de base de comparaison aux autres facteurs lors de l'analyse statistique. Les tests statistiques étaient ainsi renforcés.

4. Etude de la variation de sensibilité selon l'âge physiologique

Le dernier facteur analysé montrait un effet très hautement significatif ($p = 0,000$ pour les deux parcelles) des âges physiologiques sur la SNI. Les âges physiologiques utilisés pour l'analyse correspondaient aux moyennes des âges obtenus sur Fromager d'une part et sur Patate 2 d'autre part (voir tableau 5). L'âge physiologique des fruits influence donc le développement du champignon, visualisé par la mesure de la surface de nécrose interne. Afin de déterminer la nature de cette relation, une structuration des moyennes par la méthode des contrastes a été réalisée. Suite aux divers calculs, une corrélation linéaire ($R^2 = 0,9491$ pour Fromager et $R^2 = 0,9644$ pour Patate 2) entre les âges physiologiques et la SNI a été mise en évidence pour les deux parcelles. La sensibilité des fruits aux pourritures de couronne augmente avec leur âge. Sur Fromager, les bananes âgées en moyenne de 733°C-jour développent une SNI de 89,7 mm² environ, qui augmente pour atteindre 168 mm² à 1150°C-jour environ. Sur Patate 2, la nature de la relation est identique. Nous pouvons observer que la SNI est de 112 mm² pour un âge physiologique moyen de 698°C-jour et qu'elle croit vers une valeur de 195 mm² pour un âge de 1142°C-jour. Nous constatons de nouveau que les valeurs de SNI sont plus élevées sur Patate 2 que sur Fromager.

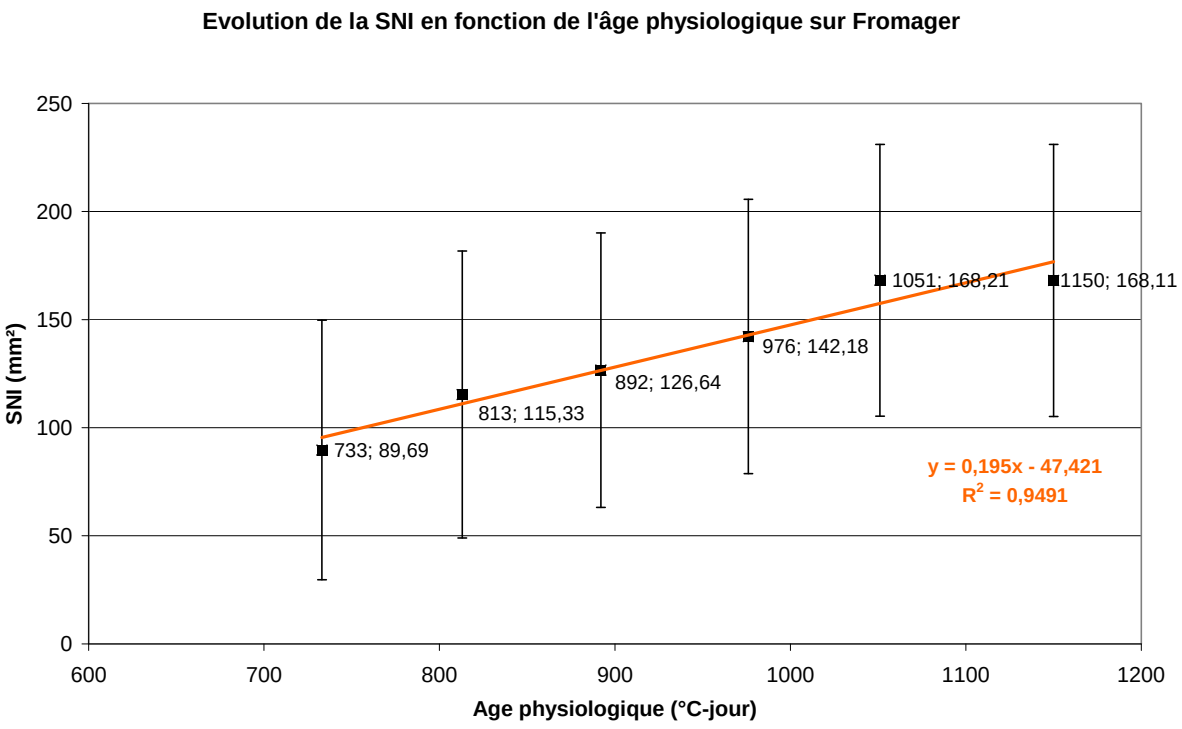


Figure 27 : Evolution de la SNI sur Fromager en fonction de l'âge physiologique

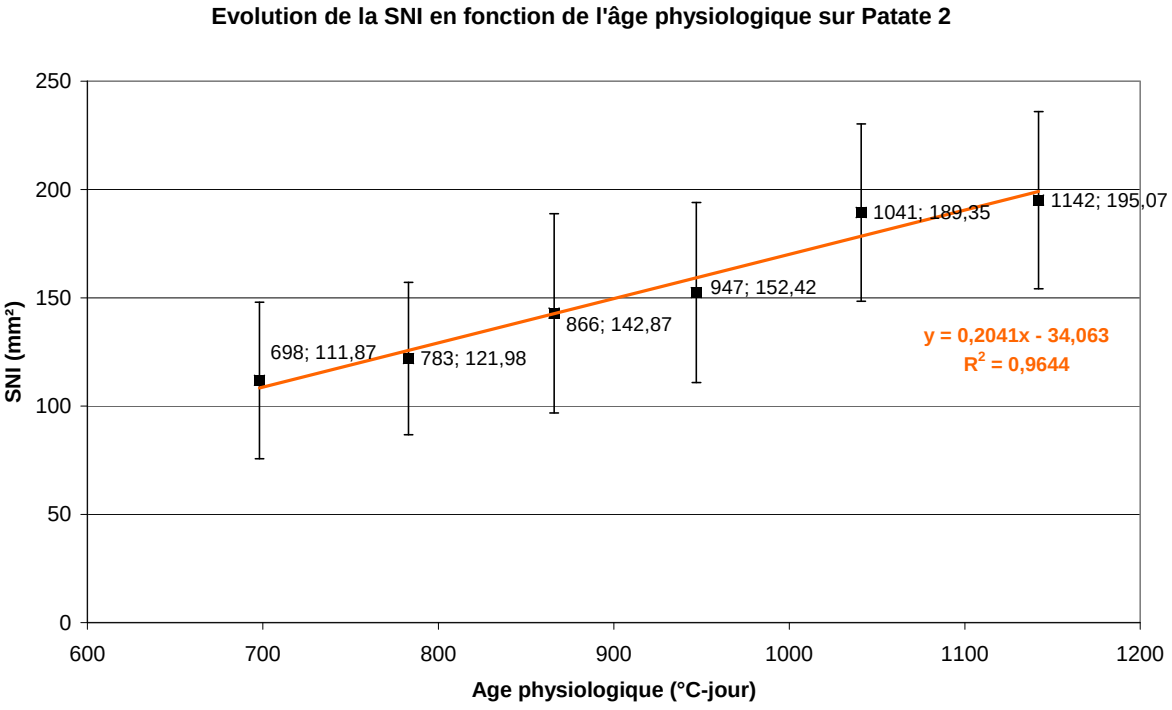


Figure 28 : Evolution de la SNI sur Patate 2 en fonction de l'âge physiologique

Via MINITAB, une ANCOVA a été réalisée afin de déterminer si les pentes des deux droites sont significativement différentes ou non, c'est-à-dire déterminer si l'augmentation de SNI sur Fromager se fait de la même manière que sur Patate 2. La p-value obtenue indique qu'il n'y a pas d'interaction entre le facteur parcelle et les âges physiologiques, considéré dans ce cas comme une valeur continue. Aucune différence significative n'a été mise en évidence et par conséquent, les deux modèles se comportent de la même manière. Pour une même augmentation en âge physiologique, la même augmentation en SNI sera observée pour les deux parcelles.

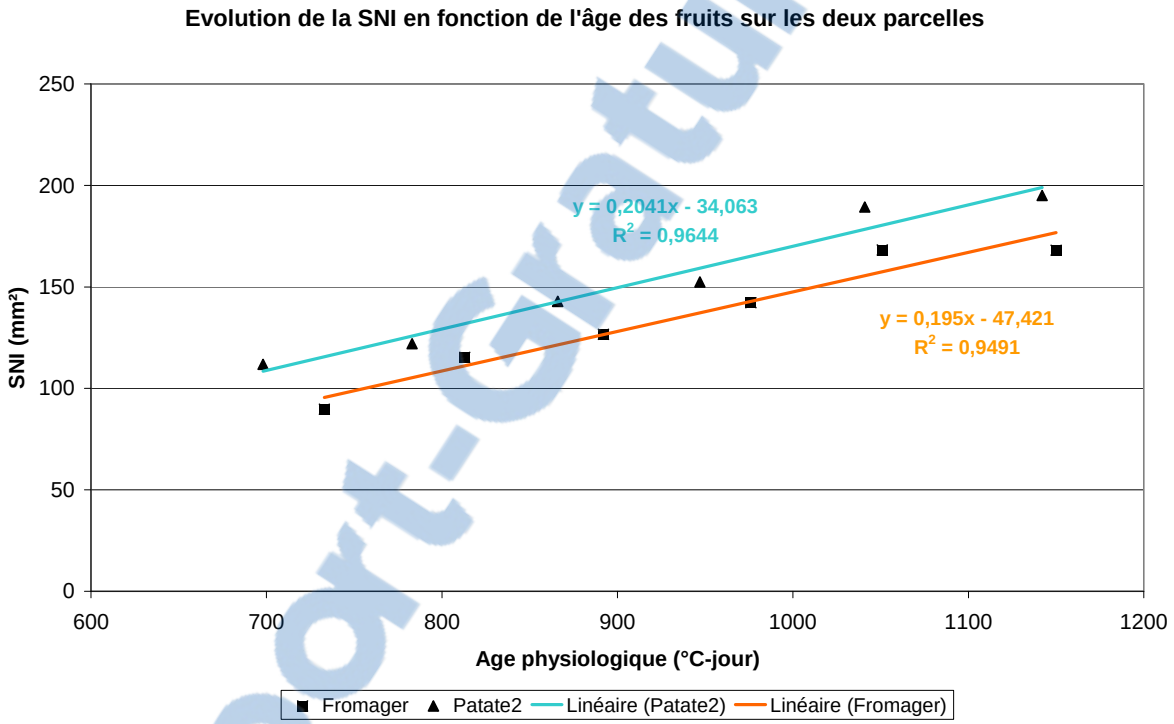


Figure 29 : Comparaison des deux modèles d'évolution de la SNI en fonction de l'âge

Rapport-Gratuit.com

Nous avons donc testé l'hypothèse qu'il existait une relation entre l'âge physiologique des fruits et leur sensibilité à *Colletotrichum musae*. Les résultats obtenus confirment que l'âge physiologique influence de manière importante leur sensibilité à *C. musae* dans le cas des pourritures de couronne et que cette sensibilité au pathogène augmente de manière linéaire avec l'âge du fruit. L'âge physiologique constitue donc un élément important de la composante physiologique définie par Chillet *et al.* (1996a) et qui participe elle-même à déterminer le potentiel de qualité du fruit. Des fruits d'âge différent ont une physiologie différente, toutes autres conditions restant inchangées. Cependant, l'âge physiologique n'est pas le seul facteur qui agit sur la sensibilité des fruits aux pathogènes. L'altitude, le taux d'accumulation des températures, les conditions pédologiques, des conditions anoxiques sont autant de facteurs intervenant dans la composante physiologique et influençant la capacité du fruit à résister aux attaques pathogènes.

Au sein d'un régime, Jullien *et al*. (2001) ont mis en évidence des différences morphologiques entre les fruits des différentes mains. Les fruits distaux, c'est-à-dire situés dans le bas du régime, sont 30 à 40% plus petits que les fruits du sommet. Cette observation s'explique par un retard de développement entre les mains basales initiées en premier et qui gardent leur avance par rapport aux mains distales. La division cellulaire cesse environ 350°C-jour après le stade dernière main horizontale. De plus, elle commence et s'arrête environ 70°C-jour plus tard pour les fruits distaux que pour les fruits basaux. Ces derniers possèdent donc un nombre de cellules plus élevé.

Dans notre expérience, nous avons également observé des différences morphologiques entre les fruits d'âge différent. Les fruits les plus vieux étaient plus lourds et plus grands que les fruits d'âge jeune. La différence de taille et de poids entre les fruits ne peut être liée à un retard de division entre eux puisque la division, s'arrêtant aux environs de 350°C-jour, est achevée pour les six stades physiologiques testés. De plus, il n'y a pas d'effet de la localisation des mains sur le régime vu que les mains récoltées sont toutes des secondes mains. Les différences morphologiques seraient donc liées à des temps de remplissage différents, les bananes les plus jeunes ayant eu moins de temps pour se remplir. En effet, de 70 à 350 °C-jour, le nombre de granules d'amidon continue d'augmenter. De 200 à 600°C-jour, l'amidon s'accumule et la longueur des granules augmente. A 600°C-jour, les cellules de la périphérie sont remplies. De 600 à 1030 °C-jour, les cellules plus jeunes continuent à se remplir et une homogénéisation du remplissage est observée. Les valeurs maximales en amidon et en matière sèche de la pulpe sont atteintes à 700°C-jour environ et restent constantes jusqu'à 1030 °C-jour (Jullien *et al*., 2001). Ensuite, ces valeurs diminueraient suite au processus de maturation (Barnell, 1940). Les différences morphologiques observées entre les bananes de 650 à 1150 °C-jour seraient donc liées à un temps de remplissage différent.

De plus, une expérience similaire à celle réalisée dans ce travail a été accomplie sur des fruits appartenant à différentes mains d'un même régime. Les SNI développées suite à une inoculation avec *C. musae* ont aussi été mesurées. Les résultats obtenus sont semblables aux

nôtres et mettaient en évidence une relation linéaire entre la localisation des mains sur le régime et leur SNI (communication personnelle). Cette relation pouvait s'expliquer par un retard de développement entre les fruits situés en haut du régime et ceux situés en bas, comme pour les différences morphologiques expliquées au paragraphe précédent. Cette différence de développement a été développée par Jullien *et al.* (2001) et mettait en évidence une compétition pour les éléments nutritifs entre les mains basales et les mains distales. Une fois que les mains distales initient leur division cellulaire, l'ensemble des assimilats doit être partagé entre chaque main du régime et une compétition pour les éléments nutritifs s'opère alors. Du fait que les mains basales ont commencé leur division et leur remplissage les premières, celles-ci atteignent un âge physiologique plus avancé par rapport aux mains distales. Comme nous l'avons observé dans notre essai, les fruits les plus âgés sont aussi les plus sensibles. Le même comportement entre les deux essais est donc observé.

Comme l'a suggéré Bastiaanse (2006), des différences de remplissage, associées dans son étude à diverses ablations de feuilles et de mains, seraient associées à des différences de sensibilité. Une hypothèse serait que la teneur en certains métabolites, dépendant de l'importance du remplissage, serait responsable d'un certain niveau de résistance des fruits aux pathogènes.

Chillet *et al.* (2007) ont aussi étudié l'effet de l'âge physiologique sur la sensibilité des bananes à la maladie de l'anthracnose de blessure. Ils ont observé qu'il existait également une relation entre l'âge physiologique des fruits et leur sensibilité à la maladie. Etant donné l'équivalence du pathogène, le même comportement pour les deux maladies aurait pu être observé. En effet, il existe bien, dans les deux cas, une relation liant l'âge du fruit à sa sensibilité. Cependant, la nature de la relation est différente: elle est exponentielle dans le cas de l'anthracnose alors qu'elle est linéaire pour la pourriture de couronne. L'hypothèse avancée par les auteurs est que des composés fongitoxiques seraient impliqués dans la résistance des fruits au champignon.

Les pathogènes, avant d'être capables d'initier la maladie, sont confrontés à des barrières mécaniques et/ou chimiques qu'ils doivent surpasser. La sensibilité plus grande des fruits les plus âgés pourrait s'expliquer en partie par leur moindre fermeté. Au environ de 1030°C-jour, les processus de maturité se mettent en route (Barnell, 1940). Divers changements biochimiques et/ou histologiques se mettent alors en place. La pectine va progressivement commencer à se dégrader, détériorant la structure des cellules, et les fruits vont devenir moins fermes. Cette diminution de fermeté permettrait aux pathogènes de pénétrer vers les couches internes du fruit. Une fois que le champignon a pénétré, il peut alors entrer en contact avec des molécules de défense du fruit.

Le fait que les fruits de 1150°C-jour soient plus sensibles que ceux de 650°C-jour suggère que leur composition soit différente. D'une part, le champignon pourrait être soumis à

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

des composés de défense naturelle des fruits et, d'autre part, les fruits d'âge distinct pourraient constituer des sources de nutriments plus ou moins importantes pour le pathogène.

Ainsi, un certain mécanisme de résistance pourrait être à l'origine des différences observées entre les fruits jeunes et âgés, et notamment à la présence de composés fongitoxiques qui pourraient se transformer ou se dégrader avec la maturation. Plusieurs auteurs ont mis en évidence la présence de composés de défense au sein des fruits (Prusky *et al*., 1993; Chillet *et al*., 2006c). La composition des fruits en ces composés pourrait, dans notre cas, être responsable de la résistance des fruits plus jeunes aux pathogènes par rapport aux plus vieux fruits, toutes autres conditions environnementales et culturales restant identiques. Plusieurs auteurs avaient déjà montré des variations de la composition en composés phénoliques en fonction de divers facteurs (température, conditions pédologiques, changements saisonniers, stress,…). Cependant, dans notre expérience, tous ces facteurs étaient semblables et ne pouvaient être responsables d'un changement de concentration entre les âges physiologiques testés.

Une étude a montré que les bananes vertes produisent des composés antifongiques suite à une infection par *C. musae*. Des phytoalexines présentes dans les fruits de *M. acuminata* ont été étudiées par Kamo *et al.* (1998). Une analyse quantitative a montré que ces molécules ne sont pas détectées lorsque le fruit est sain alors qu'elles sont décelées une fois que le fruit est blessé et inoculé avec le champignon. Des dérivés de phenylphenalenone ont été isolés. Les composés isolés de fruits blessés et inoculés étaient entre autre le 2-(4'-hydroxyphenyl)-1,8-naphthalic anhydride, l'irénolone et l'hydroxyanigorufone (Kamo *et al.*, 2001). Ces composés constituent un mécanisme de défense et permettent de garder le champignon à l'état quiescent.

Brat *et al*. (2004) ont mis en évidence des variations importantes dans la concentration en composés volatils retrouvés dans la banane au cours de son mûrissement. Par exemple, la concentration de la plupart des esters augmente énormément au cours du mûrissement. Ils seraient responsables de l'arôme du fruit. Ils ont observé la même conclusion en ce qui concerne les alcools. Le pentan-2-one est un des composés volatils important de la banane et responsable de ce goût typique à une concentration inférieure à 50 ppm. Par contre, d'autres groupes de composés tels que les aldéhydes, les hexanals voient leur concentration diminuer au cours du mûrissement. De plus, les auteurs ont observé que la composition en composés volatils changeait aussi selon l'altitude et selon le cultivar.

De plus, les phénols sont des composés secondaires impliqués dans de nombreux aspects ayant trait à la qualité post-récolte des bananes. Ceux-ci jouent un rôle dans le goût des fruits, dans leur résistance contre des pathogènes et dans la qualité nutritionnelle des fruits (activité antioxydante). Chillet *et al*. (2006c) ont montré que le contenu en polyphenols était plus important dans la pelure que dans la pulpe. De plus, ils ont analysé la teneur en polyphénols totaux pour quatre âges physiologiques différents, allant de 650 à 950 °C.jour. Aucune différence significative ne semble avoir été mise en évidence. Cependant, une étude

plus poussée distinguant les différents composés pourrait permettre de déterminer des variations de concentration en ces divers constituants.

En outre, parmi les composés ayant été reconnus comme jouant un rôle dans la résistance à *C. musae*, les produits d'oxydation de la dopamine, produits par l'action de la tyrosinase sur la dopamine, ont été cités par Muirhead & Deverall (1984). Prusky & Keen (1993) sont en accord avec le fait que la résistance naturelle aux pathogènes serait due à un certain niveau de composés antifongiques préformés présent dans le fruit. Il est difficile d'étudier leur rôle car les quantités de composés entrant en contact avec les pathogènes envahisseurs sont difficiles à évaluer. De plus, il est difficile de relier leur variation de concentration à leur activité antifongique. Enfin, ces composés ne sont pas toujours présents dans tout le fruit. Dans la mangue, des composés antifongiques ont été retrouvés à des concentrations fongitoxiques dans la pelure mais à des concentrations subfongitoxiques dans la pulpe des fruits verts. Suite à la maturation des fruits, certains composés voient leur concentration diminuer. Par exemple, des resorcinols ont été retrouvés dans la mangue verte à des concentrations de 154 à 232 µg/ml de poids frais mais diminuant vers des valeurs de 74 à 125 µg/ml lorsque le fruit devient mûr et que la pourriture se développe (Prusky & Keen, 1993). Ces composés agiraient sur l'hyphe subcuticulaire. De tels composés ont aussi été retrouvés chez l'avocat. Il s'agit dans ce cas d'un diène qui, *in vitro*, inhibe l'élongation du tube germinatif. Ici aussi, la concentration diminue jusqu'à dix fois lorsque le fruit mûrit (Prusky & Keen, 1993).

Ensuite, des variations de concentration en composés antifongiques peuvent être affectées par des éliciteurs biotiques ou abiotiques, notamment l'éthylène et la température. Chez l'avocat, l'éthylène augmente le niveau de diène antifongique dans le fruit. Quand le mésocarpe et le péricarpe sont traités séparément à l'éthylène, seul le mésocarpe voit son niveau de diène augmenter. Ces diènes seraient compartimentés dans des idioblastes localisés dans le mésocarpe. Les auteurs ont suggéré que le diène était synthétisé dans les idioblastes du mésocarpe et ensuite exporté vers le péricarpe. Cette observation est dépendante de la température. Plus la température était élevée (35°C), plus le niveau de diène était important (multiplié par deux en comparaison à une température de 20°C) (Leikin-Frenkel & Prusky, 1998).

Les éléments minéraux jouent également un rôle dans la résistance des fruits face à divers pathogènes. La composition minérale des fruits va dépendre de la capacité photosynthétique de la plante et de l'absorption des minéraux par les racines. De manière générale, le Ca augmente la qualité du fruit, le Mg augmente le rendement qualitatif et quantitatif, le Mn et Zn améliorent le remplissage et la formation du régime (Huguet, 1983). Le Mn et le Ca interviennent dans la résistance des fruits à *Colletotrichum musae* (Chillet *et al*, 2000). Les fruits contenant le plus de Mn sont aussi les plus sensibles à l'anthracnose, contrairement à ceux où la teneur en Ca est plus importante et qui sont les plus résistants. Cela avait déjà été mis en évidence par Conway (1989) sur pomme. Ainsi, des fruits déficients en

calcium sont souvent plus affaiblis et plus sensibles aux pathogènes. Cependant, le Ca ne semble pas être le seul composé impliqué dans la résistance car, même dans des fruits à haute teneur en Ca, ceux-ci n'étaient pas particulièrement résistants.

Emaga *et al.* (2007) ont aussi étudié la composition chimique des bananes en fonction de l'état de maturation. Les stades de maturation étaient vert, plus jaune que vert et jaune avec des taches de sénescence. Plusieurs changements dans la composition ont été observés. En ce qui concerne les minéraux, le K, P, Mg, Ca sont présents en grande quantité alors que le Fe, le Zn, Mn et le Cu sont présents en faible quantité. Lors de la maturation, peu de changements sont observés. Seule une augmentation plus importante du K est mise en évidence. La concentration en Ca à tendance à diminuer pour la plupart des variétés testées alors que le Mn a tendance à augmenter.

Enfin, les bananes constituent une ressource nutritive pour le champignon. A âge physiologique plus avancé, divers changements biochimiques peuvent avoir lieu. Certains composés voient leur concentration se modifier et certaines molécules se transforment. Par exemple, la matière sèche augmente dans la peau mais diminue dans la pulpe. Le contenu en protéines et en graisses augmente légèrement. La concentration en amidon va diminuer au contraire de la concentration en fructose et en glucose qui augmente (Emaga *et al*. 2007). Ainsi, au cours de la maturation, la quantité de composés nutritionnels augmente et pourrait permettre au champignon de se développer plus rapidement, et notamment de stopper la quiescence de *C. musae*.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Par sa forte incidence économique en l'absence de traitement fongicide, la maladie post-récolte des pourritures de couronne constitue un objet d'étude important. Afin de diminuer l'utilisation des pesticides, il devient primordial d'étudier et de comprendre les relations hôte/pathogène. Divers éléments de réponse ont déjà été élucidés, tels que le comportement du fruit face aux pathogènes lorsque le ratio sources/puits est modifié ou encore les différences physiologiques existant entre les mains d'un même régime.

De plus, une notion de potentiel de qualité du fruit, au niveau commercial, a été déterminé et est constitué partiellement d'une composante physiologique et parasitaire. C'est en définissant l'importance relative de chaque composante qu'il est alors possible de déterminer le potentiel de qualité.

Notre travail portait sur la composante physiologique du potentiel de qualité. Dans un premier temps, des différences de SNI entre deux variétés utilisées dans ce travail ont été mises en évidence. Ces différences pourraient être dues à la variété elle-même. Cependant, les conditions expérimentales n'étaient pas exactement identiques et une influence des conditions environnementales n'est pas à exclure. De plus, les âges physiologiques obtenus sur les deux parcelles n'étaient pas non plus identiques, ce qui pourrait aussi contribuer aux différences de SNI obtenues entre les fruits des deux parcelles. Afin d'élucider le fait qu'il pourrait exister des différences variétales de sensibilité à la maladie, il serait intéressant de mener une étude plus contrôlée afin de vérifier les observations décrites.

Ensuite, des variations de sensibilité entre les bananiers ont été observées. Les raisons citées sont un nombre de feuilles et de mains variable d'un bananier à l'autre. En effet, les feuilles constituent les sources d'assimilas pour les fruits et plus elles sont nombreuses, plus la quantité d'assimilas produite est importante. De même, pour un certain nombre de feuilles, moins il y aura de mains sur le régime et moins la compétition pour les assimilas sera importante. La quantité d'assimilas attribuée à chaque main sera alors plus élevée. Ces assimilas contribuerait à la production de métabolites secondaires, responsables d'un certain niveau de résistance des bananes à la maladie.

De plus, les résultats obtenus ont démontré l'existence d'une relation existant entre l'âge physiologique du fruit, mesuré en somme de températures accumulées au seuil de 14°C, et leur sensibilité à la maladie post-récolte des pourritures de couronne. La maladie a été simulée suite à une inoculation des couronnes avec le champignon *Colletotrichum musae*. Il a été mis en évidence que la sensibilité des fruits évolue de façon linéaire avec l'âge physiologique des bananes. Des différences morphologiques et physiologiques ont été observées entre fruits d'âges distincts. Cependant, les mécanismes impliqués dans ces différences physiologiques n'ont pas été élucidés. Il serait donc intéressant de réaliser une étude sur les concentrations en composés fongitoxiques retrouvées dans les fruits.

De plus, des études claires, concernant la concentration en composés antifongiques selon l'âge physiologique des fruits, n'ont pas été effectuées de manière détaillée. Il serait donc important d'étudier cet aspect du problème afin de renforcer l'hypothèse émise qu'en à une modification du profil en composés antifongiques selon l'âge physiologique des fruits. Souvent les études réalisées sur ce sujet ont mis en évidence un changement du profil en composés à partir d'un âge physiologique assez avancé. Une expérience devrait être conduite sur des bananes de différents âges physiologiques, allant de 650 à 1150°C-jour par exemple. Il serait alors intéressant de relier la composition chimique en composés fongitoxiques avec la surface de nécrose interne moyenne mesurée au cours de ce travail.

Enfin, ce travail a permis de rappeler toute l'importance d'une récolte effectuée lorsque les fruits sont jeunes. Plus les fruits ont atteint un stade de maturité avancé à la récolte et plus ils seront sensibles aux pourritures de couronne. Il faut donc trouver un compromis entre un fruit ayant le grade demandé par les réglementations et un âge physiologique qui diminue les risques de développement de maladies. De plus, leur durée de vie verte sera d'autant plus longue que les fruits seront récoltés jeunes. Ensuite, pour un même âge physiologique, les diamètres des fruits peuvent être différents. Une récolte selon le grade oblige parfois à récolter des fruits d'âge physiologique plus avancé et donc plus vieux et par conséquent plus sensibles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdelsaater MA. & Nawwar MA. (1986). 3,4-dimethoxybenzaldehyde, a fungistatic substance in peel of green banana fruits in relation to resistance at different degrees of maturity. *HortScience* **21**, 812.

Abeles FB., Morgan PW. & Salveit Jr. ME. (1992). *Ethylene in Plant Biology*. Academic Press, New York, 414p.

Akamine EK. & Moy JH. (1983). Delay in postharvest ripening and senescence of fruits. *In :* Josephson ES. & Peterson MS. eds. *Preservation of Food by Ionising Radiation*. CRC Press, Boca Raton, Foride, 129-158.

Al Zaemey AB., Magan N. & Thompson AK. (1993). Studies on the effect of fruit-coating polymers and organic acids on growth of *Colletotrichum musae* in vitro and post harvest control of anthracnose of bananas. *Mycological Research* **97** (12), 1463-1468.

Anselmo E. (2005). *Contribution au développement d'une méthode de lutte biologique contre la maladie des pourritures de couronne de la banane et analyse des variations de sensibilité des bananes à cette maladie dans les conditions du Cameroun.* Travail de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Bioingénieur orientation défense des végétaux : FUSAGx, 83p.

Anthony S., Abeywickrama K., Dayananda R., Wijeratnam SW. & Arambewela L. (2004). Fungal pathogens associated with banana fruit in Sri Lanka, and their treatment with essential oils. *Mycopathologia* **157**, 91-97.

Ardi R., Koliber I., Jacoby B., Keen NT. & Prusky D. (1998). Involvement of epicatechin biosynthesis in the activation of the mecanism of resistance of avocado fruit to *Colletotrichum gloeosporioides*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **53**, 269-285.

Bakry F., Carreel F., Caruana ML., Côte FX., Jenny C. & Tézenas du Montcel H. (1997). Les bananiers. *In* : Charrier A., Jacquot M., Hamon S. & Nicolas D. eds. *L'amélioration des plantes tropicales*. France, Montpellier : CIRAD et ORSTOM, 109-139.

Bastiaanse H. (2006). *Contribution au développement d'une méthode de lutte biologique et analyse des variations de sensibilité de la banane d'exportation du Cameroun à la maladie des pourritures de couronne*. Travail de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de Bioingénieur en Défense des végétaux : FUSAGx, 96p.

Barnell H. (1940). Studies in tropical fruits. VIII. Carbohydrate metabolism of the banana fruit during development. *Annals of Botany* **5**, 39-71.

Bedimo JM., Chillet M., Jullien A. & de Lapeyre de Bellaire L. (2003). Le gainage précoce des régimes de bananes améliore la croissance des fruits et leur état sanitaire vis-à-vis de l'anthracnose (*Colletotrichum musae*). *Fruits* **58** (2), 71-81.

Bienvenue à la ferme. *Chambres d'agriculture guadeloupe*. [en ligne]. Disponible sur le World Wide Web, http://www.bienvenue-a-la-ferme.com/guadeloupe/Chambres_d_agriculture/page.htm?IDINFO=2602, (7/05/08).

Rapport-Gratuit.com

Brat P., Yahia A., Chillet M., Bugaud C., Bakry F., Reynes M. & Brillouet JM. (2004). Influence of cultivar, growth altitude and maturity stage on banana volatile compound composition. *Fruits* **59**, 75-82.

Brown AE. & SwinburneTR. (1980). The resistance of immature banana fruits to anthracnose (*Colletotrichum musae*(berk and Curt) Arx). *Journal of Phytopathology* **99**, 70-80.

Bugaud C. & Lassoudière A. (2005). Variabilité de la durée de vie verte des bananes en conditions réelles de production. *Fruits* **60**, 227-236.

Burden OJ. (1968). Reduction of banana anthracnose following hot-water treatment of the green fruit. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Sciences* **25**, 135-144.

Burditt AR. (1994). Irradiation. *In :* Sharp JL. & Hallman GJ. eds. *Quarantine Treatments for Pests of Food Plants*. San Franscico : Westfield Press, 101-117.

Chillet M. & de Lapeyre de Bellaire L. (1996a). Élaboration de la qualité des bananes au champ, détermination de critère de mesure. *Fruits* **51**, 317-326.

Chillet M., de Lapeyre de Bellaire L. (1996b). Conditionnement en polybag pour le contrôle de l'anthracnose de blessure des bananes. *Fruits* **51 (3)**, p.163-172.

Chillet M. & de Lapeyre de Bellaire L. (2002). Variability in the production of wound ethylene in bananas from the French West Indies. *Scientia Horticulturae* **96**, 127-137.

Chillet M., de Lapeyre de Bellaire L., Dorel M., Joas J., Dubois C., Marchal J. & Perrier X. (2000). Evidence for the variation in susceptibility of bananas to wound anthracnose due to *Colletotrichum musae* and the influence of edaphic conditions. *Scientia Horticulturae* **86**, 33-47.

Chillet M., Hubert O. & de Lapeyre de Bellaire L. (2006a). Relationship between ripening and the development of banana anthracnose caused by *Colletotrichum musae* (Berk. And Curt.) Arx. *Journal of Phytopathology* **154**, 143-147.

Chillet M., Hubert O. & de Lapeyre de Bellaire L. (2007). Relationship between physiological age, ripening and susceptibility of banana to wound anthracnose. *Crop Protection* **26**, 1078-1082.

Chillet M., Hubert O., Rives MJ. & de Lapeyre de Bellaire L. (2006b). Effects of the physiological age of bananas on their susceptibility to wound anthracnose due to *Colletotrichum musae*. *Plant Disease* **90**, 1181-1185.

Chillet M., Molia F., Hubert O. & Bercion S. (2006c). Variation of total polyphenols contained in bananas cultivated in different pedo-climatic conditions. *In* : Daayf F., El Hadrami A., Adam L. & Ballance GM. eds. *Proceedings of the XXIII International Conference on Polyphenols*. Canada : Winnipeg, 323-324.

Codex Alimentarius. (1997). *Norme Codex pour les bananas* (CODEX STAN 205-1997, AMD, 1-2005). [en ligne]. Disponible sur le World Wide Web, http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do?lang=fr, (15/03/08).

Conway WS. (1989). Altering nutritionnal factors after harvest to enhance resistance to postharvest disease. *Phytopathology* **79**, 1384-1387.

Craenen K. (1998). *Black Sigatoka Disease of Banana and Plantain*. Nigéria, Ibadan : International Institute of Tropical Agriculture, 60p.

Dadzie BK. & Orchard JE. (1997). Evaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bananiers plantain: critères et méthodes. Guides techniques, INIBAP, 77p.

Daniells J., Pegg K., Searle C., Smith M., Whiley T., Langdon P., Bryde N. & O'Hare T. (1995). Goldfinger en Australie: une variété de bananier dotée d'un bon potentiel. *Infomusa* **4** (1), 5-6.

Daniells JW., Lisle AT. & Bryde NJ. (1994). Effect of bunch trimming and leaf removal at flowering on maturity bronzing, yield, and other aspects of fruit quality of bananas in North Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **34**, 259-265.

Daundasekera M., Joyce DC., Aked J. & Adikaram NK. (2003). Ethylene production by *Colletotrichum musae* in vitro. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **62,** 21-28.

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.

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

de Lapeyre de Bellaire L. & Nolin J. (1994). Amélioration du contrôle du chancre sur les bananes d'exportation et traitements post-récolte. *Fruits* **49**, 179-185.

de Lapeyre de Bellaire L. & Dubois C. (1997). Distribution of Thiabendazole-Resistant *Colletotrichum musae* Isolates from Guadeloupe Banana Plantations. *Plant Disease* **81**, 1378-1383.

Demoulin G. (2004). *Etude des facteurs influençant le développement des pourritures de la couronne sur bananes export du Cameroun et contribution à la mise au point d'un moyen de lutte alternatif.* Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du grade de Bioingénieur : FUSAGx, 78p.

Deullin R. (1966). Tests de maturité de la banane à la récolte. *Fruits* **21**, 186-188.

Emaga TH., Andrianaivo RH., Wathelet B., Tchango JT. & Paquot M. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chemistry* **103**, 590-600.

Fajac F. (1997). Le commerce international de la banane. *Fruits* **52** (4), 197-202.

FAO. (2003). *Economie mondiale entre 1985 et 2002*. [en ligne]. Disponible sur le World Wide Web, http://www.fao.org/docrep/007/y5102f/y5102f00.htm, (25/02/08).

FAO. (2005). FAOSTAT statistics database agriculture. Roma: FAO.

FAO. (2006). FAOSTAT statistics database agriculture. Roma: FAO.

Finlay AR. & Brown AE. (1993). The relative importance of *Colletotrichum musae* as a crown-rot pathogen on Windward Island bananas. *Plant Pathology* **42**, 67-74.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Finlay AR., Lubin C. & Brown AE. (1992). The banana stalk as a source of inoculum of fungal pathogens which cause crown rot. *Tropical Science* **32** (4), 343-352.

Fitzell RD. & Peak CM. (1984). The epidemiology of anthracnose disease of mango: inoculum sources, spore production and dispersal. *Annals of Applied Biology* **104**, 53-59.

Flaishman M. & Kolattukudy P. (1994). Timing of fungal invasion using host's ripening hormone as a signal. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **97**, 6579-6583.

Frison E. & Sharrock S. (1998). The economic, social and nutritional importance of banana in the world. *In* : Picq C., Fouré E., Frison EA. eds. *Bananas and food security, International symposium.* Cameroun,Douala, 21-35.

Ganry J. (1978). Recherche d'une méthode d'estimation de la date de récolte du bananier à partir de données climatiques dans les conditions des Antilles. *Fruits* **33** (10), 669-680.

Gowen S. (1995). *Bananas and plantains*. UK : Chapman and hall.

Greene GL. & Goos RD. (1963). Fungi associated with crown rot of boxed bananas. *Phytopathology* **53**, 271-275.

Griffee PJ. (1976). Pathogenicity of some fungi isolated from diseased crown of banana hands. *Journal of Phytopathology* **85**, 206-216.

Griffee PJ. & Burden OJ. (1974). Incidence and control of *Colletotrichum musae* on bananas in the Windward Islands. *Annals of Applied Biology* **77**, 11-16.

Griffee PJ. & Burden OJ. (1976). Fungi asociated with crown rot of boxed bananas in the Windward Islands. *Journal of Phytopathology* **85**, 149-158.

Griffee PJ. & Pinegar JA. (1974). Fungicides for control of the crown rot complex: *in vivo* and *in vitro* studies. *Tropical Science* **16**, 107-120.

Gross J., Carmon, M., Lifshitz A. & Costes C. (1976). Carotenoids of banana pulp, peel and leaves. *Food Science and Technology* **9**, 211–214.

Hostachy B., Vegh I., Leroux P., Jacquemot E., Foucher S. & Pigou R. (1990). Bananes de la Martinique. Incidence des problèmes fongiques sur la qualité. *Phytoma* **420**, 37-44.

Huguet C. (1983). Relations entre la nutrition de l'arbre et les maladies physiologiques ou de conservation des fruits. *Fruits*. **38,** 781-787.

Jackson MB. (1985). Ethylene and responses of plants to soil waterlogging and submergence. *Annual Review of Plant Physiology* **36**, 145-174.

Joas J. (1987). Quelques observations à propos du circuit de distribution de la banane antillaise (cv. Cavendish) et des principaux facteurs définissant la qualité du fruit. *Fruits* **42**, 493-504.

Johanson A. & Blasquez B. (1992). Fungi associated with banana crown rot on field-packed fruit from Windward Islands and assessment of their sensitivity to the fungicides thiabendazole, prochloraz, and imazalil. *Crop Protection* **11**, 79-83.

Jones DR. (2000). Introduction to Banana, Abaca and Enset. *In* : Jones DR. ed. *Diseases of Banana, Abaca and Enset*. CABI Publishing, 1-36.

Jullien A., Malézieux E., Michaux-Ferrière N., Chillet M. & Ney B. (2001). Within-bunch variability in banana fruit weight: importance of developmental lag between fruits. *Annals of Botany* **87**, 101-108.

Kamo T., Hirai N., Iwami K., Fujioka D. & Ohigashi H. (2001). News phenylphenalenones from banana fruit. *Tetrahedron* **57**, 7649-7656.

Kamo T., Kato N., Hirai N., Tsuda M., Fujioka D., Ohigashi H. (1998). A biosynthetic intermediate of phytoalexins in banana fruits. *Phytochemistry* **49**, 1617-1621.

Konze JR. & Kwiatkowski GMK. (1981). Enzymatic ethylene formation from 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid by manganese, a protein fraction and a cofactor of etiolated pea shoots. *Planta* **151**, 153-160.

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

Krauss U., Bidwell R. & Ince J. (1998). Isolation and preliminary evaluation of mycoparasites as biocontrol agents against crown rot of banana. *Biological Control Theory and Application* **13**, 111-119.

Krauss U. & Johanson A. (2000). Recent advances in the control of crown rot of banana in the Windward Island. *Crop Protection* **19**, 151-160.

Krauss U., Matthews P., Bidwell R., Hocart M. & Anthony F. (2001). Strain discrimination by fungal antagonists of *Colletotrichum musae*: implications for biocontrol of crown rot of banana. *Mycological Research* **105**, 67-76.

Lassois L., de Lapeyre de Bellaire L. & Jijakli H. (2008). Biological control of crown rot of bananas with *Pichia anomala* strain K and *Candida oleophila* strain O. *Biological control* **45**, 410-418.

Lassois L. (2005). *Les maladies de conservations des bananes causées par C. musae*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Etude Approfondie en Science agronomique et ingénierie biologique : FUSAGx, 40p.

Lassoudière A. (2007). *Le bananier et sa culture*. France, Paris : Quae, 384p.

Lassoudière A. & Bugaud C. (2005). Variabilité de la durée de vie verte des bananes en conditions réelles de production. *Fruits* **60**, 227-236.

Latunde-Dada AO. (2001). *Colletotrichum*: tales of forcible entry, stealth, transient, confinement and breakout. *Molecular Plant Pathology* **2** (4), 187-198.

Leikin-Frenkel A. & Prusky D. (1998). Ethylene enhances the antifungal lipid content in idioblasts from avocado mesocarp. *Phytochemistry* **49**, 2291-2298.

Lim J., Lim TH. & Cha B. (2002). Isolation and identification of *Colletotrichum musae* from imported bananas. *Journal of Plant Pathology* **18** (3), 161-164.

Loeillet D. (2005). Le commerce international de la banane; entre évolution et révolution. *Fruitrop* **129**, 2-19.

Lukevic FL., Kaiser WJ. & Martinez MM. (1967). The incidence of crown rot of boxed bananas in relation to microbial populations of the crown tissus. *Canadian Journal of Botany* **45**, 413-421.

Marin DH., Sutton TB., Blankenship SM. & Swallow WH. (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.

Marriot J., New S. & Dixon K. (1979). Factors affecting the preclimacteric period of banana fruit bunches. *Annals of Applied Biology* **93**, 91-100.

Meredith DS. (1960). Studies on *Gloeosporium musarum* CKE. & Massee causing storage rots of Jamaican bananas. I. Anthracnose and its chemical control. *Annals of Applied Biology* **48**, 279-290.

Meredith DS. (1962a). Some components of the air-spora in Jamaican banana plantations. *Annals of Applied Biology* **50**, 577-594.

Meredith DS. (1962b). Some fungi on decaying banana leaves in Jamaica. *Transactions of the British Mycological Society* **45**, 335-347.

Muirhead IF. & Deverall BJ. (1981). Role of appressoria in latent infection of bananas by *Colletotrichum musae*. *Physiological Plant Pathology* **19**, 77-84.

Muirhead IF. & Deverall BJ. (1984). Evaluation of 3,4-dihydroxybenzaldehyde, dopamine and its oxidation products as inhibitors of *Colletotrichum musae* (Berk. And Curt.) Arx. in green banana fruits. *Australian Journal of Botany* **32**, 575-582.

Muirhead IF. & Jones DR. (2000). Postharvest diseases. *In* : Jones DR. ed. *Diseases of banana, Abaca and Enset.* CABI Publishing, 190-211.

Mulvena D., Webb EC. & Zerner B. (1969). 3,4-dihydroxybenzaldehyde, a fungistatic substance from green Cavendish bananas. *Phytochemistry* **8**, 393-395.

Ngeze PB. (1994). *Bananas and their management*. Tanzanie, Bukoba : Kagera writers and publishers co-operative society LTD, 111p.

Ogundero VW. (1987). Crown rot fungi of Nigerian bananas cv. Robusta and the effects of benomyl on their exo-enzymes. *Journal of Basic Microbiology* **27**, 43-47.

Patrick Jr. WH. & Turner F. (1968). Effect of redox potential on manganese transformation in waterlogging soil. *Nature* **220**, 476-478.

Peacock BC. (1973). Effect of *Colletotrichum musae* infection on the preclimacteric life of bananas. *Queensland Journal of Agriculture and Animal Science* **30**, 239-246.

Prusky D. & Keen NT. (1993). Involvement of preformed antifungal compounds in the resistance of subtropical fruits to fungal decay. *Plant Disease* **77** (2), 114-119.

Prusky D., Keen NT., Sims JJ. & Midlands S. (1982). Possible involvement of an antifungal diene in the latency of *Colletotrichum gloeosporioides*. *Phytopathology* **72**, 1578-1582.

Prusky D. & Plumbley RA. (1992). Quiescent infections of *Colletotrichum* in tropical and subtropical fruits. *In* : Bailey JA. & Jeger MJ., eds. *Colletotrichum, Biology, Pathology and control.* UK, Wallingford : CAB international, 289-307.

Prusky D., Wattad C. & Kobiler I. (1996). Effect of ethylene on activation of lesion development from quiescent infections of *Colletotrichum gloeosporioides* in avocado fruits. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **9**, 864-868.

Région Guadeloupe. *La filière agricole: les productions traditionnelles; la banane*. [en ligne]. Disponible sur le World Wide Web, http://www.cr-guadeloupe.fr/imprimer.asp ?ART_N_ID=1185, (7/05/08).

Saeed A., Thompson AK. & Pervez MA. (2007). Effect of harvest maturity stage and position of hands on the ripening behavior and quality of banana fruit. *Acta Horticulturae* **741**, 117-123.

Serek M., Sisler EC. & Reid MS. (1995). 1-Methylcyclopropene, a novel gaseous inhibitor of ethylene action, improves the life of fruits, cut flowers and potted plants. *Acta Horticulturae* **394**, 337-345.

Seymour GB. (1993). Banana. *In* : Seymour GB., Taylor J. & Tucker G. eds. *Biochemistry of Fruit Ripening*. London : Chapman and Hall, 83–106.

Shaw PE. & Nagy S. (1980). *Tropical and subtropical fruit*. Connecticut : AVI Publishing INC Westport, 26-30.

Shijiang ZHU. & Baocheng MA. (2007). Benzothiadiazole or methyl jasmonate-induced resistance to *Colletotrichum musae* in harvested banana fruit is related to elevated defense enzyme activities. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **82** (4), 500-506.

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

Simmonds NW. (1966). *Bananas*. 2ème éd. London : Longman, 512 p.

Stanley MS. & Brown AE. (1994). Separation and degradative action of polygalacturonase isozymes produced by *Colletotrichum musae*. *Journal of Phytopathology* **2**, 217-224.

Stephan X. (2006). *Analyse des trajectoires d'évolution des exploitations bananières Guadeloupéennes.* Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master 2 "Développement agricole et politiques économiques dans les PED" : Université Paris1-IEDES, 82p.

Stover RH. & Simmonds NW. (1987). *Bananas*. Londres, Royaume-Uni : Longman Scientific & Technical., 468p.

Stover RH. (1972). *Banana, Plantain and Abaca Diseases.* UK, Surrey, Kew : Commonwealth Mycological Institute, 316p.

Swart A. & Kamerbeek GA. (1976). Different ethylene production *in vitro* by several species and formae speciales of *Fusarium*. *Netherlands Journal of Plant Pathology* **82,** 81-84.

Swennen R. & Vuylsteke D. (2001). Bananier. *In :* Raemaekers RH. ed. *Agriculture en Afrique tropicale.* DGIC, 611- 636.

Swinburne AK. & Brown AE. (1983). Appressoria development and quiescent infections of banana fruit by *Colletotrichum musae*. *Transactions of the British Mycological Society* **80**, 176-178.

Thomas P. (1986). Radiation preservation of foods of plant origin. III. Tropical fruits: bananas, mangoes. *CRC Critical Reviews of Food Science* **23**, 147.

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

Wallbridge A. (1981). Fungi associated with crown-rot disease of boxed bananas from the Windward Islands during a two year survey. *Transactions of the British Mycological Society* **77**, 567-577.

Wallbridge A. & Pinegar JA. (1975). Fungi associated with crown-rot disease of bananas from St Lucia in the Windward Islands. *Transactions of the British Mycological Society* **64**, 247-254.

Wang X., Kobiler I., Lichter A., Leikin-Frenkel A., Pesis E. & Prusky D. (2006). 1-MCP prevents ethylene-induced accumulation of antifungal diene in avocado fruit. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **67**, 261-267.

Wyllie SG., Golding JB., McGlasson WB. & Williams M. (1997). The relationship between ethylene and aroma volatiles production in climacteric ripening fruit. *In* : *Proceedings of the 9th International Flavor Conference. Division of Agricultural and Food Chemistry, American Chemical Society (in press)*, 375-384.

ANNEXES

Annexe I : Calendrier de marquage

Marquages sur "Fromager"						Marquages sur "Patate 2"				
numéro de la semaine et couleur de marquage	lundi	jeudi	4 répétions		total des marquages de la semaine pour les 7 répétitions	numéro de la semaine et couleur de marquage	lundi	jeudi	3 répétitions	
14	10	10	10	10	20	14				
15	24	24	20	20	40	15				
16	35	35	30	30	60	16				
17	48	38	40	40	80	17				
18	59	38	40	40	100	18	12		10	10
19	33	36	40	40	120	19	24	24	20	20
20	49	56	30	30	120	20	36	36	30	30
21	39	31	20	20	100	21	36	30	30	30
22	24	19	10	10	80	22	36	36	30	30
23	12	12			60	23	31	30	30	30
24					40	24	24	24	20	20
25					20	25	12	12	10	10

nombre de marquages effectivement réalisés

nombre de marquages à réaliser théoriquement

Annexe II : Composition du milieu Mathur

Pour 500 ml de milieu:

$MgSO_4$ 1,25 g
KH_2PO_4 1,35 g
Peptone 0,5 g
Extrait de levure 0,5 g
Saccharose 5 g
Agar (15g/l) 7,5 g
Eau distillée 500 ml

Rapport-Gratuit.com

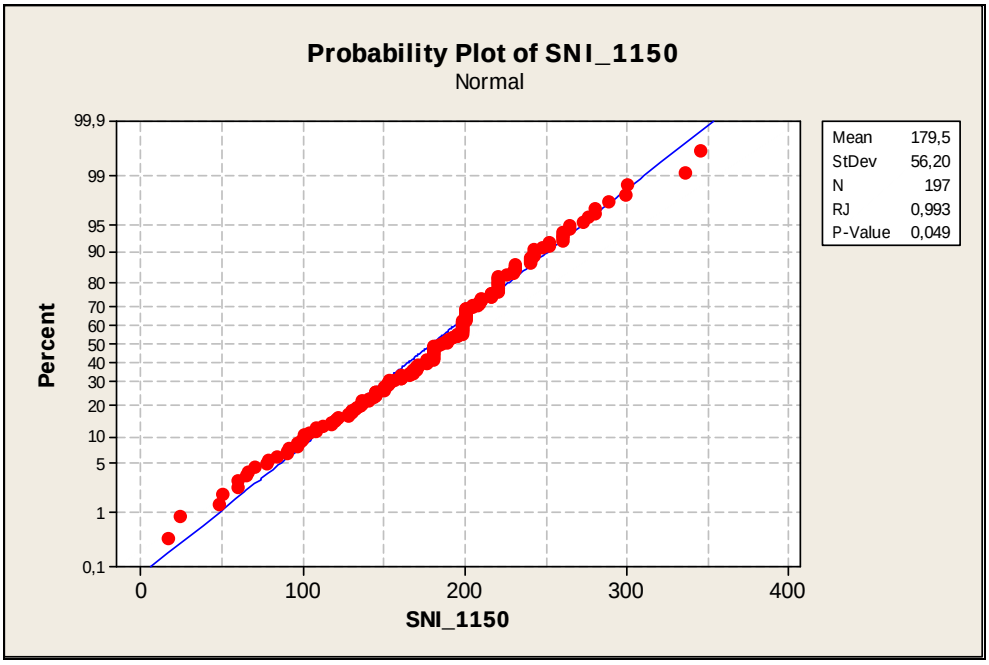
Annexe III : Analyse statistique (AV4 semi-hiérarchisée mixte)

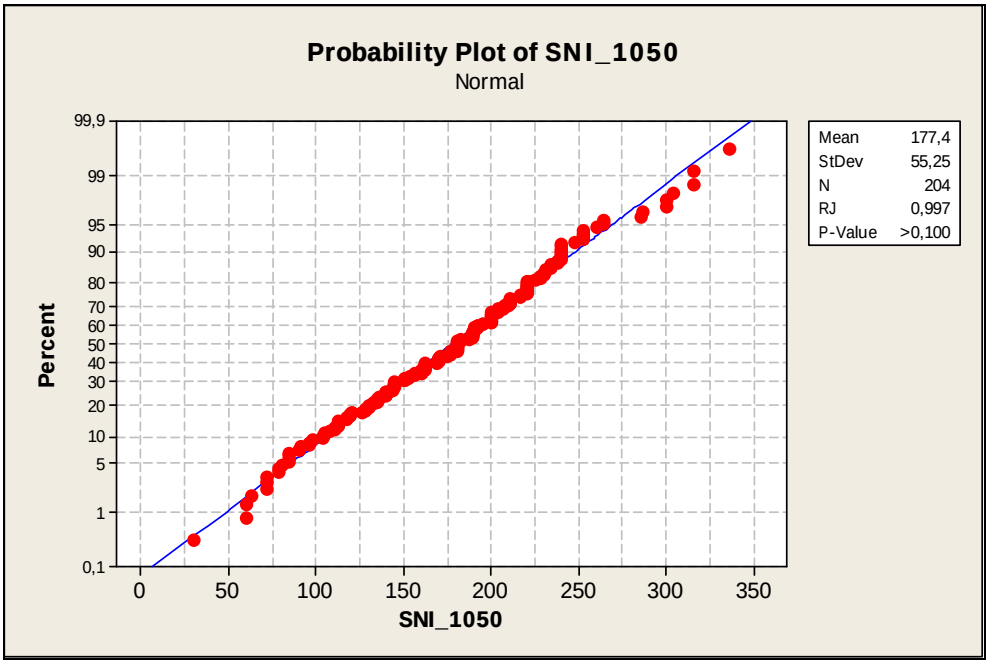
▪ Statistiques descriptives

Variable	age physio	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
SNI	1050	204	6	177,43	3,87	55,25	30,00	140,00	180,00
	1150	197	13	179,47	4,00	56,20	16,00	144,00	184,00
	650	208	2	99,28	3,61	52,13	1,00	63,25	102,00
	750	209	1	118,16	3,82	55,24	0,00	84,00	120,00
	850	209	1	133,63	3,95	57,06	10,00	90,00	130,00
	950	209	1	146,59	3,82	55,20	4,00	118,00	150,00

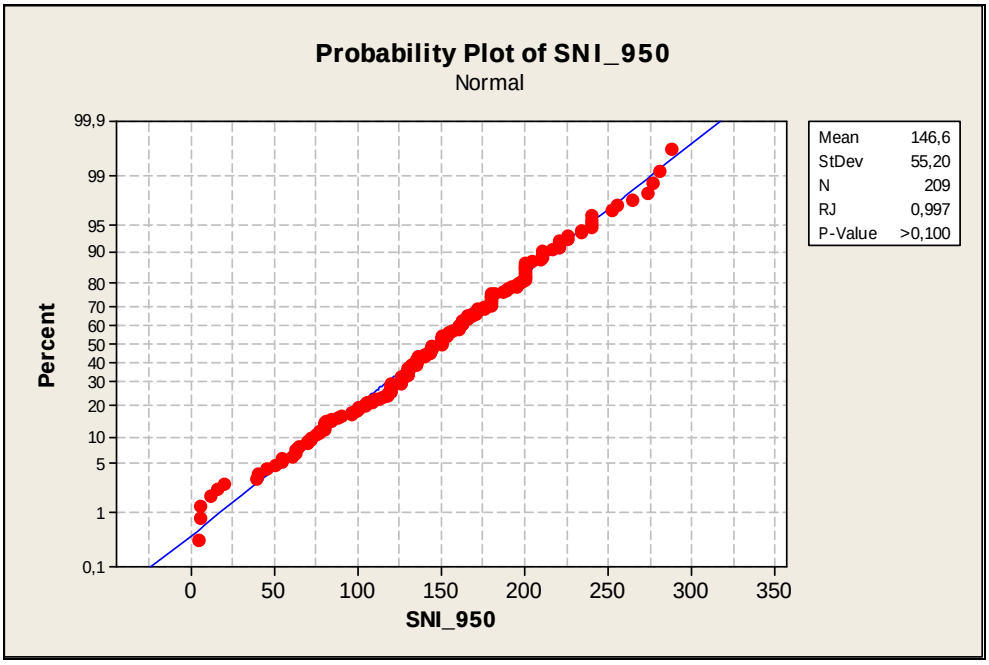
Variable	age physio	Q3	Maximum
SNI	1050	216,00	336,00
	1150	216,00	345,00
	650	128,00	300,00
	750	144,00	375,00
	850	165,00	351,00
	950	180,00	288,00

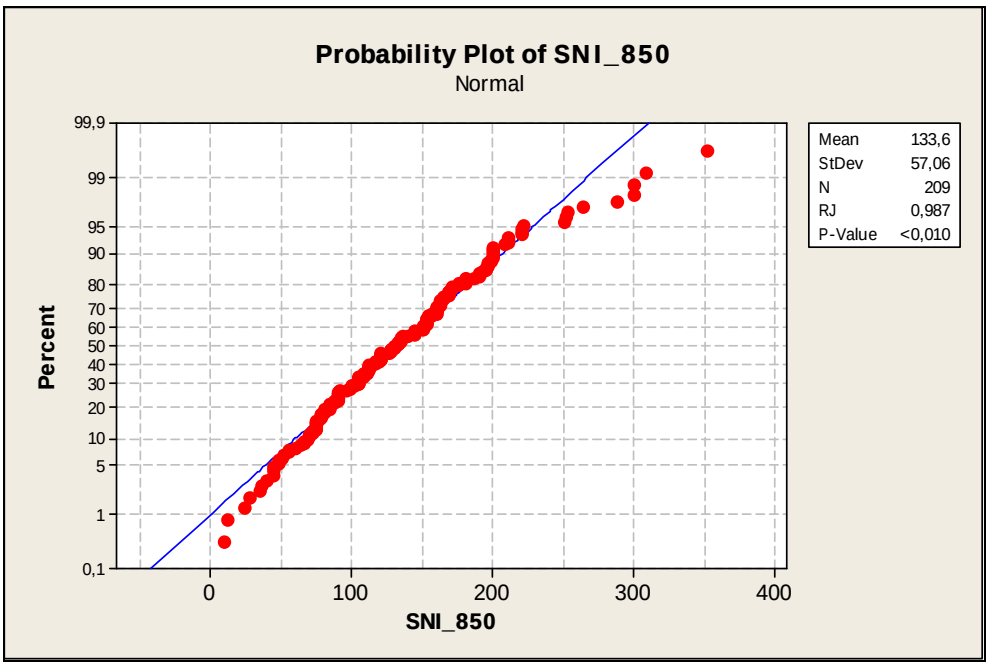
- **Tests de normalité**

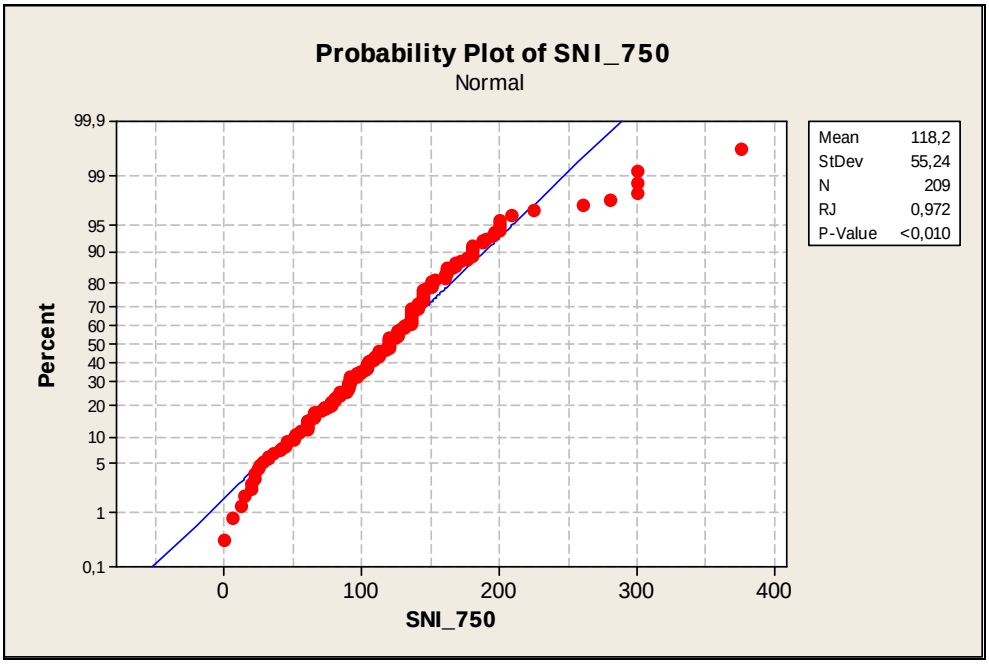


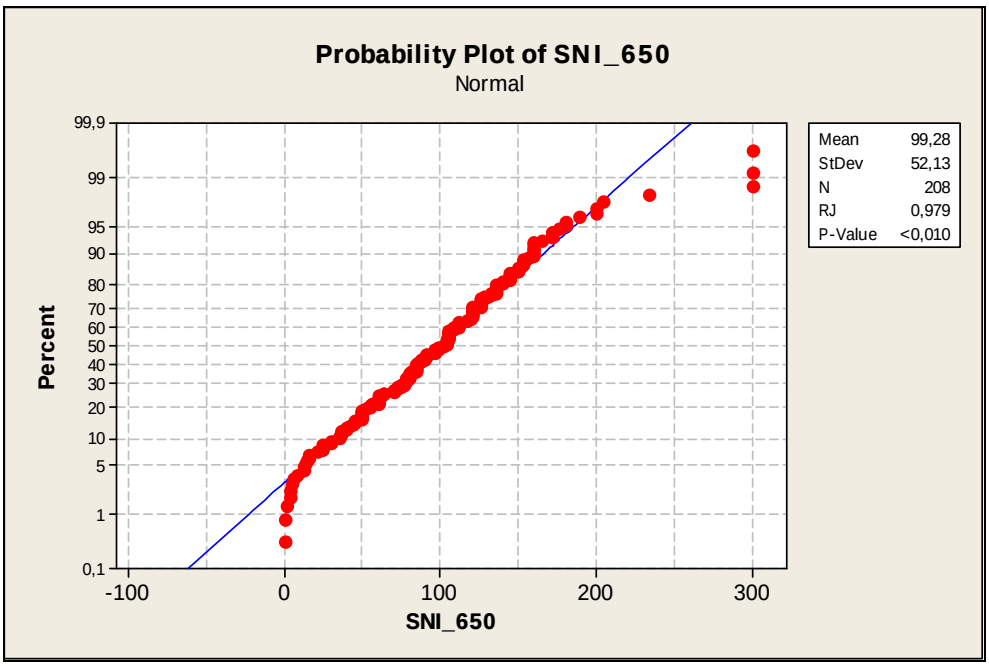


Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

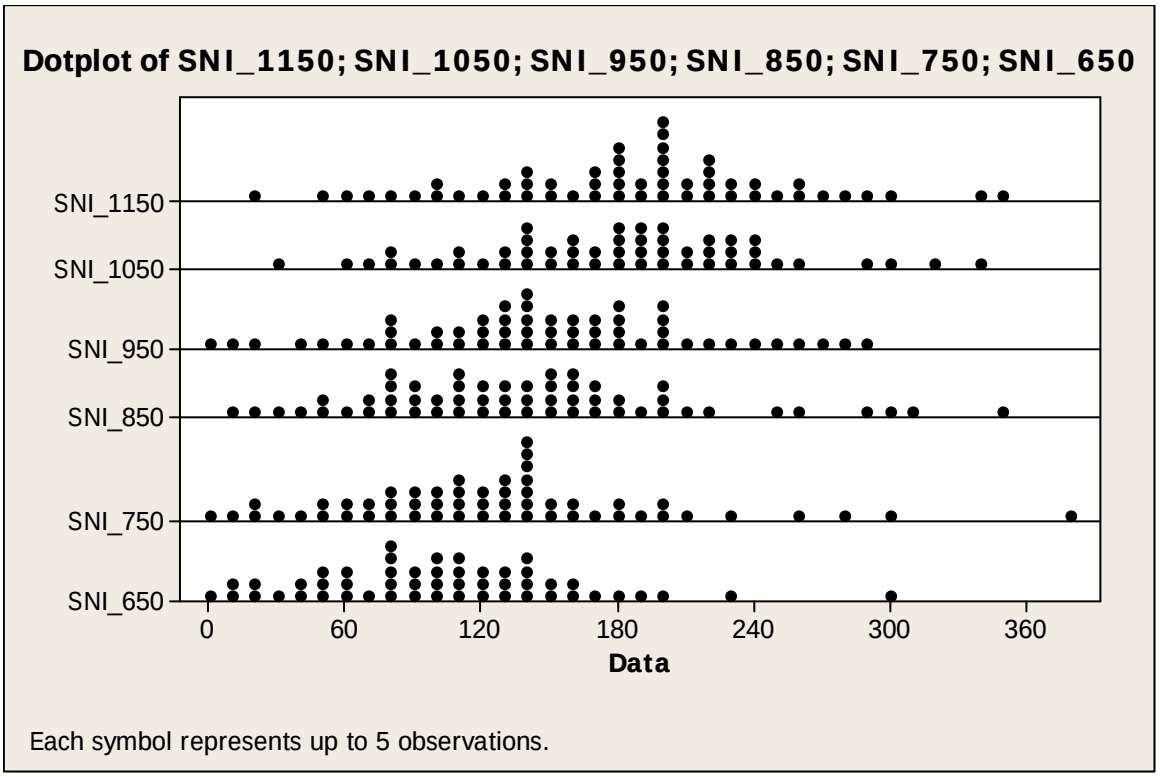

Probability Plot of SNI_950
Normal
Percent
99,9
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
1
0,1
0
50
100
150
200
250
300
350
SNI_950
Mean 146,6
StDev 55,20
N 209
RJ 0,997
P-Value >0,100


Probability Plot of SNI_850
Normal
Percent
99,9
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
1
0,1
0
100
200
300
400
SNI_850
Mean 133,6
StDev 57,06
N 209
RJ 0,987
P-Value <0,010


Probability Plot of SNI_750
Normal
Percent
99,9
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
1
0,1
0
100
200
300
400
SNI_750
Mean 118,2
StDev 55,24
N 209
RJ 0,972
P-Value <0,010

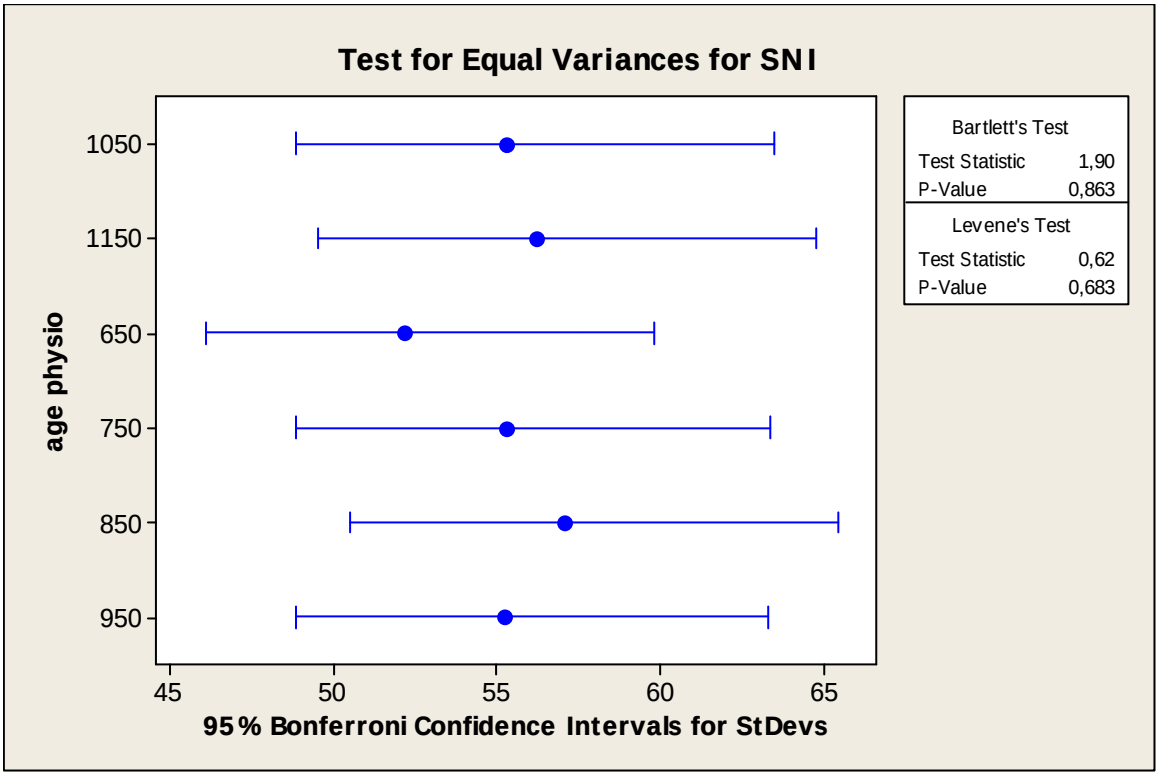

Probability Plot of SNI_650
Normal
Percent
99,9
99
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
1
0,1
-100
0
100
200
300
SNI_650
Mean 99,28
StDev 52,13
N 208
RJ 0,979
P-Value <0,010

- **Dotplot**



- **Test d'égalité des variances**

```
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

   age
physio    N    Lower    StDev    Upper
  1050  204  48,8099  55,2528  63,4760
  1150  197  49,5412  56,1971  64,7293
   650  208  46,1007  52,1265  59,7991
   750  209  48,8673  55,2392  63,3477
   850  209  50,4778  57,0596  65,4354
   950  209  48,8286  55,1955  63,2976


Bartlett's Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1,90; p-value = 0,863


Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,62; p-value = 0,683
```



- **General Linear Model: SNI versus age physio; variété; bloc; bananier**

```
Factor                              Type    Levels
age physio                          fixed        6
variété                             random       2
bloc(variété)                       random       7
bananier(age physio variété bloc)   random     418

Factor                              Values
age physio                          1050; 1150; 650; 750; 850; 950
variété                             Jaffa; Williams
bloc(variété)                       1; 2; 3; 4; 5; 6; 7
bananier(age physio variété bloc)   1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4;
                                    5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;
                                    9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2;
                                    3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6;
                                    7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10;
                                    1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4;
                                    5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;
                                    9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2;
                                    3; 4; 5; 6; 7; 8; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
                                    10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3;
                                    4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7;
                                    8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1;
                                    2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5;
                                    6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
                                    10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3;
                                    4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7;
                                    8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1;
                                    2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5;
                                    6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
```

```
                                    10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3;
                                    4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7;
                                    8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1;
                                    2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5;
                                    6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
                                    10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3;
                                    4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7;
                                    8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1;
                                    2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5;
                                    6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
                                    10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10

Analysis of Variance for SNI, using Adjusted SS for Tests

Source                              DF   Seq SS   Adj SS  Adj MS       F
age physio                           5  1050118  1085961  217192  114,74
variété                              1    88738    72656   72656    0,34
bloc(variété)                        5  1054395  1069618  213924   82,80
age physio*variété                   5    13121     9464    1893    0,73
age physio*bloc(variété)            25    61356    64618    2585    0,77
bananier(age physio variété bloc)  376  1268591  1268591    3374    2,19
Error                              818  1260549  1260549    1541
Total                             1235  4796866

Source                                 P
age physio                         0,000
variété                            0,585 x
bloc(variété)                      0,000 x
age physio*variété                 0,607 x
age physio*bloc(variété)           0,781 x
bananier(age physio variété bloc)  0,000
Error
Total

x Not an exact F-test.


S = 39,2557   R-Sq = 73,72%   R-Sq(adj) = 60,33%
```

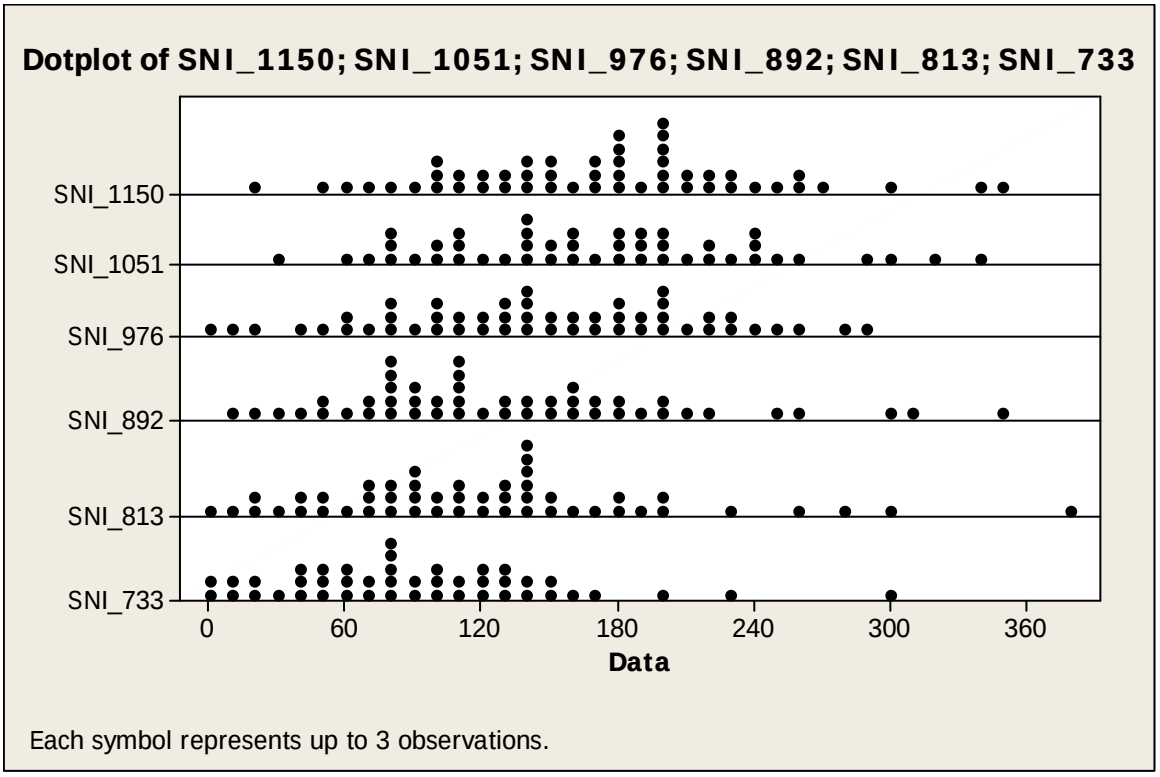
Annexe IV : Analyse statistique (Fromager)

▪ Statistiques descriptives

Variable	age physio	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
SNI	1051	115	5	168,21	5,86	62,83	30,00	119,00	162,00
	1150	114	6	168,11	5,89	62,90	16,00	126,25	178,00
	733	118	2	89,69	5,52	60,01	1,00	48,75	84,00
	813	120	0	115,32	6,06	66,34	0,00	70,50	112,00
	892	119	1	126,64	5,82	63,48	10,00	78,00	112,00
	976	119	1	142,18	5,81	63,41	4,00	99,00	144,00

Variable	age physio	Q3	Maximum
SNI	1051	207,00	336,00
	1150	200,00	345,00
	733	121,50	300,00
	813	144,00	375,00
	892	165,00	351,00
	976	192,00	288,00

▪ Dotplot



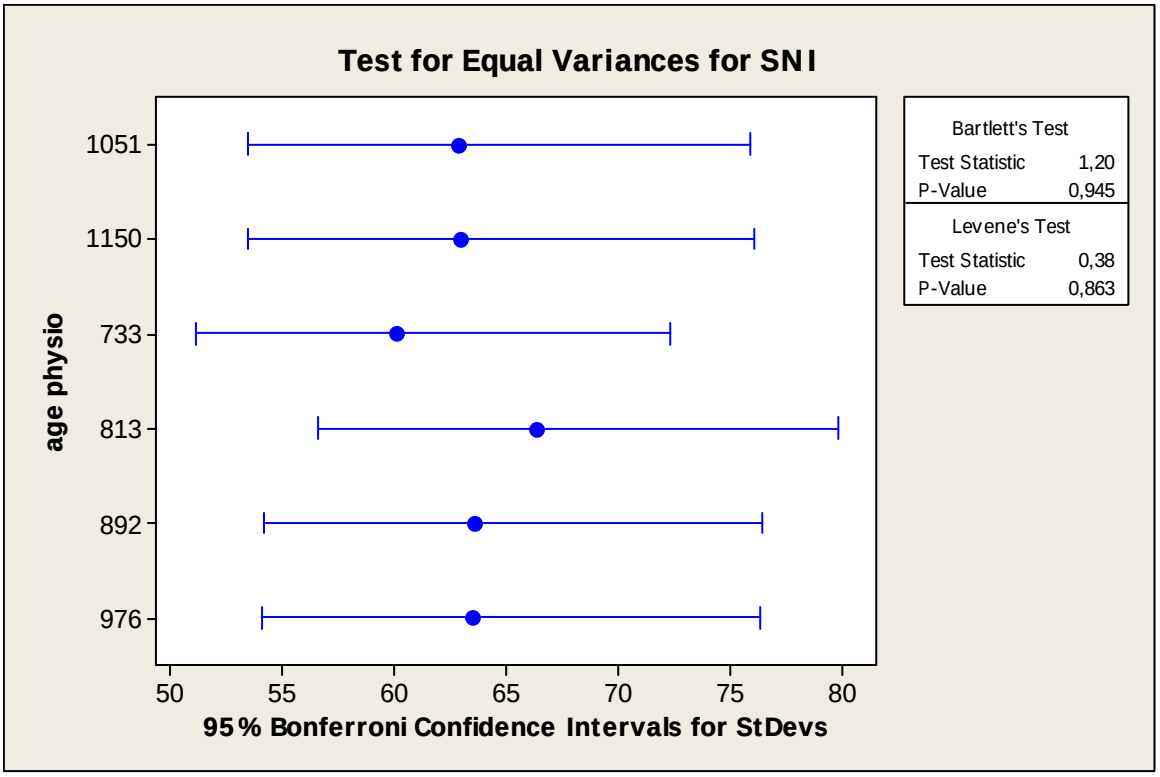
▪ Test d'égalité des variances

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

age physio	N	Lower	StDev	Upper
1051	115	53,4041	62,8318	75,8971
1150	114	53,4259	62,8994	76,0473
733	118	51,1057	60,0102	72,2981
813	120	56,5650	66,3368	79,7847
892	119	54,0983	63,4838	76,4178
976	119	54,0335	63,4079	76,3263

Bartlett's Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1,20; p-value = 0,945

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 0,38; p-value = 0,863



▪ General Linear Model: SNI versus age physio; bloc; bananier

Factor	Type	Levels	Values
age physio	fixed	6	1051; 1150; 733; 813; 892; 976
Bloc	random	4	1; 2; 3; 4
bananier(age physio Bloc)	random	240	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2;

```
3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4;
5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6;
7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;
9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10;
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2;
3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4;
5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6;
7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;
9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10;
1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2;
3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4;
5; 6; 7; 8; 9; 10
```

Analysis of Variance for SNI, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
age physio	5	554945	589530	117906	36,67	0,000	x
Bloc	3	1021371	1037172	345724	107,54	0,000	x
age physio*Bloc	15	45625	48275	3218	0,79	0,687	x
bananier(age physio Bloc)	216	885896	885896	4101	2,27	0,000	
Error	465	839227	839227	1805			
Total	704	3347064					

x Not an exact F-test.

S = 42,4828 R-Sq = 74,93% R-Sq(adj) = 62,04%

- **Structuration des moyennes par la méthode des contrastes**

$\Theta_1 = -5*m_1 - 3*m_2 - m_3 + m_4 + 3*m_5 + 5*m_6$

$SCE_1 = CM_1 = 533\,417{,}97$

$\Theta_2 = 5*m_1 - 1*m_2 - 4*m_3 - 4*m_4 - 1*m_5 + 5*m_6$

$SCE_2 = CM_2 = 6\,796$

$\Theta_3 = -5*m_1 + 7*m_2 + 4*m_3 - 4*m_4 - 7*m_5 + 5*m_6$

$SCE_3 = CM_3 = 1057{,}86$

$\Theta_4 = 1*m_1 - 3*m_2 + 2*m_3 + 2*m_4 - 3*m_5 + m_6$

$SCE_4 = CM_4 = 2\,793{,}8$

$\Theta_5 = -1*m_1 + 5*m_2 - 10*m_3 + 10*m_4 - 5*m_5 + m_6$

$SCE_5 = CM_5 = 441{,}78$

Rapport-Gratuit.com

Facteur	Ddl	SCE	CM	F
Age physio	5	589 530	117 906	
Relation linéaire	1	533 417,97	533 417,97	165,76 ***
Relation quadratique	1	6 796	6 796	2,111 NS
Relation de degré >2	3	14 293,4	14 293,4	4,44 NS
Bloc	3	1 037 172	345 724	
Age physio*bloc	15	48 275	3 218	
Bananier (age physio bloc)	216	885 896	4 101	
Erreur	465	839 227	1 805	
Total	704			

$F_{0,95}(1,5) = 6,61$

$F_{0,99}(1,5) = 16,3$

$F_{0,999}(1,5) = 47,0$

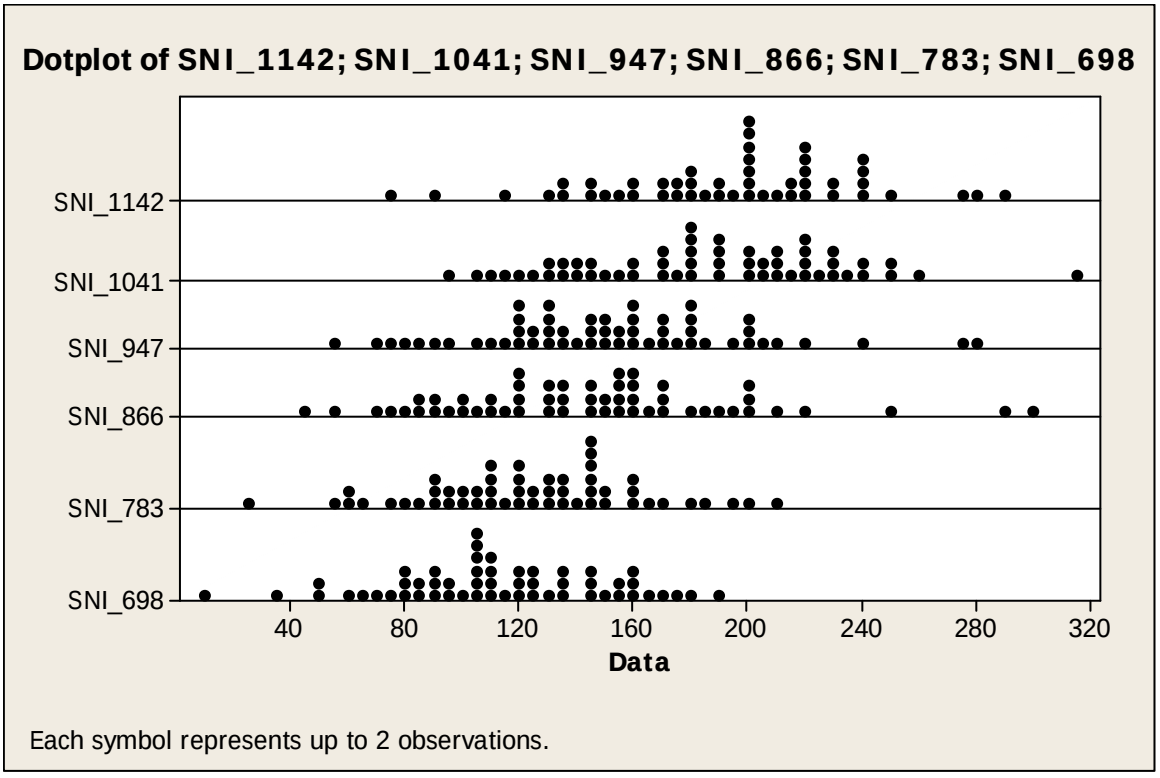
Annexe V : Analyse statistique (Patate 2)

▪ Statistiques descriptives

Variable	age physio	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
SNI	1041	89	1	189,35	4,34	40,91	96,00	162,00	190,00
	1142	83	7	195,07	4,49	40,88	77,00	171,00	198,00
	698	90	0	111,87	3,81	36,10	12,00	89,50	110,00
	783	89	1	121,98	3,73	35,15	25,00	98,00	120,00
	866	90	0	142,87	4,85	45,98	45,00	112,00	144,00
	947	90	0	152,42	4,38	41,58	54,00	126,00	150,00

Variable	age physio	Q3	Maximum
SNI	1041	220,00	315,00
	1142	220,00	288,00
	698	136,00	189,00
	783	144,00	208,00
	866	165,75	300,00
	947	180,00	280,00

▪ Dotplot



Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

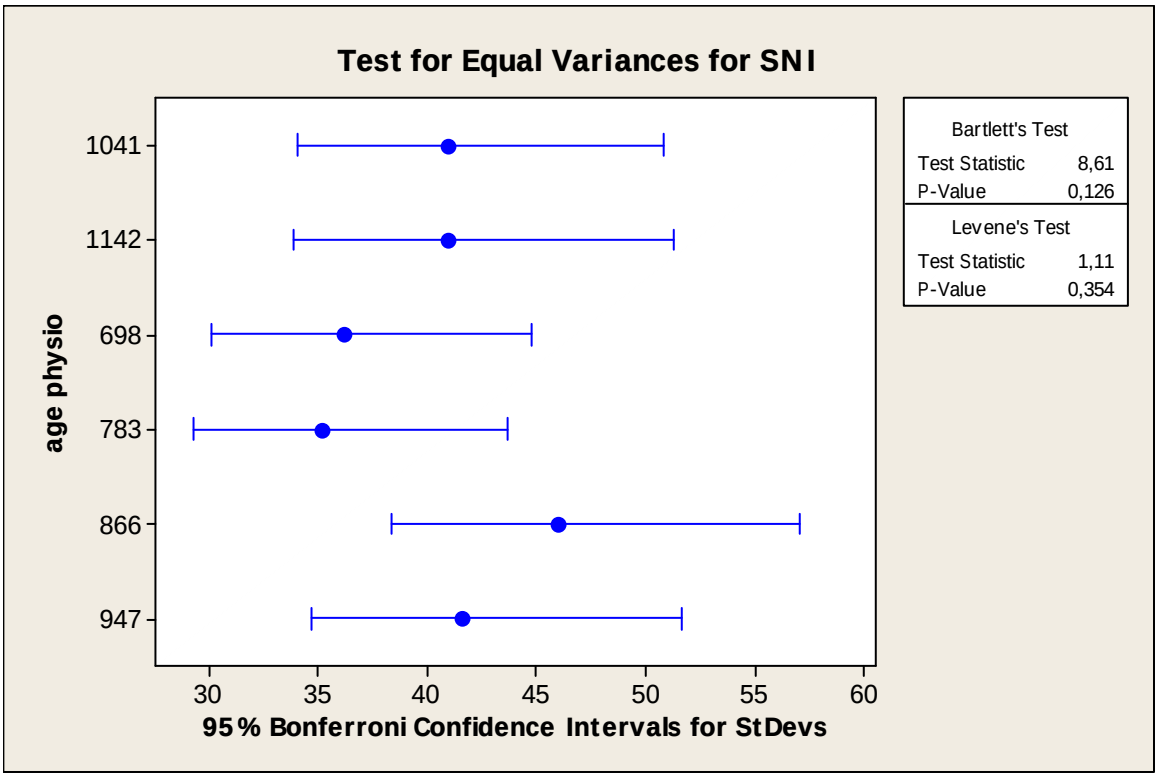
▪ Test d'égalité des variances

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

age physio	N	Lower	StDev	Upper
1041	89	34,0565	40,9071	50,8444
1142	83	33,8264	40,8775	51,2452
698	90	30,0839	36,1010	44,8108
783	89	29,2673	35,1545	43,6944
866	90	38,3151	45,9785	57,0713
947	90	34,6511	41,5816	51,6136

Bartlett's Test (Normal Distribution)
Test statistic = 8,61; p-value = 0,126

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 1,11; p-value = 0,354



▪ General Linear Model: SNI versus age physio; bloc; bananier

Factor	Type	Levels	Values
age physio	fixed	6	1041; 1142; 698; 783; 866; 947
bloc	random	3	5; 6; 7
bananier(age physio bloc)	random	178	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;

```
                                        9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;
                                        10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10;
                                        1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2;
                                        3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4;
                                        5; 6; 7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6;
                                        7; 8; 9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8;
                                        9; 10; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10

Analysis of Variance for SNI, using Adjusted SS for Tests

Source                      DF   Seq SS  Adj SS  Adj MS      F      P
age physio                   5   510781  515131  103026  63,02  0,000 x
bloc                         2    31310   32446   16223   9,92  0,004 x
age physio*bloc             10    15730   16343    1634   0,68  0,738 x
bananier(age physio bloc)  160   382695  382695    2392   2,00  0,000
Error                      353   421322  421322    1194
Total                      530  1361837

x Not an exact F-test.


S = 34,5477   R-Sq = 69,06%   R-Sq(adj) = 53,55%
```

- **Structuration des moyennes par la méthode des contrastes**

$\Theta_1 = -5*m_1 - 3*m_2 - m_3 + m_4 + 3*m_5 + 5*m_6$

$SCE_1 = CM_1 = 490\ 330{,}56$

$\Theta_2 = 5*m_1 - 1*m_2 - 4*m_3 - 4*m_4 - 1*m_5 + 5*m_6$

$SCE_2 = CM_2 = 1\ 862{,}72$

$\Theta_3 = -5*m_1 + 7*m_2 + 4*m_3 - 4*m_4 - 7*m_5 + 5*m_6$

$SCE_3 = CM_3 = 4\ 321{,}2$

$\Theta_4 = 1*m_1 - 3*m_2 + 2*m_3 + 2*m_4 - 3*m_5 + m_6$

$SCE_4 = CM_4 = 4\ 231{,}9$

$\Theta_5 = -1*m_1 + 5*m_2 - 10*m_3 + 10*m_4 - 5*m_5 + m_6$

$SCE_5 = CM_5 = 8\ 909$

Facteur	Ddl	SCE	CM	F
Age physio	5	515 131	103 026	
Relation linéaire	1	490 330,56	490 330,56	300,1 ***
Relation quadratique	1	1 861,72	1 861,72	1,14 NS
Relation de degré >2	3	17 462,1	17 462,1	10,7 *
Bloc	2	32 446	16 223	
Age physio*bloc	10	16 343	1 634	
Bananier (age physio bloc)	160	382 695	2 392	
Erreur	353	421 322	1 194	
Total	530			

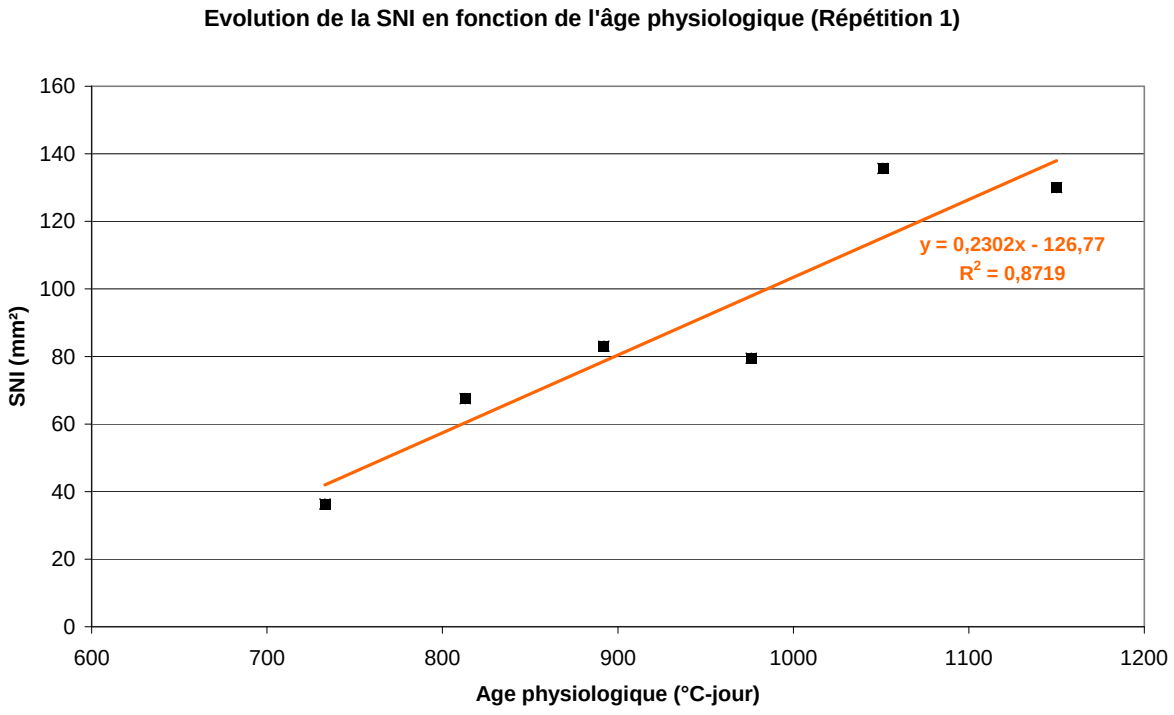
$F_{0,95}(1,5) = 6,61$
$F_{0,99}(1,5) = 16,3$
$F_{0,999}(1,5) = 47,0$

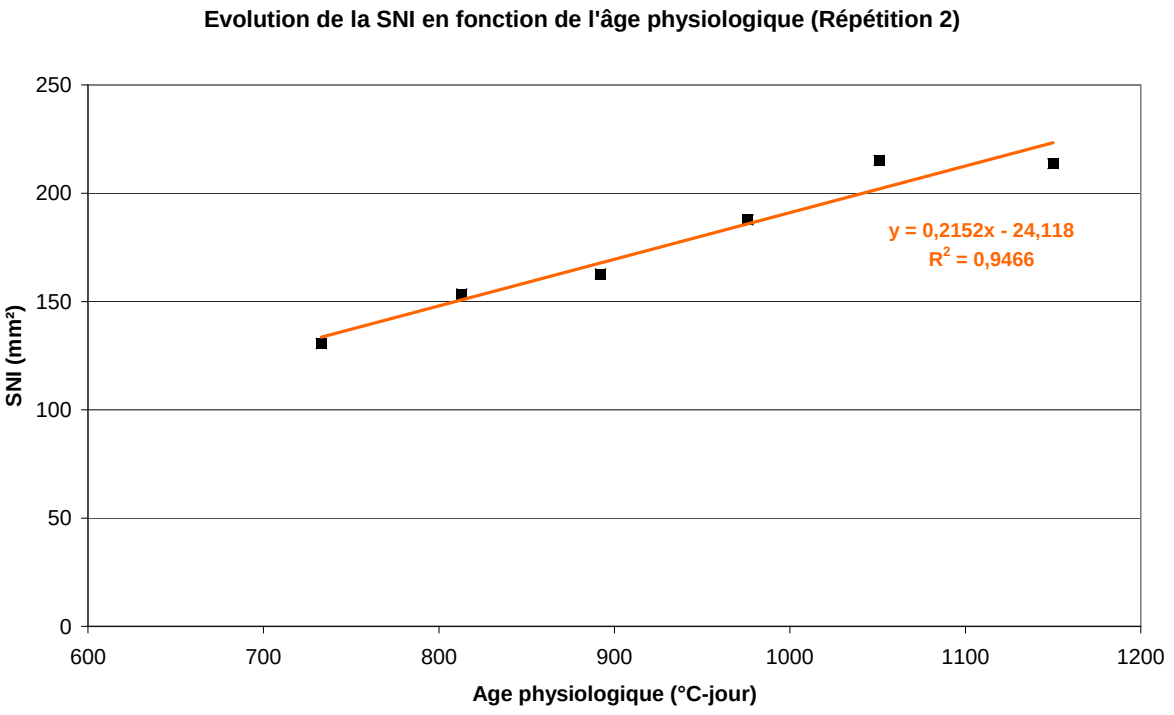
Annexe VI : ANCOVA

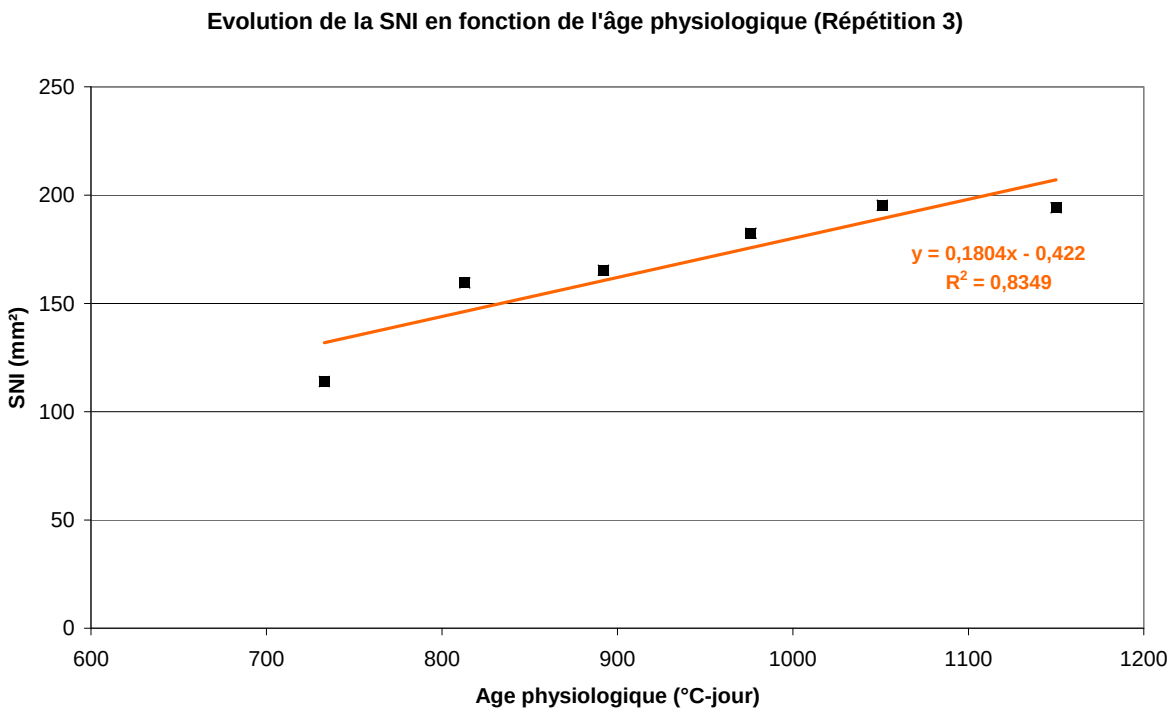
General Linear Model: sni versus parcelle

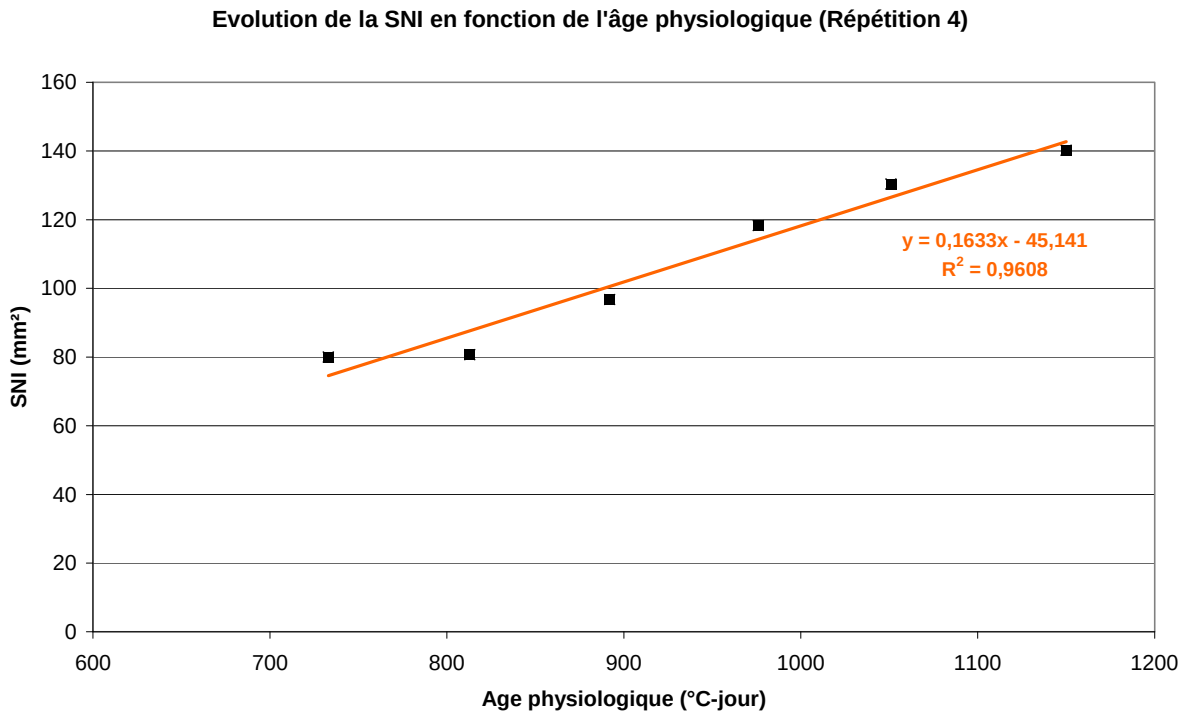
```
Factor    Type   Levels  Values
parcelle  fixed       2  Fromager; Patate


Analysis of Variance for sni, using Adjusted SS for Tests

Source          DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
parcelle         1    87964     1278     1278    0,43  0,514
age              1  1018729  1015937  1015937  339,23  0,000
parcelle*age     1      556      556      556    0,19  0,667
Error         1232  3689616  3689616     2995
Total         1235  4796866


S = 54,7249   R-Sq = 23,08%   R-Sq(adj) = 22,90%


Term              Coef  SE Coef      T      P
Constant        -40,98    10,11  -4,05  0,000
age            0,19982  0,01085  18,42  0,000
age*parcelle
    Fromager  -0,00467  0,01085  -0,43  0,667


Unusual Observations for sni
```

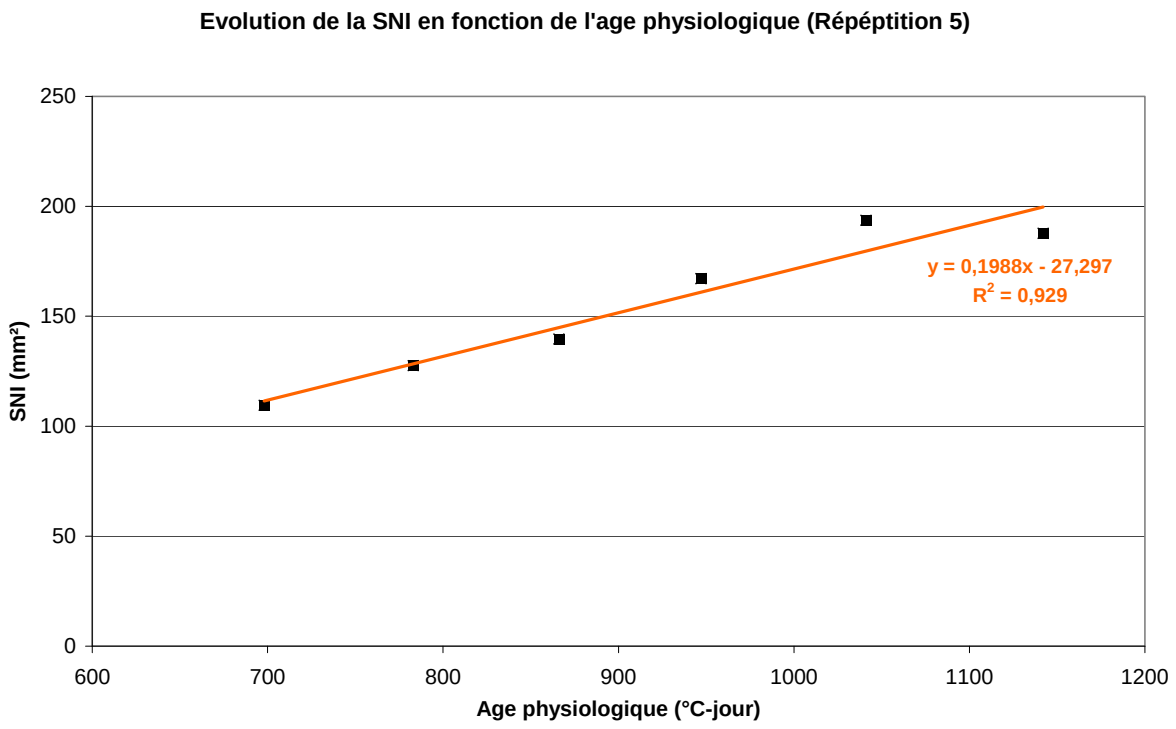
Annexe VII : Représentation graphique de l'évolution des SNI en fonction de l'âge physiologique pour les 7 répétitions

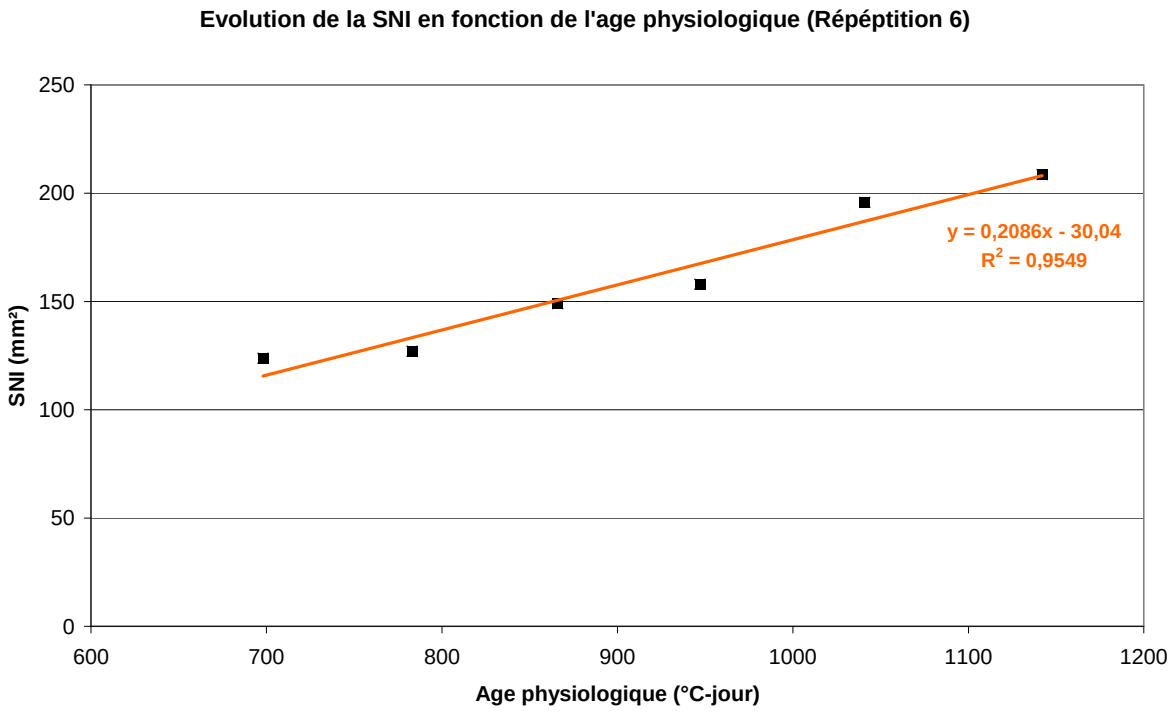


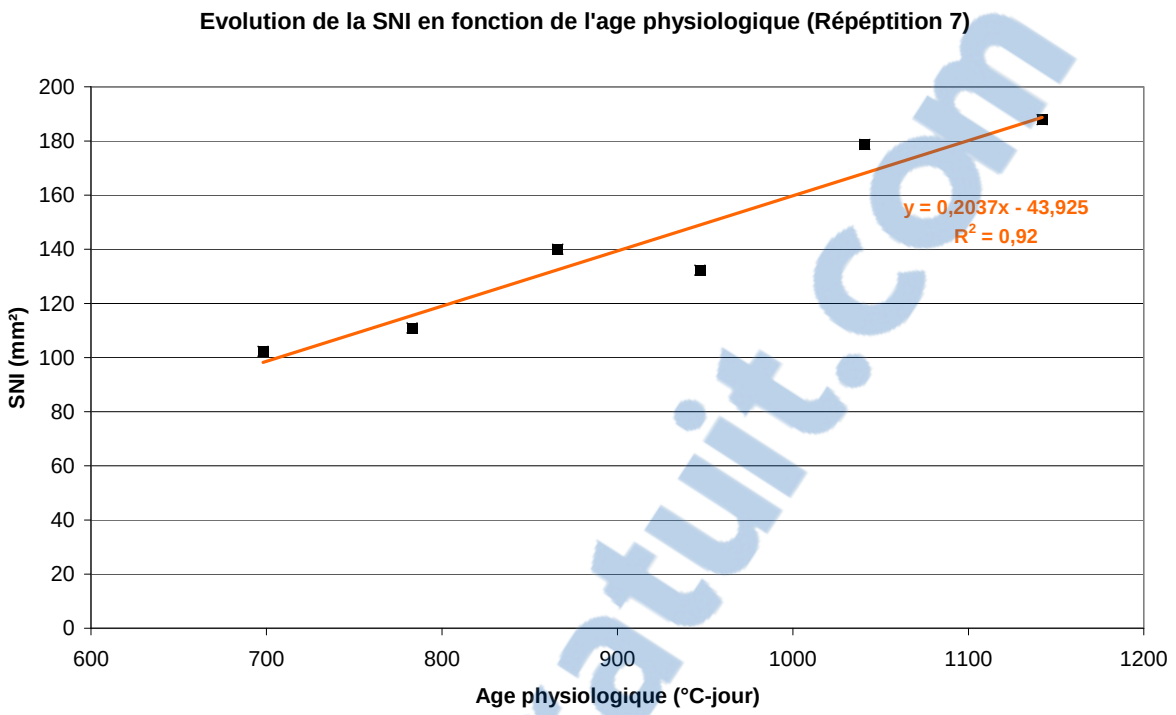



Evolution de la SNI en fonction de l'âge physiologique (Répétition 3)
SNI (mm²)
Age physiologique (°C-jour)
y = 0,1804x - 0,422
R² = 0,8349
0
50
100
150
200
250
600
700
800
900
1000
1100
1200


Evolution de la SNI en fonction de l'âge physiologique (Répétition 4)
SNI (mm²)
Age physiologique (°C-jour)
y = 0,1633x - 45,141
R² = 0,9608
0
20
40
60
80
100
120
140
160
600
700
800
900
1000
1100
1200


Evolution de la SNI en fonction de l'age physiologique (Répéptition 5)
250
200
150
100
50
0
SNI (mm²)
600
700
800
900
1000
1100
1200
Age physiologique (°C-jour)
y = 0,1988x - 27,297
R² = 0,929


Evolution de la SNI en fonction de l'age physiologique (Répéptition 6)
250
200
150
100
50
0
SNI (mm²)
600
700
800
900
1000
1100
1200
Age physiologique (°C-jour)
y = 0,2086x - 30,04
R² = 0,9549



Rapport-Gratuit.com