

Un modèle expérimental pour l'étude de l'effet du conditionnement sur le chancre des bananes d'exportation

M CHILLET
L DE LAPEYRE DE BELLAIRE
CIRAD-FLHOR
Neufchâteau-Sainte-Marie
97130 Capesterre-Belle-Eau
Guadeloupe (FWI)

J JOAS
CIRAD-FLHOR
BP 153
97202 Fort-de-France
Martinique

Reçu : septembre 1994
Accepté : février 1995

Un modèle expérimental pour l'étude de l'effet du conditionnement sur le chancre des bananes d'exportation.

RÉSUMÉ
Aux Antilles françaises, le problème majeur de la qualité de la banane est lié au développement de nécroses, ou chancres, au cours du stockage et de la maturation des fruits. Cette maladie, appelée anthracnose de blessure, est due à un champignon phytopathogène, *Colletotrichum musae*. Le mode de conditionnement, et notamment le mode d'emballage des fruits, influe sur l'extension des nécroses pendant la phase de conservation. L'emballage des bananes en sac clos permet de limiter l'évolution des chancres par rapport à l'emballage en film plastique ouvert habituellement utilisé. La méthodologie appliquée pour la mise en évidence de ce phénomène est décrite.

An experimental model to assess the effects of packaging on canker in export bananas.

ABSTRACT
The main factor affecting banana fruit quality in the FWI is owing to the development during storage and ripening of rots caused by a pathogenic fungi, *Colletotrichum musae*. The mode of packaging seems to have a real effect on the extension of necrosis during storage. Packing in a closed polyethylene bag allows to limit necrosis evolution compared to classical packing with polyfilm. This paper describes the methodology used to demonstrate this effect.

Un modelo experimental para el estudio del efecto del acondicionamiento sobre la antracnosis de herida de las bananas de exportación.

RESUMEN
En las Antillas francesas, el problema mayor de la calidad de la banana está vinculado con el desarrollo durante el almacenamiento y la maduración de los frutos de necrosis o canchros, debidos a un hongo fitopatogeno, *Colletotrichum musae*. El modo de acondicionamiento y, en particular, el modo de envasado de los frutos, tiene un efecto muy claro en la extensión de las necrosis durante la fase de conservación. El embalaje de las bananas en bolsas cerradas permite limitar la evolución de los canchros en comparación con el embalaje con cinta plástica abierta usado habitualmente. Se describe la metodología aplicada para hacer aparecer este fenómeno.

Fruits, vol 50, n°3, p 173-181
© Elsevier, Paris

MOTS CLÉS
Banane, *Colletotrichum*, anthracnose, qualité, conditionnement, film plastique, carton.

KEYWORDS
Bananas, *Colletotrichum*, anthracnoses, quality, packaging, plastic film, paperboard.

PALABRAS CLAVES
Banano, *Colletotrichum*, antracnosis, calidad, empaquetado, película plástica, cartón.

● introduction

Aux Antilles françaises, la qualité de la banane peut être altérée par le développement après récolte de champignons phytopathogènes à l'origine de nombreuses maladies du fruit (JOAS, 1987). L'une d'elles, l'antracnose de blessure (chancre) se présente comme la maladie après récolte qui occasionne le plus de dégâts, et entraîne des pertes de production considérables à certaines périodes de l'année (HOSTACHY *et al*, 1990 ; NOLIN, 1990). Elle est due à *Colletotrichum musae* (BERK et CURTIS) Arx. Ce champignon se développe au cours du stockage et de la maturation des fruits (WARDLAW, 1961) ; il provoque l'apparition de larges nécroses brunes recouvertes d'acervules orangées. Ces nécroses se forment à partir de blessures de l'épiderme des fruits qui font suite aux diverses manipulations qui suivent la récolte (MEREDITH, 1960).

La lutte contre *C. musae* doit être envisagée tout au long des étapes de la production des fruits :

- elle se fait au champ, par un assainissement de la bananeraie et un épistillage précoce ;
- au cours du transport vers le hangar, l'emploi de « trays » et de remorques à berceaux permet de limiter les chocs et les blessures sur les fruits (NOLIN, 1990) ;
- au hangar d'emballage, la protection des fruits est améliorée par une manipulation correcte des fruits et par des traitements fongicides efficaces (FROSSARD, 1969 ; FROSSARD *et al*, 1976 ; de LAPEYRE et NOLIN, 1994).

Le développement des chancres commence lorsque les fruits sont stockés au froid, pendant le transport maritime ; il provoque une maturation précoce des bananes à l'arrivée des containers. Il est donc nécessaire d'agir au cours de cette période pour en limiter l'extension.

L'étape précédant la réfrigération des fruits pour le transport maritime est la phase de conditionnement en carton perforé et sous emballage plastique. Actuellement, deux modes d'emballage sont utilisés aux Antilles françaises : l'emballage des fruits en film plastique ouvert et l'ensachage en sac clos de polyéthylène. Les deux types de conditionnement permettent d'éviter les contacts entre les fruits et le carton, et de limiter les pertes en eau. Cependant, le sac plastique permet de réduire de façon plus importante les pertes en eau

des fruits (DEULLIN, 1961 ; JOAS, 1992) et de créer une atmosphère modifiée à l'intérieur du sac, à partir de la respiration des fruits et de la perméabilité au CO₂ et à l'O₂ du polyéthylène. Cette atmosphère modifiée se caractérise par une baisse de la teneur en O₂ et une augmentation de la teneur en CO₂. Ces deux concentrations se stabilisent lorsque le flux total de CO₂ sortant du sac est égal à l'intensité totale d'émission de CO₂ des fruits et, réciproquement, lorsque le flux d'O₂ entrant est égal à l'intensité totale d'absorption de l'O₂ par les fruits (MARCELLIN, 1974). À cet état d'équilibre, l'activité respiratoire et métabolique des fruits est considérablement diminuée. Ce ralentissement des activités biochimiques, et notamment dans le cas de la banane, de la production d'éthylène, entraîne une augmentation très importante de la phase préclimactérique (MAC GLASSON et WILLS, 1972).

Ces atmosphères modifiées permettent également le contrôle de certains champignons pathogènes, au niveau de la germination des spores (BROWN, 1922), de la croissance mycélienne (FRANKEL, 1889 ; EL-GOORANI et SOMMER, 1979 ; BOMPEIX, 1978), du développement et du métabolisme fongique (JULIEN et PHILLIPS, 1963 ; MONTGOMERY, 1958).

L'humidité relative élevée à l'intérieur de l'emballage peut également avoir des conséquences sur la relation entre *C. musae* et la banane. Le ralentissement de la déshydratation des tissus épidermiques engendre une diminution de la respiration et une augmentation de la phase préclimactérique (BEN-YEHOSHUA, 1985). Sur la pomme de terre nouvelle, une humidité relative élevée inhiberait le développement de pourritures bactériennes (ARTSCHWAGER, 1927).

L'interaction entre *C. musae* et la banane a été peu étudiée, et les effets des différents types d'emballage sur le développement des chancres n'ont jamais été clairement établis. La complexité du problème a conduit à élaborer un modèle expérimental où tous les facteurs susceptibles d'influer sur la relation hôte-pathogène sont maîtrisés.

Les étapes préliminaires à la mise au point d'un outil expérimental pour l'analyse de l'effet du conditionnement sur le développement des nécroses dues à *C. musae* sont présentées. Trois expérimentations ont été réalisées afin de déterminer les conditions optimales (dose d'inoculum

et dimension du carton) pour la définition d'un modèle expérimental fiable et facile à mettre en œuvre.

● matériels et méthodes

échantillonnage

Les bananes échantillonnées, du sous-groupe Cavendish « Grande Naine », proviennent de la station de Neufchâteau du CIRAD-FLHOR en Guadeloupe. Elles ont été récoltées au stade de coupe physiologique, c'est-à-dire à l'intervalle fleur-coupe (IFC) de 900°Cj au seuil de 14°C (GANRY, 1978), elles étaient toujours issues de secondes mains aux caractéristiques suivantes :

- nombre de doigts supérieur à 20 ;
- grade et longueur des doigts équivalents ;
- absence de fruits non conformes ;
- fruits sans défauts observables.

Pour chaque expérimentation, dix mains ont été récoltées et découpées en bouquets de quatre doigts (au minimum cinq bouquets/main).

Les différents traitements (trois à cinq selon les expérimentations) ont été appliqués sur les bouquets. Les bouquets traités d'une même main correspondent à un même bloc. Les dix mains représentent donc les dix répétitions.

films et sacs de polyéthylène

Les films et sacs utilisés avaient les caractéristiques suivantes :

- polyéthylène à basse densité linéaire ;
- épaisseur de 20 μm pour les films et de 16 μm pour les sacs ;
- perméabilité des sacs :
 - . pour le gaz carbonique, $\text{PCO}_2 = 82\,300\text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{j}$ à 1 bar (0% d'humidité relative et 23°C) ;
 - . pour l'oxygène, $\text{PO}_2 = 18\,000\text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{j}$ à 1 bar (0% d'humidité relative et 23°C) ;
 - . rapport des perméabilités $\text{PCO}_2 / \text{PO}_2 = 4,57$.

techniques d'inoculation

Avant l'inoculation, les bouquets ont été lavés au Bacterol après la découpe. L'apex et les pédoncules des fruits ont été traités au thiabendazole (TBZ) par trempage pendant 2 min dans une solution à 500 ppm.

Sur chaque bouquet expérimental, un fruit a été choisi pour l'inoculation. Ce fruit est lavé à

l'alcool (éthanol 50%), puis blessé à l'aide d'un emporte-pièce de 10 mm de diamètre, jusqu'à une profondeur de 2 mm (FROSSARD, 1970).

Trois souches de *C. musae* pathogènes et sensibles au TBZ ont été utilisées. Des conidies ont été prélevées par lavage à l'eau distillée stérile de cultures âgées de 10 j sur PDA. Différentes concentrations ont été testées.

L'inoculation a été effectuée en appliquant sur la blessure l'emporte-pièce préalablement trempé dans la suspension conidienne.

emballage, conservation et maturation

Les bouquets ont été emballés en film ouvert ou en sac clos en tenant compte de la constance du rapport de la surface de film (SF) sur la masse de fruits (MF). Dans tous les essais, $\text{SF}/\text{MF} = 0,15\text{ m}^2/\text{kg}$.

Les bouquets ont ensuite été disposés en cartons perforés de dimension proportionnelle à la masse de fruit emballée. L'ensemble a été conservé en chambre climatique à 13,5°C pendant 13 j.

Au terme du stockage, les cartons ont été placés en chambre climatique à 21°C. Les sacs ont été ouverts lorsque les fruits avaient atteint le stade « tournant jaune » qui correspond au stade 2 de l'échelle colorimétrique présentée dans le tableau I.

observations et traitement statistique des données

Au cours des phases de conservation et de maturation des fruits, les longueurs et les largeurs des nécroses ont été mesurées. Les surfaces des nécroses ont ensuite été estimées par la formule du calcul de l'aire d'une ellipse. La vitesse de développement des nécroses (VDN) a été évaluée par une régression linéaire de l'évolution des surfaces au cours du temps.

Tableau I
Échelle colorimétrique.

Stade 1	Fruit vert
Stade 2	Fruit tournant
Stade 3	Fruit jaune à bouts verts
Stade 4	Fruit jaune
Stade 5	Apparition de tigrage

Les degrés de maturité des fruits inoculés ont été évalués à l'aide de l'échelle colorimétrique indiquée dans le tableau I. Cette échelle, différente des normes internationales, a l'avantage d'être plus précise.

La vitesse de maturation (VM) a été évaluée par une régression linéaire de l'évolution du degré de maturité du fruit au cours du temps.

Une analyse de variance et un test de Newman-Keuls au seuil de 5% ont été réalisés pour comparer les surfaces des nécroses des différents traitements après chaque observation.

facteurs étudiés

taille du carton

La première expérimentation porte sur l'étude des dimensions du carton d'emballage en relation avec l'importance du nombre de bouquets inoculés rapporté au nombre de bouquets sains. Les caractéristiques des traitements sont résumées dans le tableau II.

Tableau II
Étude de la taille des cartons d'emballage (C_n = carton d'environ n kg).

	Traitements (cartons)		
	C_1	C_3	C_{18}
Contenance (kg)	0,9 à 1,2	2 à 3	18,4
Type	Petit	Intermédiaire	Américain
Dimension (cm)	24 x 17,5 x 11	24 x 23 x 23	52 x 39 x 22
Surface film (m ²)	0,15	0,45	2,75
Nb bouquets inoculés	1	1	1
Nb bouquets sains	0	2	15 à 20

Tableau III
Définition du modèle expérimental.

	Traitements							
	Sac clos				Film ouvert			
	S_1	S_2	S_3	S_4	F_1	F_2	F_3	F_4
Contenance carton (kg)	1	1	18,4	18,4	1	1	18,4	18,4
Inoculum (spores/ml)	10^4	10^6	10^4	10^6	10^4	10^6	10^4	10^6

Les trois traitements ont été testés en sacs clos et l'inoculum a été calibré à 10^6 spores.

pression de l'inoculum

L'effet de la pression de l'inoculum a été testé dans une seconde expérimentation.

Quatre concentrations de conidies ont été testées en sac clos par rapport à un témoin I_0 (eau distillée) :

- I_0 : 150 µl d'eau distillée (0 spore/ml) ;
- I_2 : 150 µl d'une solution calibrée à 10^2 spores/ml ;
- I_3 : 150 µl d'une solution calibrée à 10^3 spores/ml ;
- I_4 : 150 µl d'une solution calibrée à 10^4 spores/ml ;
- I_6 : 150 µl d'une solution calibrée à 10^6 spores/ml.

Les dimensions de l'emballage et le nombre de bouquets ont été définis à partir des résultats de la première expérimentation.

définition d'un modèle expérimental

Une troisième expérimentation a permis de définir le modèle expérimental et d'étudier l'effet de l'emballage en sac clos sur le développement des nécroses dues à *C. musae*. Dans cette étape, trois facteurs ont été croisés : la taille du carton, la concentration en inoculum et le type d'emballage plastique.

Il s'agissait de :

- comparer le développement des nécroses sur fruits inoculés, avec deux inoculums de respectivement 10^4 et 10^6 spores/ml (tests réalisés séparément) ; les bananes ont alors été emballées en sac clos dans des cartons de 18,4 kg et de 1 kg ;
- comparer le conditionnement en film ouvert et en sac clos avec des cartons de tailles différentes et des inoculums différents.

Les différents traitements sont présentés dans le tableau III.

● résultats

taille du carton

La figure 1 montre l'évolution des surfaces des nécroses au cours du temps en fonction des trois types de conditionnement. En fin de stockage, les moyennes des surfaces des nécroses sont très

proches : 521,3 mm² pour les cartons de 1 kg (C₁), 514,3 mm² pour les cartons de 3 kg (C₃) et 612,4 mm² pour les cartons de 18 kg (C₁₈). L'analyse de variance au seuil de 5% n'a pas permis de mettre en évidence une différence significative entre ces trois moyennes.

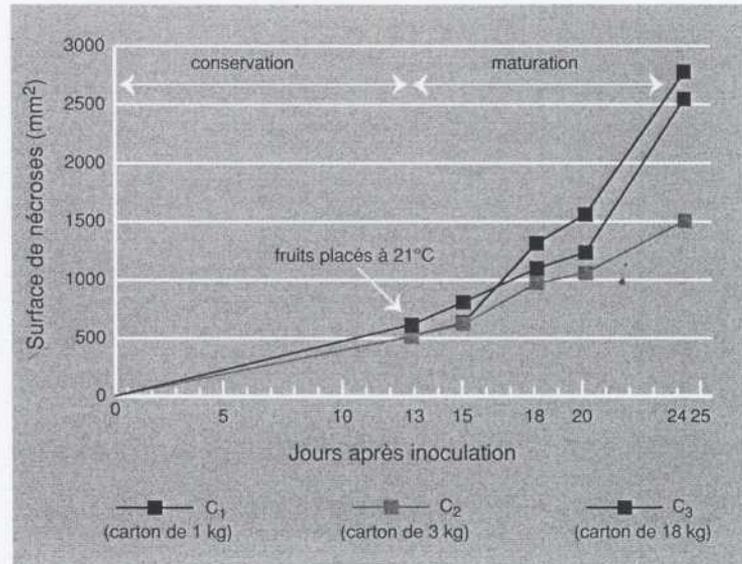
Durant cette phase de conservation, la vitesse de maturation (VM) est nulle et la vitesse de développement des nécroses (VDN) est faible, inférieure à 50 mm²/j (tableau IV). Ces valeurs sont très proches pour les trois types de carton.

Pendant la phase de maturation, les surfaces de nécroses évoluent pour atteindre des valeurs supérieures à 2500 mm² pour C₁ et C₁₈, et inférieures à 2000 mm² pour C₃. Au seuil de 5%, il n'y a aucune différence significative entre ces valeurs (fig 1).

La vitesse de développement des nécroses augmente beaucoup, ainsi que la vitesse de maturation. Les vitesses de maturation sont comparables pour les trois traitements (tableau IV), et les vitesses de développement des nécroses de C₁ et C₁₈ sont très proches.

pression de l'inoculum

La figure 2 montre l'évolution des surfaces des nécroses au cours du temps pour les traitements I₄ (10⁴ spores/ml) et I₆ (10⁶ spores/ml). Les autres traitements ne sont pas représentés sur le graphique à cause de l'absence de développement de chancres pour I₀ et I₂, et de développements très hétérogènes pour I₃. En fin de stockage, les surfaces de nécroses atteignent des valeurs statistiquement différentes : 469 mm² pour I₆ et 170 mm² pour I₄.



Les vitesses de maturation sont nulles pour ces deux traitements, alors que la vitesse de développement des nécroses est beaucoup plus élevée pour I₆ que pour I₄ (tableau V).

Figure 1
Évolution de la surface des nécroses dues à *C. musae* dans différents types de cartons d'emballage.

Au cours de la phase de maturation, l'écart entre les surfaces des nécroses dans les deux traitements est toujours significatif et à peu près constant et les vitesses de développement des nécroses deviennent alors très proches (tableau V). Les vitesses de maturation restent aussi équivalentes.

définition d'un modèle expérimental

La figure 3 montre l'évolution des surfaces des nécroses quand l'inoculum est calibré à 10⁶ spores/ml pour différents types d'emballage. La figure 4 représente cette évolution avec un inoculum de 10⁴ spores/ml.

Tableau IV

Vitesse de développement des nécroses, VDN (mm²/j) et vitesse de maturation, VM (degré de maturité/j), comparées sur fruits inoculés lors des phases de stockage et de maturation dans différents types de cartons d'emballage.

	C ₁	C ₂	C ₃
<i>Stockage (0 à 13 j)</i>			
VDN	40,1	39,5	47,1
VM	0	0	0
<i>Stockage (13 à 24 j)</i>			
VDN	199,6	86,1	149,4
VM	0,31	0,22	0,23

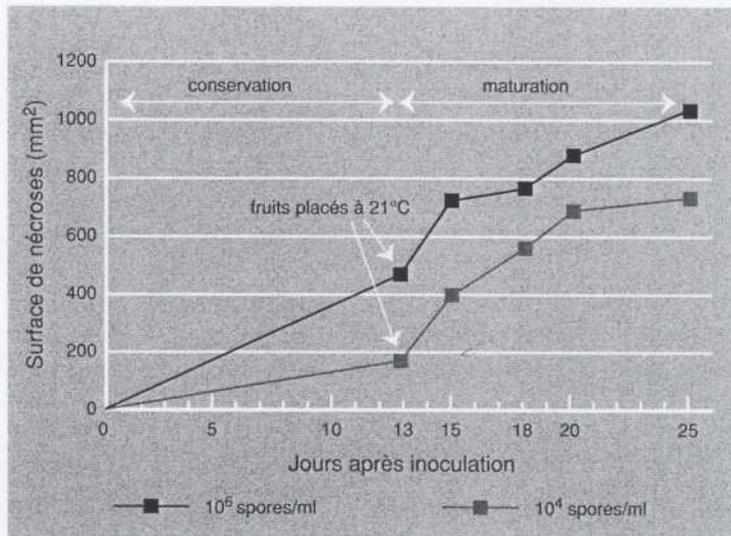


Figure 2
Effets de différentes concentrations de spores de *C musae* sur l'évolution de la surface des nécroses.

Deux résultats apparaissent clairement sur ces figures, ainsi que dans les tableaux VI, VII et VIII :

- la dimension du carton d'emballage et le rapport du nombre de fruits inoculés sur le nombre de fruits sains n'ont eu aucune influence sur la vitesse de développement des nécroses et la vitesse de maturation au sein d'un même type de traitement (film ou sac) ; les surfaces des nécroses trois semaines après l'inoculation sont données dans le tableau VI ;
- il y a un effet significatif très marqué du type d'emballage plastique sur la vitesse de développe-

ment des nécroses et sur la vitesse de maturation. L'analyse statistique montre que, quelle que soit la pression d'inoculum, les nécroses se développent toujours plus vite dans les films que dans les sacs. Il en est de même pour l'évolution de la maturation (tableaux VII et VIII).

● discussion

L'expérimentation portant sur la taille du carton montre qu'il est possible d'utiliser des volumes réduits de fruits pour étudier l'effet de l'emballage sur le développement des nécroses lorsque la constante de la surface de film rapportée à la masse de fruits est respectée. La dimension du carton, le nombre de bouquets inoculés rapporté au nombre de bouquets totaux et la masse de fruits n'ont aucune influence sur le développement des nécroses : les essais en cartons de 1 kg sont tout à fait représentatifs du développement du chancre, obtenu en carton classique.

Les différentes concentrations de spores testées montrent que l'inoculum doit être calibré entre 10⁴ et 10⁶ spores/ml pour obtenir une bonne homogénéité de développement des nécroses. Avec des concentrations inférieures, le développement des chancres est beaucoup trop hétérogène.

Dans le cadre d'un modèle expérimental utilisé pour étudier l'effet de l'emballage, il semble judicieux de retenir une pression d'inoculum où les vitesses de développement des nécroses, à 13,5°C, sont les moins élevées : cette concentration correspond à 10⁴ spores/ml. Ce choix résulte uniquement du fait que les effets du mode d'emballage peuvent être masqués par des vitesses de développement des nécroses trop importantes si l'inoculum est trop concentré.

Sur la base de ces expérimentations, un modèle d'étude de l'effet du conditionnement sur le développement des nécroses dues à *C musae* a pu être défini. Il présente les caractéristiques suivantes :

- taille du carton de 24 cm x 17,5 cm x 11 cm ;
- bouquet de quatre doigts issu d'une seconde main d'un régime récolté à l'IFC ;
- rapport de la surface de film à la masse de fruits égal à 0,15 m²/kg ;
- inoculum de 10⁴ spores/ml ;
- température de stockage de 13,5°C.

Tableau V
Vitesse de développement des nécroses, VDN (mm²/j) et vitesse de maturation, VM (degré de maturité/j), comparées lors des phases de stockage et de maturation après inoculation de fruits avec différentes concentrations de conidies de *C musae* (10⁴ et 10⁶ spores/ml).

	1 ₄	1 ₆
<i>Stockage (0 à 13 j)</i>		
VDN	13,1	36,1
VM	0	0
<i>Stockage (13 à 25 j)</i>		
VDN	45,5	42,6
VM	0,18	0,22

L'analyse conjointe des trois types de facteurs vérifie la cohérence de ce modèle expérimental et montre par ailleurs l'effet de l'emballage sur le développement des nécroses. À 13,5°C, les vitesses de développement de ces nécroses sont deux fois plus élevées sur les fruits conditionnés en film que sur ceux conditionnés en sac clos. De même, les vitesses de maturation sont toujours plus importantes avec les emballages en film. Il apparaît donc clairement que le sac clos provoque un ralentissement du développement des nécroses dues à *C. musae*.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'effet de l'emballage en sac sur la réduction du développement des nécroses. L'action du sac fermé peut avoir un effet direct sur divers paramètres relatifs à la croissance et au développement du champignon, ou alors affecter la physiologie du fruit (augmentation de la durée de vie verte, etc) et ralentir indirectement l'évolution des nécroses.

Si des modifications de la physiologie du fruit permettent une réduction du développement des nécroses, deux paramètres induits par l'emballage en sac peuvent en être la cause. L'humidité relative élevée (BEN-YEHOSHUA, 1985) et l'atmosphère modifiée créée à l'intérieur du sac (MAC GLASSON et WILLS, 1972) entraînent une augmentation de la durée de vie verte, ce qui pourrait maintenir le fruit dans un état biochimique moins propice au développement de *C. musae*.

MAC GLASSON et WILLS (1972) ont montré que, en plus de l'effet sur la respiration des bananes, des atmosphères modifiées composées de 5% de CO₂ et de 3% d'O₂ ont un effet direct sur divers systèmes enzymatiques et sont capables d'induire une voie métabolique particulière. En effet, SIRIPHANICH et KADER (1985) ont mis en évidence, sur la laitue, que des traitements au CO₂ affectaient l'activité de la phénylalanine-ammonia-lyase (PAL), enzyme clef impliquée dans la synthèse des composés phénoliques.

Le pathogène peut aussi être directement affecté par le type d'emballage. Des études sur la conservation de légumes comme le céleri et le chou de Bruxelles ont montré qu'à basse température, une hygrométrie très élevée (98-100%) avait un effet répressif sur le développement des altérations d'origine fongique (PENDERGRASS et ISENBERG, 1974 ; LENTZ et

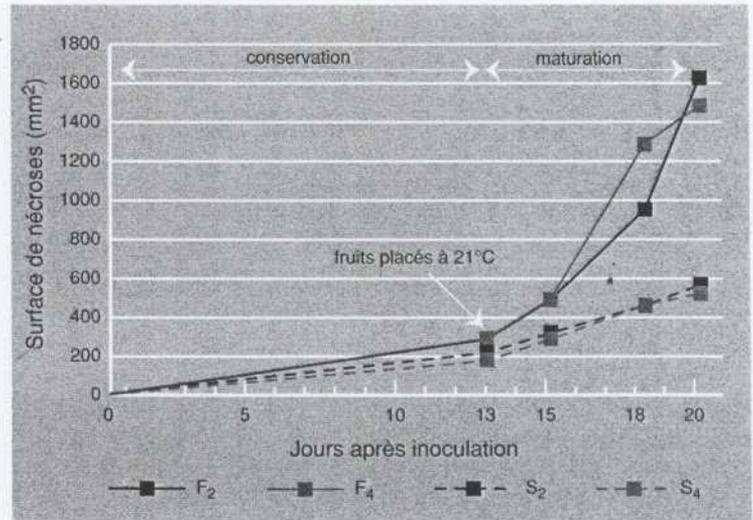


Figure 3
Effet du type d'emballage sur l'évolution des nécroses dues à *C. musae* avec un inoculum calibré à 10⁶ spores/ml. F₁, F₄, S₂, S₄ : traitements présentés dans le tableau III.

VAN DEN BERG, 1971). De la même façon, il pourrait y avoir un effet direct de la baisse de la teneur en O₂ et de l'augmentation de la concentration en CO₂, sur la croissance et le développement du champignon. EL GOORANI et SOMMER (1979) ont mis en évidence, sur *C. gloeosporioides*, une réduction de croissance *in vitro* du champignon sous des atmosphères modifiées composées de 5 à 18% de CO₂, avec des teneurs en O₂ variant de 2,3 à 20%.

Figure 4
Effet du type d'emballage sur l'évolution des nécroses dues à *C. musae* avec un inoculum calibré à 10⁶ spores/ml. F₁, F₃, S₁, S₃ : traitements présentés dans le tableau III.

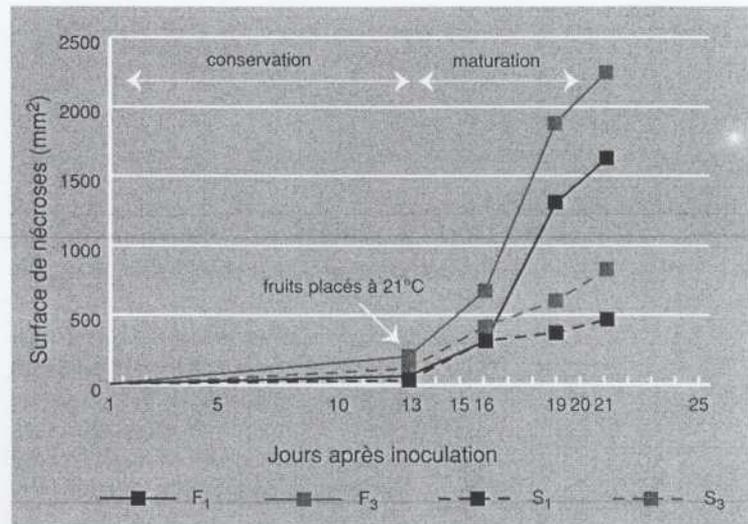


Tableau VI
Surfaces des nécroses dues à *C musae*, en mm², 3 semaines après l'inoculation.

	Film ouvert		Sac clos	
	F ₁	F ₃	S ₁	S ₃
Inoculum 10 ⁴ spores/ml				
Nécrose (mm ²)	1626a	2245a	468b	826b
Inoculum 10 ⁶ spores/ml				
Nécrose (mm ²)	1627a	1485a	570b	522b

a, b : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

Tableau VII
Vitesse de développement des nécroses, VDN (mm²/j) et vitesse de maturation, VM (degré de maturité/j), comparées sur fruits inoculés à 10⁶ spores/ml et conservés dans différents types de carton et d'emballage.

	Film ouvert		Sac clos	
	F ₂	F ₄	S ₂	S ₄
<i>Stockage (0 à 13 j)</i>				
VDN	22,1	22,4	16,9	13,9
VM	0,12	0,16	0	0,1
<i>Stockage (13 à 25 j)</i>				
VDN	185,6	185,1	49,4	50,2
VM	0,48	0,35	0,17	0,16

Tableau VIII
Vitesse de développement des nécroses, VDN (mm²/j), et vitesse de maturation, VM (degré de maturité/j), comparées sur fruits inoculés à 10⁴ spores/ml et conservés dans différents types de carton et d'emballage.

	Film ouvert		Sac clos	
	F ₁	F ₃	S ₁	S ₃
<i>Stockage (0 à 13 j)</i>				
VDN	4,6	15,8	2,7	8,6
VM	0,01	0,07	0	0,03
<i>Stockage (13 à 24 j)</i>				
VDN	210,6	271,8	50,6	85,7
VM	0,49	0,41	0,16	0,23

Ces différents éléments montrent la complexité du phénomène étudié et la diversité des facteurs potentiellement impliqués. La définition du modèle expérimental, qui a été développé ici, constitue donc un préambule méthodologique indispensable pour étudier ultérieurement ces différents facteurs.

références

- Artschwager E (1927) Wound periderm formation in the potato as affected by temperature and humidity. *J Agric Res* 17, 137-152
- Ben-Yehoshua S (1985) Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film. A new postharvest technique. *HortScience* 20, 32-37
- Bompeix G (1978) The comparative development of *Pezicula alba* and *P malicorticis* on apples and *in vitro* (air and controlled atmosphere). *Phytopath Z* 91, 97-109
- Brown WA (1922) On the germination and growth of fungi at various temperatures and in various concentrations of oxygen and carbon dioxide. *Ann Bot (London)* 36, 257-283
- De Lapeyre de Bellaire L, Nolin J (1994) Amélioration du contrôle du chancre sur les bananes d'exportation et traitements post-récolte. *Fruits* 49 (3), 179-185
- Deullin R (1961) Perte de poids par déshydratation et respiration des régimes de bananes en plantation et pendant le transport maritime. *Fruits* 16 (11), 527-537
- El-Goorani MA, Sommer NF (1979) Suppression of postharvest plant pathogenic fungi by carbon monoxide. *Phytopathology* 69 (8), 834-838
- Frankel C (1889) Die Einwirkung der Kohlensäure auf die Lebenstätigkeit der Mikroorganismen. *Zeitschr f Hyg* 5, 322-362
- Frossard P (1969) Action du thiabendazole et du benlate sur l'antracnose des bananes et son champignon pathogène *Colletotrichum musae*. *Fruits* 24 (78), 365-379
- Frossard P (1970) *Étude de la sensibilité des bananes à l'antracnose de blessure*. Paris, France. Diplôme d'études supérieures de Sciences naturelles, université Paris Orsay, 34 p
- Frossard P, Laville E, Plaud G (1976) Étude des traitements fongicides appliqués aux bananes après récolte. III - Action de l'imazalil. *Fruits* 31 (6), 361-364
- 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
- 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
- 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 (9), 493-504
- Joas J (1992) *Essais de conservation et de maturation de bananes conditionnées à l'unité*. Montpellier, France, CIRAD-IRFA, document interne, 36 p
- Julien JB, Phillips WR (1963) Note on the effect of carbon dioxide and oxygen mixtures on the growth of apple scab cultures. *Can J Plant Sci* 43, 227
- Lentz CP, Van Den Berg L (1971) Study of factors affecting temperature, relative humidity and moisture loss in fresh fruit and vegetable storage. *J Inst Can Technol Aliment* 4, 146-153

- MacGlasson WB, Wills RBH (1972) Effects of oxygen and carbon dioxide on respiration, storage life, and organic acids of green bananas. *Aust J Biol Sci* 25, 35-42
- Marcellin P (1974) Conservation des fruits et légumes en atmosphère contrôlée, à l'aide de membranes de polymères. *Rev Gén Froid* 3, 217-235
- Meredith DS (1960) Studies on *Gloeosporium musarum* Cke & Massee causing storage rots of Jamaican bananas. II - Some factors influencing anthracnose development. *Ann Appl Biol* XLVIII, 518-528
- Montgomery HBS (1958) Storage conditions in relation to *Gloeosporium* rots. *East Malling Research Sta Ann Rep*, 140-141
- Nolin J (1990) *Amélioration de la qualité de la banane d'exportation*. Guadeloupe, CIRAD-IRFA, document interne, 18 p
- Pendergrass A, Isenberg FMR (1974) The effect of relative humidity on the quality of cabbage. *Hortscience* 9, 226-227
- Siriphanich J, Kader AA (1985) Effect of CO₂ on total phenolics, phenylalanine ammonia lyase and polyphenol oxidase in lettuce tissue. *J Am Soc Hort Sci* 110, 249-253
- Wardlaw CW (1961) *Banana Diseases*. Longmans, Londres, 648 p