

# Conditionnement en polybag pour le contrôle de l'antracnose de blessures des bananes

M CHILLET  
L DE LAPEYRE DE BELLAIRE  
Cirad-Flhor  
Station de Neufchâteau  
Sainte-Marie  
97130 Capesterre Belle-Eau  
Guadeloupe (FWI)

Reçu le 10 avril 1995  
Accepté le 24 juin 1996

## Conditionnement en polybag pour le contrôle de l'antracnose de blessure des bananes.

### RÉSUMÉ

L'antracnose de blessure due à *Colletotrichum musae* est la principale cause de dévalorisation commerciale des bananes antillaises. Les nécroses apparaissent durant les phases de conservation et de maturation des fruits. L'intérêt d'un conditionnement en sac polyéthylène clos (polybag) a été comparé à celui d'un emballage classique en polyfilm. Pendant une période de conservation de 28 jours à 13,5 °C, la vitesse de développement des nécroses dues au champignon et la vitesse de maturation des fruits ont été considérablement ralenties tant que les polybags ont été maintenus fermés. Lors de périodes de conservation plus courtes, les effets des emballages avec polyfilm ou polybag ont été peu différents. L'effet du polybag, observé lorsque la conservation dure 28 jours, résulte d'une modification des teneurs en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> dans l'emballage, et non d'une réduction des pertes en eau des fruits.

### MOTS CLÉS

Banane, matériel de conditionnement, film plastique, lutte antiparasite à l'entrepôt, antracnose, *Colletotrichum musae*, maturation, vitesse.

## Polybag packaging to control the anthracnose of banana.

### ABSTRACT

Anthrachnose caused by *Colletotrichum musae* is the main factor responsible for the market depreciation of West Indian bananas. Necrosis begins developing during the fruit storage and ripening phases. The advantages of packaging banana bunches in sealed plastic bags (polybags), as compared to standard polyfilm packaging, are discussed. During a 28 day storage period at 13.5 °C, rates of fungal rot development and fruit ripening were considerably slowed down when polybags were kept sealed. Over shorter storage periods, the results obtained with polybags and polyfilm were almost identical. The polybag effect during the longer storage period was due to a modification of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> levels in the bags, not to reduced fruit water loss.

### KEYWORDS

Bananas, packaging equipment, plastic film, stored product pest control, anthracnoses, *Colletotrichum musae*, maturation, velocity.

## Acondicionamiento en bolsas polietilenas para el control de la antracnosis de herida de los bananos.

### RESUMEN

La antracnosis de herida debida a *Colletotrichum musae* es la principal causa de desvalorización comercial de las bananas antillanas. Las necrosis aparecen durante las fases de conservación y de maduración de las frutas. El interés de un acondicionamiento en bolsa polietilena cerrada (polybag) fue comparado con el del embalaje clásico con películas de plástico. Durante un período de conservación de 28 días a 13,5 °C, la velocidad de desarrollo de las necrosis debidas al hongo y la velocidad de maduración de las frutas fueron considerablemente frenadas tanto como las bolsas polietilenas se mantuvieron cerradas. Durante períodos de conservación más cortos, los efectos de los embalajes con películas de plástico o bolsas polietilenas fueron poco diferentes. El efecto de las bolsas polietilenas, observado cuando la conservación dura 28 días, resulta de una modificación de las cantidades de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> en el embalaje, y no de una reducción de las pérdidas en agua de las frutas.

### PALABRAS CLAVES

Banano, maquinaria de embalaje, película plástica, control de plagas, antracnosis, *Colletotrichum musae*, maduración, velocidad.

## ● introduction

L'antracnose de blessure, due à *Colletotrichum musae* (Berk & Curtis) Arx, est la principale maladie après récolte affectant les bananes d'exportation en provenance des Antilles. Cette maladie, également appelée chancre, se déclare au cours du stockage, et pendant la phase de maturation des fruits, à partir de blessures de l'épiderme occasionnées lors des manipulations de récolte, de découpe et de mise en carton des bananes (MEREDITH, 1960).

Les conidies de *C. musae* contaminent les fruits au champ, germent rapidement et forment un *appressorium*. Le champignon reste sous cette forme quiescente jusqu'à la maturation des bananes. Le mycélium colonise alors la peau, puis la pulpe du fruit provoquant l'apparition de nécroses brunes (CHAKRAVARTY, 1957 ; MUIRHEAD et DEVERALL, 1981). Ces nécroses sont particulièrement allongées (chancre) au niveau des blessures, rendant les bananes impropres à la commercialisation ; par ailleurs, l'éthylène provenant des tissus nécrosés (SIMMONDS, 1963 ; DOMINGUEZ et VENDRELL, 1993) et de *C. musae* (PEACOCK et MUIRHEAD, 1974) provoque une maturation accélérée des fruits (mûrs d'arrivage).

La lutte contre l'antracnose est principalement réalisée au moyen d'un traitement après récolte effectué avec du thiabendazole. L'apparition de souches résistantes à ce fongicide (DE LAPEYRE et DUBOIS, à paraître), ainsi que le manque d'efficacité de ces traitements dans certaines zones de la bananeraie antillaise, sont autant d'incitations à la mise en œuvre de nouvelles techniques de lutte. Les voies de recherche envisagées portent sur un meilleur contrôle de la contamination des fruits au champ, mais aussi sur une amélioration du conditionnement pour limiter son impact sur le développement de la maladie durant le stockage.

Le conditionnement classique de la banane est constitué d'un carton perforé, doublé d'un emballage en polyéthylène. Deux types d'emballage plastique sont utilisés aux Antilles françaises : le polyfilm qui recouvre simplement les fruits et qui est ouvert à ses extrémités, et le polybag qui est un sac fermé hermétiquement.

Si le polyfilm est actuellement le type d'emballage le plus utilisé, le polybag a des propriétés qui se

révèlent intéressantes pour le stockage des fruits. Il permettrait, en effet, d'une part, d'augmenter de façon très importante la durée de la phase préclimactérique de la banane (SCOTT et ROBERTS, 1966 ; TRUTER et COMBRINK, 1990) et, d'autre part, de limiter le développement de nécroses dues à *C. musae* (CHILLET et al, 1995). A l'intérieur des polybags, il se produit une modification de l'atmosphère, caractérisée par une augmentation de l'humidité relative et par un changement des teneurs en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>. La modification d'un de ces paramètres, ou de la combinaison de ceux-ci, pourrait être à l'origine de la réduction des nécroses, observée au cours de cette phase de stockage des fruits.

L'hygrométrie élevée à l'intérieur de l'emballage permet de limiter la perte d'eau des fruits due à la transpiration (DEULLIN, 1961 ; JOAS, 1992). Cela entraîne une augmentation de la durée de la phase préclimactérique (BEN-YEHOSHUA, 1985 ; TUNG et al, 1987), car, dans une atmosphère à faible taux d'humidité relative (30-40 %), la conservation de bananes se caractérise par un déclenchement précoce des processus de maturation et, notamment, la production d'éthylène à partir de la peau des fruits (GEORGE et MARRIOTT, 1983 ; BURDON et al, 1994).

Lorsque l'humidité relative augmente, certaines interactions hôte-pathogène sont modifiées ; ainsi, généralement, une forte hygrométrie favorise le développement des pourritures (PAULIN, 1966). Cependant, il s'avère que certaines maladies sont mieux contrôlées en atmosphères très humides (HARVEY, 1978) qu'en air plus sec : pour l'interaction pomme de terre nouvelle - pourriture bactérienne, ARTSCHWAGER (1927) a montré qu'un fort taux d'humidité relative (HR) entraînait un ralentissement du développement des pourritures grâce à une meilleure subérisation des tissus de l'hôte ; pour le chou, le céleri et le poireau, PENDERGRASS et ISENBERG (1974), ainsi que LENTZ et VAN DEN BERG (1971), ont également mis en évidence un meilleur contrôle des pourritures à des taux compris entre 98 % et 100 % HR qu'à des taux de 90 % HR.

Par ailleurs, du fait de la respiration des fruits et de la perméabilité sélective de certaines membranes de polymères, l'emballage des fruits dans un polybag entraîne une baisse de la teneur en O<sub>2</sub> et une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub>

(MARCELLIN, 1974). Les valeurs d'équilibre atteintes après stabilisation des teneurs en CO<sub>2</sub> et en O<sub>2</sub> dépendent de l'intensité respiratoire des fruits, de la perméabilité à ces gaz du polyéthylène constituant l'emballage et de la surface du film (GEESON, 1988). Cette modification de la composition gazeuse, qui réduit l'intensité respiratoire des fruits et limite la synthèse d'éthylène endogène (MAPSON, 1970), permet d'augmenter considérablement la durée de la phase préclimactérique des fruits climactériques (MAC GLASSON et WILLS, 1972 ; NAIR et TUNG, 1992).

Ces atmosphères modifiées ont également la propriété d'inhiber le métabolisme de certains agents pathogènes (JULIEN et PHILLIPS, 1963). Ainsi, WELLS et UOTA (1970) ont mis en évidence l'effet inhibiteur de faibles teneurs en O<sub>2</sub> (inférieures à 1 %) et aussi de fortes teneurs en CO<sub>2</sub> (supérieures à 16 %) sur la germination et la croissance *in vitro* de cinq champignons provoquant des pourritures sur fraises.

L'étude présentée a permis d'évaluer l'intérêt de l'utilisation de polybags pour le contrôle de l'anthracnose des bananes au cours de la phase de stockage ; elle a conduit à préciser l'origine du (ou des) facteur (s) responsable (s) de l'effet inhibiteur de l'emballage en polybag sur le développement des nécroses dues à *C musae*, effet qui a pu être mis en évidence ultérieurement.

## ● matériel et méthode

Les expérimentations ont été menées à l'aide du modèle expérimental décrit par CHILLET et al (1995).

### échantillonnage

Le matériel végétal utilisé (triploïde *acuminata*) appartenait au cultivar Grande naine du sous-groupe Cavendish. Les échantillonnages ont été effectués dans les bananeraies de la station expérimentale du CIRAD-FLHOR, du domaine de Neufchâteau (Capesterre, Guadeloupe).

Les bananes 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 ont toutes été prélevées sur des secondes mains caractérisées par :

- un nombre de fruits supérieur à 20 ;
- des grades et longueurs de doigts équivalents ;
- l'absence de fruits non conformes ;
- un ensemble de fruits sans défauts observables.

Chaque main a été découpée en bouquets de quatre doigts ; les fruits d'une même main ont été considérés comme faisant partie d'un même bloc. L'échantillon total a été constitué de quinze mains.

### inoculation artificielle des bouquets

Pour favoriser l'écoulement du latex, les bouquets ont été lavés au Bactérol après la découpe. Les pédoncules des fruits ont été traités au thiabendazole (TBZ) par trempage pendant 2 minutes dans une solution à 500 ppm, afin d'éviter le développement de pourritures sur les coussinets, car cela aurait pu perturber l'analyse des résultats faite après inoculations artificielles. Ce traitement n'a pas affecté le développement des nécroses.

Sur chacun des bouquets expérimentaux, un fruit a été choisi pour subir une inoculation avec *C musae*. Il a été désinfecté superficiellement à l'éthanol 50 %, puis blessé à l'aide d'un emporte-pièce de 10 mm de diamètre, enfoncé à une profondeur de 2 mm (FROSSARD, 1970).

Trois souches de *C musae*, pathogènes et sensibles au thiabendazole, ont été utilisées. Des conidies ont été prélevées par lavage à l'eau stérile de cultures âgées de 10 jours, entretenues sur un milieu PDA (pomme de terre - dextrose - agar). La concentration a été calibrée à 10<sup>4</sup> conidies / ml et l'inoculation a été effectuée en appliquant sur la blessure l'emporte-pièce préalablement trempé dans la suspension conidienne.

### conditionnement des bouquets

Le modèle expérimental utilisé a permis de travailler à une échelle réduite, avec des cartons contenant un bouquet unique, soit environ 1 kg de fruits (CHILLET et al, 1995).

Ces cartons avaient une dimensions de 0,24 m × 0,175 m × 0,11 m et présentaient deux perforations circulaires de 3 cm de diamètre, sur chacun des quatre côtés.

Les bouquets ont été emballés en polyfilm ou en polybag, en maintenant constant le rapport [surface de film (SF) / masse de fruit (MF)]. Dans tous les cas, ce rapport SF/MF a été de 0,15 m<sup>2</sup>/kg.

## conservation des fruits

Les cartons ont été disposés selon un dispositif aléatoire dans une chambre ventilée à 13,5 °C et stockés pendant des temps variables. Après cette phase de conservation, ils ont été placés à 21 °C et les polybags ont été ouverts pour permettre la maturation des fruits.

## évolution des nécroses

Au cours du stockage puis de la maturation des fruits, la longueur (L) et la largeur (l) des nécroses ont été mesurées tous les 2 jours à partir de l'apparition des premiers symptômes. La surface des nécroses (S) a ensuite été calculée par la formule évaluant l'aire d'une ellipse :  $S = L \times l \times \pi/4$ . La vitesse de développement des nécroses (VDN) a été évaluée par une régression linéaire de l'évolution des surfaces au cours du temps.

L'échelle colorimétrique présentée dans le tableau I a permis de mesurer le degré de maturité des fruits.

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

Les valeurs de VDN et de VM ont été calculées séparément pour les phases de conservation et de maturation. Une analyse de variance et un test de Newman-Keuls au seuil de 5 % ont été réalisés pour comparer la surface des nécroses due aux différents traitements, au terme de la phase de conservation, et pour analyser les diverses valeurs de VDN et de VM au cours des phases de stockage et de maturation des fruits.

## caractéristique des films testés pour l'emballage des bananes

Une première expérimentation a été menée en mars 1994, pour comparer le polyfilm et le polybag, avec différentes durées de conservation, à 13,5 °C.

Le film polybag utilisé avait une épaisseur de 16 µ, et le polyfilm, 20 µ (standard utilisé par les planteurs). Les fruits ont été conservés 10, 17 ou 28 jours à 13,5 °C, puis transférés à 21 °C, température à laquelle les polybags ont été ouverts.

Tableau I

Échelle colorimétrique permettant de suivre l'évolution de la maturité des bananes.

Stade 1	Fruit vert
Stade 2	Fruit tournant
Stade 3	Fruit jaune à bouts verts
Stade 4	Fruit jaune
Stade 5	Fruit tigré

Le polybag utilisé possédait une perméabilité au CO<sub>2</sub> (P CO<sub>2</sub>) de 82 300 cm<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / 24 h à 1 bar (0 % HR et 23 °C), et une perméabilité à l'O<sub>2</sub> (P O<sub>2</sub>) de 18 000 cm<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / 24 h à 1 bar (0 % HR et 23 °C), soit un rapport [P CO<sub>2</sub> / P O<sub>2</sub>] de 4,57.

Une seconde expérimentation a été menée en avril 1994, pour évaluer l'effet de l'hygrométrie et de la composition gazeuse à l'intérieur du polybag sur le développement des nécroses sur des fruits conservés pendant 28 jours à 13,5 °C. Pour cela, trois traitements testant la conservation des bananes sous polyfilm, en polybag sans perforation et en polybag perforé ont été comparés ; les caractéristiques des films utilisés ont été les suivantes :

- T<sub>0</sub> : polyfilm de basse densité, ayant une épaisseur de 20 µ ;
- T<sub>1</sub> : polybag de basse densité, ayant une épaisseur de 55 µ ;
- T<sub>2</sub> : polybag de basse densité, perforé (huit perforations réalisées à l'aide d'une aiguille de 0,25 mm<sup>2</sup> sur les côtés des sacs), ayant une épaisseur de 55 µ.

Le polybag utilisé possédait une perméabilité au CO<sub>2</sub> (P CO<sub>2</sub>) de 18 100 cm<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / 24 h à 1 bar (0 % HR et 23 °C), et une perméabilité à l'O<sub>2</sub> (P O<sub>2</sub>) de 3 900 cm<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / 24 h à 1 bar (0 % HR et 23 °C), soit un rapport [P CO<sub>2</sub> / P O<sub>2</sub>] de 4,64.

Après la phase de conservation de 28 jours à 13,5 °C, les fruits ont été transférés à 21 °C, température à laquelle les polybags ont été ouverts. Auparavant, les teneurs en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> ont été mesurées à l'aide d'un analyseur O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub> Carbox Y (Pekly Hermann Moritz). Les pertes en eau ont été évaluées à l'ouverture des polybags (pesée des bouquets avant l'emballage et après la phase de conservation).

## ● résultats

évolution des nécroses et vitesse de maturation des fruits, en fonction du type d'emballage utilisé pendant la phase de conservation (13,5 °C)

Selon la durée de conservation (10, 17 ou 28 jours) des fruits en entrepôt (13,5 °C), le type d'emballage, sous polyfilm ou avec polybag, n'a pas eu le même effet sur l'évolution des nécroses causées par *C musae*.

Pour les bananes conservées pendant 10 ou 17 jours, il n'y a pas eu de différences entre les deux types d'emballage (fig 1) ; après 28 jours de stockage, en revanche, les fruits conditionnés sous polyfilm ont été significativement plus contaminés que ceux mis en polybag.

En revanche, après 28 jours de stockage, les nécroses des fruits conditionnés sous polyfilm sont significativement plus importantes que celles des fruits mis en polybag (tableau II).

Par ailleurs, après 28 jours de conservation, les bananes emballées sous polyfilm se sont trouvées pratiquement toutes au dernier stade de maturation, alors que celles conservées en polybag étaient

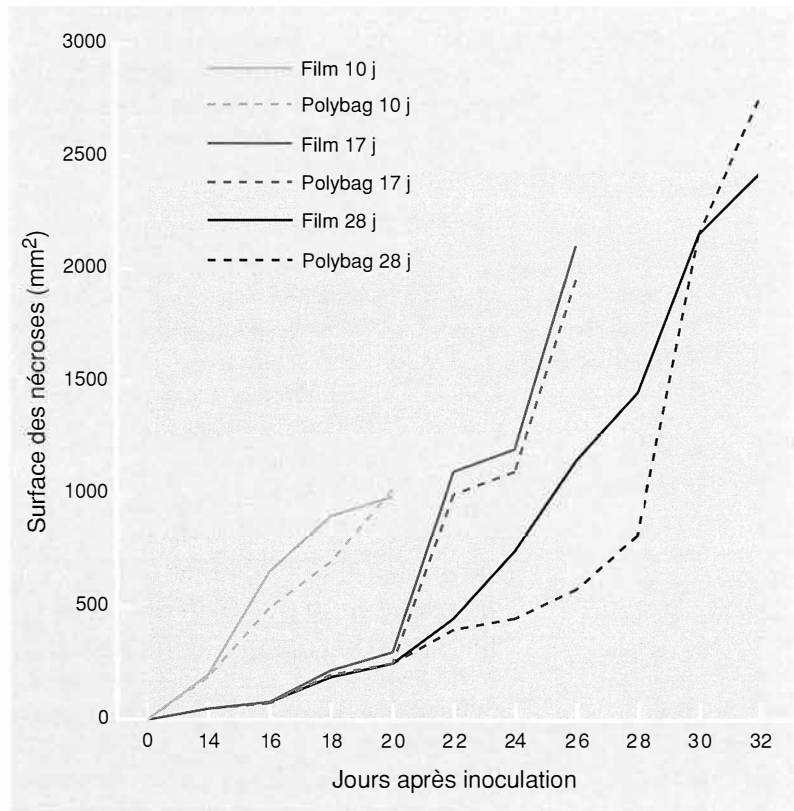


Figure 1  
Évolution de la surface des nécroses (mm<sup>2</sup>) sur des bananes emballées soit sous polyfilm, soit en polybags, pendant des périodes de conservation variables (10, 17 et 28 jours).

Tableau II

Comparaison des vitesses de développement des nécroses (VDN) dues à *Colletotrichum musae* et des vitesses de maturation (VM) des bananes, au cours des phases de conservation à 13,5 °C et de mûrissage à 21 °C, selon le type d'emballage utilisé (polyfilm ou en polybag). Trois durées de conservation à 13,5 °C ont été testées. Les analyses de variance ont été effectuées entre les VDN et les VM des traitements ayant des durées de conservation équivalentes (10, 17 et 28 jours).

	Phase de conservation		Phase de mûrissage	
	VDN	VM	VDN	VM
Polyfilm 10 jours	5,03 (ns)	0,00 (ns)	140,13 (ns)	0,45 (ns)
Polybag 10 jours	3,28 (ns)	0,00 (ns)	113,99 (ns)	0,48 (ns)
Polyfilm 17 jours	13,20 (ns)	0,04 (a)	220,70 (ns)	0,46 (ns)
Polybag 17 jours	11,00 (ns)	0,00 (b)	235,18 (ns)	0,48 (ns)
Polyfilm 28 jours	50,87 (a)	0,12 (a)	262,33 (ns)	0,4
Polybag 28 jours	24,48 (b)	0,02 (b)	389,45 (ns)	/

a, b : groupes homogènes d'après le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % quand il y a une différence significative entre les deux traitements ;  
ns : test non significatif.

encore vertes. En fait, la vitesse de maturation des fruits (VM), évaluée au cours de la phase de conservation, a été significativement différente selon le type d'emballage, pour les lots stockés pendant les durées les plus longues (17 et 28 jours) (tableau II).

### pendant la phase de mûrissage (21 °C)

Tant que les polybags ont été laissés fermés, les vitesses de maturation sont restées nulles. Après ouverture des sacs, elle sont devenues comparables à celles des bananes emballées en polyfilm ; pendant la phase de mûrissage, il n'est pas apparu de différence significative pour les VDN et les VM, selon les différents traitements.

### effet de l'hygrométrie sur le développement des nécroses à l'intérieur du polybag, pendant la phase de conservation (13,5 °C)

#### surface des nécroses et maturité des fruits

Après 28 jours de stockage, la surface des nécroses et l'état de maturité des fruits se sont révélés statistiquement très différents selon le type d'emballage utilisé (tableau III et fig 2). Ainsi, les nécroses se sont nettement plus développées dans les traitements utilisant le polyfilm et le polybag

perforé que dans celui avec polybag sans perforation ; de même, les fruits emballés dans un polyfilm et dans un polybag perforé ont eu une maturation beaucoup plus rapide que ceux emballés en polybag non perforé.

La figure 2 montre que, 20 jours après l'inoculation, il y avait déjà des différences importantes entre les traitements polyfilm, polybag perforé et polybag non perforé. Ces différences se sont amplifiées considérablement ensuite, jusqu'à la fin de la période de conservation.

À l'issue de cette phase, les pertes de poids des bouquets ont été différentes selon le type d'emballage utilisé. Les fruits emballés en polyfilm ont eu la perte en eau la plus importante, tandis que les fruits emballés en polybag et polybag perforé ont eu des pertes d'eau du même ordre de grandeur (différences cependant significatives au niveau 5 %).

Le fait que les fruits emballés en polybag perforé et non perforé subissent de très faibles pertes en eau, par rapport aux fruits emballés en polyfilm, suggère que les pertes en eau n'ont pas une influence majeure sur le développement des nécroses durant la conservation. En effet, le développement des nécroses est significativement plus rapide sur les fruits emballés en polybags perforés que sur les fruits emballés en polybags non perforés.

Tableau III

Surface des nécroses, degré de maturité des fruits, teneur en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> et pertes en eau des bouquets après 28 jours de conservation à 13,5 °C ; évaluation de la vitesse de développement des nécroses (VDN) et de la vitesse de maturation (VM) pendant cette période.

	<i>Polyfilm</i>	<i>Polybag</i>	<i>Polybag perforé</i>
Surface des nécroses (en mm <sup>2</sup> )	2001,20 (a)	352,40 (c)	1355,30 (b)
Degré de maturité des fruits (d'après échelle du tableau I)	4,93 (a)	1,07 (c)	3,20 (b)
VDN (mm <sup>2</sup> /j)	70,37 (a)	12,07 (c)	44,20 (b)
VM (degré de maturité/j)	0,13 (a)	0,00 (c)	0,06 (b)
Teneur en O <sub>2</sub> (en %)	20,90 (a)	4,91 (c)	19,90 (b)
Teneur en CO <sub>2</sub> (en %)	0,03 (b)	3,70 (a)	0,88 (b)
Pertes en eau des bouquets (en %)	4,98 (a)	0,25 (c)	0,60 (b)

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

### composition gazeuse à l'intérieur des emballages

À l'issue de 28 jours de conservation, dans les polybags non perforés, l'atmosphère créée a été très appauvrie en O<sub>2</sub> (5 %) et très enrichie en CO<sub>2</sub> (3,7 %), tandis qu'à l'intérieur des polybags perforés la baisse de la teneur en O<sub>2</sub> et l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> ont été très faibles.

L'atmosphère créée dans les polybags perforés est très proche de celle de l'air. Le contrôle du développement des nécroses au cours de la phase de conservation semble dépendre de la composition gazeuse de l'atmosphère modifiée créée dans l'emballage, c'est-à-dire de l'enrichissement en CO<sub>2</sub> et de l'appauvrissement en O<sub>2</sub>.

### maturation des fruits à l'intérieur des emballages

Au terme des 28 jours à 13,5 °C, les fruits emballés en polyfilm s'avéraient déjà mûrs (stade 5 défini sur le tableau I).

Après ouverture des polybags, la maturation des fruits conservés en polybag perforé a été plus rapide et significativement différente de la maturation des fruits conservés en polybag non perforé (fig 2). Cela pourrait résulter de la poursuite d'une maturation de ces fruits, qui aurait été déjà commencée pendant la phase de conservation à l'issue de laquelle ils se trouvaient au stade 3.

Pendant cette phase de maturation à 21 °C, il n'y a pas eu de différences entre les deux traitements polybags perforés et non perforés pour les VDN qui ont alors été de l'ordre de 300 mm<sup>2</sup>/j (tableau II). L'effet de l'atmosphère modifiée observé durant la phase de conservation ne s'est plus exercé lorsque les fruits ont été ramenés à l'air ambiant, et, lorsque les fruits ont été mûrs, le développement des nécroses a été similaire.

## ● discussion

Lors de la première expérimentation réalisée, l'utilisation d'un polybag à la place d'un polyfilm pour conditionner les bananes n'a influencé le développement des nécroses que lorsque le temps de conservation des fruits a été relativement long (28 jours). Après 10 et 17 jours de stockage, en effet, il n'a pas été observé de différences significatives entre les deux types d'emballage testés. Cela peut être expliqué par le fait que les premiers

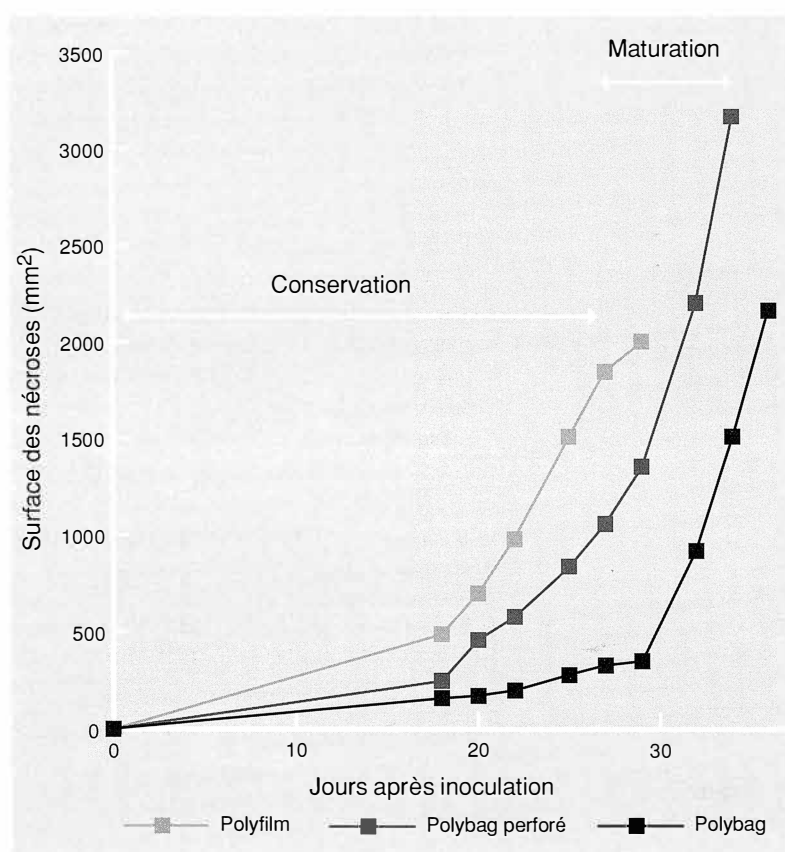


Figure 2  
Évolution de la surface des nécroses (mm<sup>2</sup>) lors d'une période de conservation de 28 jours à 13,5 °C suivie d'une phase de maturation à 21 °C, pour des bananes emballées sous polyfilm, en polybags perforés et en polybags non perforés.

symptômes apparaissant au plus tôt 10 à 12 jours après l'inoculation, les nécroses n'ont, alors, pas eu suffisamment de temps pour se développer dans les lots stockés pendant les courtes durées (10 et 17 jours). En revanche, même pour des temps de conservation de 17 jours, l'utilisation des polybags a permis de ralentir la vitesse de maturation des fruits de façon significative.

Malgré les observations faites par BURDON et al (1994), la seconde expérimentation réalisée tendrait à montrer que la diminution des pertes en eau des fruits ne suffirait pas à expliquer le ralentissement du développement des nécroses au cours de la conservation des fruits en polybags. Ce fait serait plutôt lié à une modification de l'atmosphère, intervenant à l'intérieur d'un polybag non perforé, aboutissant à un enrichissement en CO<sub>2</sub> et un appauvrissement en O<sub>2</sub>.

Une telle influence de l'atmosphère modifiée sur le développement des nécroses est tout à fait en accord avec les études d'autres auteurs portant sur des anthracoses de fruits :

– dans le cas de l'interaction *Colletotrichum gloeosporioides* - avocat, SPALDING et REEDER (1975) ont montré qu'une atmosphère contrôlée composée de 2 % d'O<sub>2</sub> et de 10 % de CO<sub>2</sub> retardait le développement des nécroses au cours de la conservation ;

– pour les pourritures de la mangue dues à *C. gloeosporioides* et à divers *Penicillium*, KANE et MARCELLIN (1979) ont mis en évidence qu'une teneur en O<sub>2</sub> de 5 % permettait également de limiter le développement des nécroses au cours de la conservation, et que cet effet était renforcé par une augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> de 5 % ;

– enfin, dans le cas de l'antracnose de la goyave due à *C. gloeosporioides*, COMBRINK et al (1990) ont révélé que l'utilisation d'un polybag de 35 µ non perforé pour emballer les fruits permettait de ralentir le développement des nécroses au cours de la conservation, par rapport à l'emploi des polybags perforés ; à l'intérieur des polybags non perforés, la teneur en CO<sub>2</sub> était de 9 % et seulement de 3 % dans les polybags perforés.

Toutefois, l'ensemble de ces études, qui mettent en évidence le rôle important des teneurs en O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> sur le développement des nécroses au cours de la phase de stockage des fruits, ne tiennent pas compte de la présence d'éthylène dans la composition gazeuse de l'intérieur des emballages ; or, comme le suggèrent les travaux de MAPSON (1970), la synthèse endogène de cette hormone de maturation de la banane pourrait être perturbée lors de l'utilisation de certains types de conditionnement. Le rôle de l'éthylène devra donc être étudié lors de prochains travaux.

Quels que soient les facteurs responsables du phénomène, les modifications intervenant dans la composition de l'atmosphère à l'intérieur des emballages pourraient soit avoir un effet direct sur l'activité des pathogènes présents, soit intervenir sur la physiologie du fruit, engendrant indirectement une inhibition du développement du champignon, donc des nécroses.

D'après TAN et MOHAMED (1990), la conservation en atmosphère modifiée de la banane Figue sucrée (diploïde de l'espèce *Musa acuminata*) entraînerait une augmentation de la teneur en certains composés phénoliques : acide chlorogénique, coumarine ou cathéchine, par exemple. Même si la Figue sucrée est un cultivar éloigné du groupe Cavendish (triploïde de l'espèce *Musa*

*acuminata*, dont la Grande Naine fait partie), il s'avère donc qu'une modification de la composition gazeuse dans les emballages peut avoir un effet sur le métabolisme secondaire de fruits du genre *Musa*.

Dans le cas de l'interaction Pomme - *Pezizula alba*, des atmosphères composées de 3 % d'O<sub>2</sub> et de 5 % de CO<sub>2</sub> ont entraîné, selon BOMPEIX (1978), une évolution physiologique du fruit, défavorable au développement du pathogène.

De même, d'après PRUSKY et al (1991), des avocats conservés, dès leur récolte et durant 24 heures, dans une atmosphère fortement enrichie en CO<sub>2</sub> (30 % CO<sub>2</sub> et 15 % O<sub>2</sub>), présenteraient une augmentation de la teneur en un diène fongitoxique impliqué dans la quiescence de *C. gloeosporioides* ; ainsi, le traitement permettrait de réduire le développement des nécroses provoquées par ce champignon (PRUSKY et al, 1993).

Peu d'études in vitro ont permis de décrire l'effet d'atmosphères contrôlées sur la croissance de *C. musae*. Cependant, en utilisant une atmosphère enrichie à 18 % de CO<sub>2</sub> pour la culture d'une souche de *C. gloeosporioides* isolée sur papaye, EL-GOORANI et SOMMER (1979) ont observé une réduction de la croissance mycélienne de 80 %, alors qu'avec une atmosphère composée seulement de 5 % de CO<sub>2</sub>, cette réduction n'était que de 15 %.

Or, au cours des expérimentations présentées dans ce document, les taux de CO<sub>2</sub> ont varié de 3 à 5 % ; de telles valeurs pourraient, dès lors, être trop faibles pour manifester un réel effet sur le champignon. L'effet mis en évidence résulterait plutôt d'une stabilisation du fruit dans un état de moindre sensibilité à *C. musae*. Pour avoir un effet direct sur le champignon, les teneurs en CO<sub>2</sub> devraient sûrement être plus élevées, et celles en O<sub>2</sub> plus faibles. Néanmoins, il existerait une limite physiologiquement acceptable à des atmosphères trop enrichies en CO<sub>2</sub> et trop appauvries en O<sub>2</sub> : au-dessous de seuils minimaux de l'ordre de 1,5 à 2 % d'O<sub>2</sub>, et au-delà de seuils maximaux de 10 à 12 % de CO<sub>2</sub>, il se produirait des fermentations qui dégraderaient la qualité gustative des fruits (WILSON, 1976).

Globalement, les résultats obtenus ont démontré l'intérêt de l'utilisation de polybags pour le conditionnement des bananes ; ils en définissent, cependant, les limites quant au contrôle de l'antracnose.



Ainsi, en premier lieu, la réduction des nécroses n'est effective que durant la période de conservation ; cela pourrait permettre d'envisager l'augmentation de la durée de cette phase.

Le conditionnement en polybag, ralentissant la maturation des fruits, peut également réduire les problèmes de « mûr d'arrivage » ; toutefois, les nécroses ne sont pas contrôlées définitivement, et une sélection des fruits avant le mûrissage devra être réalisée pour limiter les pertes postérieures.

Par ailleurs, lors de l'une des expérimentations poursuivies, de petites perforations pratiquées dans le polybag ont eu pour conséquence d'empêcher l'élaboration d'une atmosphère modifiée riche en CO<sub>2</sub> et pauvre en O<sub>2</sub>, propice au ralentissement de l'extension des nécroses. Le plastique utilisé pour le polybag devra donc impérativement avoir une résistance mécanique importante au déchirement et à la perforation.

Enfin, la nature de l'atmosphère à l'intérieur du polybag dépend de l'intensité respiratoire des fruits (MAC GLASSON et al, 1971). Or, il est possible que selon les saisons et les régions de production, il y ait des variations de cette intensité respiratoire. Il existe en effet des variations saisonnières et géographiques de l'état physiologique des fruits au stade récolte, et plus particulièrement de leur potentiel de conservation (CHILLET et DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 1995). De même, le degré d'altération de la peau et le niveau d'infestation des bananes ne sont pas toujours identiques. Ces divers éléments, aptes à influencer l'activité respiratoire des fruits (MAC GLASSON et al, 1971), devront être pris en compte pour déterminer les caractéristiques de perméabilité souhaitée pour le plastique du polybag, afin d'obtenir une composition optimale pour l'atmosphère modifiée dans l'emballage. Il serait d'ailleurs peut-être plus judicieux d'envisager un système d'atmosphère contrôlée, par injection de CO<sub>2</sub> et adsorption d'O<sub>2</sub> au niveau d'un container pour fixer précisément des conditions d'atmosphères jugées optimales.

## ● 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 fruits and vegetables in plastic film. A new postharvest technique. *HortScience* 20, 32-37
- Bompeix G (1978) The comparative development of *Pezizula alba* and *P malicorticis* on apples and in vitro (air and controlled atmosphere). *Phytopathol Z* 91, 97-109
- Burdon JN, Dori S, Lomaniec E, Marinansky R, Pesis E (1994) The post-harvest ripening of water stressed banana fruits. *J Hort Sci* 69 (5), 799-804
- Chakravarty T (1957) Anthracnose of banana (*Gloeosporium musarum* Cke & Masee) with special reference to latent infection in storage. *Transac Br Mycol Soc* 40, 337-345
- Chillet M, de Lapeyre de Bellaire L (1995) *Élaboration de la qualité de la banane. Détermination de critères de mesure*. Montpellier, France, Cirad-Flhor, document interne
- Chillet M, de Lapeyre de Bellaire L, Joas J (1995) Un modèle expérimental pour l'étude de l'effet du conditionnement sur le chancre des bananes d'exportation. *Fruits* 50 (3), 173-181
- Combrink JC, de Kock SL, van Eeden CJ (1990) Effect of post-harvest treatment and packaging on the keeping quality of fresh guava fruit. *Acta Horti* 275, 639-645
- Deullin R (1961) Perte de poids, par déshydratation et respiration, des régimes de bananes en plantation et pendant le transport. *Fruits* 16 (11), 527-537
- Dominguez M, Vendrell M (1993) Wound ethylene biosynthesis in preclimacteric banana slices. *Acta Horti* 343, 270-274
- El-Goorani M, Sommer NF (1979) Suppression of post-harvest plant pathogenic fungi by carbon monoxide. *Phytopathology* 69 (8), 834-838
- Frossard P (1970) *Étude de la sensibilité des bananes à l'anthracnose de blessure*. Paris, France, université Paris XI, centre d'Orsay, mémoire de DEA, 34 p
- 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
- Geeson J (1988) Micro-perforated films for fruit and vegetable packaging. In : *Proceeding of a conference held in Silsoe*, Bedford, UK, 20-21 April 1988. London, UK, British Agricultural and Horticultural Plastica Association, vol 2, 9 p
- George JB, Marriott J (1983) The effect of humidity in plantain ripening. *Sci Horti* 21, 37-43
- Harvey JM (1978) Reduction of losses in fresh market fruits and vegetables. *Annu Rev Phytopathol* 16, 321-341
- 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
- Kane O, Marcellin P (1979) Effets de l'atmosphère contrôlée sur la conservation des mangues (variétés Amélie et Julie). *Fruits* 34 (2), 123-129

- de Lapeyre de Bellaire L, Dubois C, Distribution of thiabendazole resistance in *Colletotrichum musae* isolates from Guadeloupe banana plantations. *Plant Dis* (soumis)
- Lentz CP, van Den Berg L (1971) Study of factors affecting temperature, relative humidity, and moisture loss in fresh fruit and vegetable storages. *Can J Technol Alim* 4, 146-153
- Mac Glasson WB, Wills RBH (1972) Effect of oxygen and carbon dioxide on respiration, storage life, and organic acids of green bananas. *Aust J Biol Sci* 25, 35-42
- Mac Glasson WB, Palmer JK, Vendrell M, Brady CJ (1971) Metabolic studies with banana fruit slices. *Aust J Biol Sci* 24, 7-14
- Mapson LW (1970) Biosynthesis of ethylene and its control. In : *Proceedings of the conference on tropical and subtropical fruits*, 15-19 September 1969, London, UK. London, UK, 85-92
- Marcellin P (1974) Conservation des fruits et des 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 & Masee causing storage rots of Jamaican bananas. I. Anthracnose and its chemical control. *Ann Appl Biol* 48, 279- 290
- Muirhead IF, Deverall BJ (1981) Role of appressoria in latent infection of banana fruits by *Colletotrichum musae*. *Physiol Plant Pathol* 19, 77-84
- Nair H, Tung HF (1992) Low oxygen and storage of Mas bananas (Musa AA group). *Acta Hort* 292, 209-215
- Paulin A (1966) Influence de quelques atmosphères utilisables dans la conservation des fruits sur la croissance et le développement de certains champignons, agents possibles d'altération. *Rev Gén Froid* 1, 59-70
- Peacock BC, Muirhead IF (1974) Ethylene production by *Colletotrichum musae*. *Queensl J Agric Anim Sci* 31 (3), 249-252
- Pendergrass A, Isenberg FMR (1974) The effect of relative humidity on the quality of cabbage. *Hort Science* 9, 226-27
- Prusky D, Plumbley RA, Kobiler I (1991) Modulation of natural resistance of avocado fruits to *Colletotrichum gloeosporioides* by CO<sub>2</sub> treatment. *Mol Plant Pathol* 39, 325-334
- Prusky D, Kobiler I, Ardi R, Fishman Y (1993) Induction of resistance of avocado fruit to *Colletotrichum gloeosporioides* attack by CO<sub>2</sub> treatment. *Acta Hort* 343, 325-330
- Scott KJ, Roberts EA (1966) Polyethylene bags to delay ripening of bananas during transport and storage for control of anthracnose and chilling injury of avocados. *Phytopathology* 65, 458-460
- Simmonds JH (1963) Studies in the latent phase of *Colletotrichum* species causing ripe rots of tropical fruits. *Queensl J Agric Sci* 20, 373-424
- Spalding DH, Reeder WF (1975) Low-oxygen high carbon dioxide controlled atmosphere storage for control of anthracnose and chilling injury of avocados. *Phytopathology* 65, 458-460
- Tan SC, Mohamed AA (1990) The effect of CO<sub>2</sub> on phenolic compounds during the storage of 'Mas' banana in polybag. *Acta Hort* 269, 389
- Truter AB, Combrink JC (1990) Controlled and modified atmosphere storage of bananas. *Acta Hort*, Tropical and subtropical fruits 275, 631-637
- Tung HF, Nair H, Lim AL (1987) The effect of water loss on the ripening of Pisang Mas (*Musa acuminata colla*). *ASEAN Food J* 3, 135-137
- Wells JM, Uota M (1970) Germination and growth of five fungi in low-oxygen and high-carbon dioxide atmospheres. *Phytopathology* 60, 50-53
- Wilson LC (1976) Handling of post-harvest tropical fruit crops. *Hortscience* 11, 120-121