

Évaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bananiers plantain: critères et méthodes

B.K. Dadzie et J.E. Orchard



La mission du **Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP)** est d'accroître la production et la stabilité des rendements de la banane et de la banane plantain de consommation locale au profit des petits producteurs.

L'INIBAP a quatre objectifs principaux :

- organiser et coordonner l'effort global de recherche sur la banane et la banane plantain pour le développement, l'évaluation et la dissémination de matériel génétique de *Musa* amélioré et la conservation et l'utilisation de la diversité génétique des *Musa* ;
- promouvoir et renforcer les efforts régionaux pour résoudre les problèmes spécifiques à chaque région et aider les programmes nationaux à participer et bénéficier de l'effort global de recherche ;
- renforcer la capacité des SNRA à conduire des recherches sur les bananes et les bananes plantain ;
- coordonner, faciliter et appuyer la production, la collecte et l'échange d'information et de documentation sur la banane et la banane plantain.

Depuis mai 1994, l'INIBAP est un programme de l'Institut international pour les ressources phylogénétiques (IPGRI).

L'Institut international des ressources phylogénétiques est un organisme scientifique autonome à caractère international fonctionnant sous l'égide du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (GCRAI). Le statut international a été conféré à l'IPGRI au titre d'un accord d'établissement signé en décembre 1995 par les gouvernements des pays suivants : Australie, Belgique, Bénin, Bolivie, Brésil, Burkina Faso, Cameroun, Chili, Chine, Congo, Costa Rica, Côte d'Ivoire, Chypre, Danemark, Egypte, Equateur, Grèce, Guinée, Hongrie, Inde, Iran, Israël, Italie, Indonésie, Jordanie, Kenya, Malaisie, Maroc, Mauritanie, Ouganda, Pakistan, Panama, Pérou, Pologne, Portugal, République Tchèque, République Slovaque, Roumanie, Russie, Sénégal, Soudan, Suisse, Syrie, Tunisie, Turquie et Ukraine.

Le mandat de l'IPGRI consiste à promouvoir la conservation et l'utilisation des ressources phylogénétiques au profit des générations actuelles et futures. L'IPGRI travaille en partenariat avec d'autres organisations, entreprenant des activités de recherche et de formation, fournissant des avis et des informations scientifiques et techniques et entretient des liens particulièrement étroits avec l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Pour mener à bien son programme de recherche, l'IPGRI reçoit une aide financière des gouvernements des pays suivants: Afrique du Sud, Allemagne, Australie, Autriche, Belgique, Canada, Chine, Danemark, Espagne, Etats Unis, Finlande, France, Inde, Italie, Japon, Luxembourg, Mexique, Norvège, Pays Bas, Philippines, République de Corée, Royaume Uni, Suède, Suisse ainsi que de la Banque asiatique de développement, la Banque interaméricaine de développement, la Banque mondiale, du CRDI, du CTA, de l'IFAD, du PNUD et de l'Union européenne.

Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) a été créé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et l'Union européenne.

Le CTA a pour mission de fournir des services qui améliorent l'accès des pays ACP à l'information pour le développement agricole et rural, et de renforcer les capacités de ces pays à produire, acquérir, échanger et exploiter l'information dans ce domaine. Les programmes du CTA sont articulés sur trois axes principaux : le renforcement des centres d'information ACP, l'encouragement des contacts et des échanges entre les acteurs du développement rural, et la fourniture d'information sur demande.

Citation : Dadzie, B.K. et J.E. Orchard. 1997. Évaluation post-récolte des hybrides de bananiers et bananiers plantain : critères et méthodes. Guides techniques INIBAP 2. Institut international des ressources phylogénétiques, Rome, Italie ; Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain, Montpellier, France ; Centre technique de coopération agricole et rurale (ACP-UE), Wageningen, Pays-Bas.

INIBAP ISBN : 2-910810-20-8

© International Plant Genetic Resources Institute 1997

IPGRI
Via delle Sette Chiese 142
00145 Rome
Italie

INIBAP
Parc Scientifique Agropolis II
34397 Montpellier Cedex 5
France

CTA
Postbus 380
6700 AJ Wageningen
Pays Bas

Remerciements

Ce manuel a été produit dans le cadre d'un projet international de recherche sur la caractérisation post-récolte des bananes et des bananes plantain.

Les auteurs remercient les partenaires du projet : Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP), *Natural Resources Institute* (NRI) et *Fundación Hondureña de Investigación Agrícola* (FHIA) pour leur assistance.

Le projet a bénéficié d'un financement de l'*Overseas Development Administration* (ODA) du Royaume-Uni.

Une contribution précieuse a été reçue de N. Poulter, du personnel du NRI et de H. Wainwright (ancien chercheur du NRI) ; de N. Mateo, R. Jaramillo, D.R. Jones et du personnel de l'INIBAP ; de P. Rowe, F. Rosales, A. Martinez, H.E. Ostmark et du personnel de la FHIA.

Les analyses de laboratoire ont été effectuées avec le concours de H. Banegas.

Table des matières

Introduction	3
1. Caractéristiques à la récolte	5
2. Maturité des fruits	15
3. Vie verte	21
4. Qualité des fruits mûrs	25
5. Propriétés organoleptiques	31
6. Qualité culinaire	37
7. Aptitude à la transformation	41
8. Dommages mécaniques	43
9. Désordres physiologiques	47
10. Maladies post-récolte	51
Bibliographie	57
Liste des sigles	60
Annexes	61
Illustrations	I à XII

Introduction

La banane, la banane à cuire et la banane plantain (*Musa* spp., groupes AAA, AAB et ABB) sont des denrées amylacées essentielles pour les pays en développement. Elles servent à la fois d'aliment énergétique et de dessert. En Afrique, il est estimé que leur consommation apporte plus de 200 calories par jour à près de 60 millions d'habitants (Stover et Simmonds 1987). En Amérique tropicale et aux Antilles, où elles sont une source précieuse d'emplois et de recettes d'exportation, elles jouent un rôle socioéconomique et nutritionnel important. A l'échelle mondiale, la banane et la banane plantain se classent au quatrième rang des cultures vivrières après le riz, le blé et le maïs en termes de valeur brute de la production (CGIAR 1992, 1993). Près de 90 % des bananes et bananes plantain produites dans le monde (63 millions de tonnes) sont consommés localement dans les pays producteurs, la part exportée n'atteignant que 10 % (CGIAR 1992, 1993).

Depuis une vingtaine d'années, la production de bananes, bananes à cuire et bananes plantain connaît un déclin persistant du fait de la baisse de fertilité des sols, de la diminution des rendements, des attaques de ravageurs (charançons, nématodes) et, surtout, de la diffusion à grande échelle d'une maladie cryptogamique, la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis*) (IITA 1992 ; Stover et Simmonds 1987 ; Swennen 1990). Il existe des moyens de lutte contre cette maladie, mais le coût des fongicides chimiques – pas moins de 800 à 1000 dollars par hectare – est prohibitif. Au Guatemala par exemple, certains producteurs pulvérisent leurs plants jusqu'à 50 fois par an (Hibler et Hardy 1994). En outre, l'application massive de produits chimiques sur les plantations de bananiers et bananiers plantain suscite la réprobation des écologistes et des consommateurs soucieux de la préservation de l'environnement. Aussi l'hybridation apparaît-elle comme la meilleure solution pour lutter contre la cercosporiose noire.

La Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) a joué un rôle de pionnier dans la création d'hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain dotés de résistance à la cercosporiose noire et d'un potentiel agronomique supérieur. Cependant, peu de travaux ont été consacrés au criblage post-récolte et à la détermination des caractéristiques physiques et des propriétés organoleptiques de ces hybrides. Un projet a été lancé en 1993 afin d'étudier ces aspects. Il s'agissait d'un projet international de recherche d'une durée de deux ans et demi, auquel ont participé le Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain (INIBAP), le *Natural Resources Institute* (NRI) et la FHIA, et qui était financé par l'*Overseas Development Administration* (ODA) du Royaume-Uni. Ce projet avait pour principal objectif d'établir des critères et méthodes de routine permettant de cribler les nouveaux hybrides de bananiers et de bananiers plantain pour leurs caractéristiques post-récolte.

Ce manuel décrit les critères et méthodes applicables pour la sélection post-récolte des nouveaux hybrides de *Musa*. La plupart de ces méthodes et procédures sont simples, faciles à mettre en œuvre et peu coûteuses, car elles ne nécessitent pas de matériel sophistiqué. Conçu comme un outil à l'intention des sélectionneurs, ce manuel devrait également servir d'ouvrage de référence aux spécialistes de la recherche post-récolte et du transfert de technologie.

Parmi les nombreux critères employés pour le criblage post-récolte des hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, les principaux sont les suivants :

- (1) caractéristiques à la récolte ;
- (2) maturité des fruits ;
- (3) vie verte et durée de vie commerciale ;
- (4) qualité des fruits mûrs ;
- (5) propriétés organoleptiques ;
- (6) qualité culinaire ;
- (7) aptitude à la transformation ;
- (8) dommages mécaniques ;
- (9) désordres physiologiques ;
- (10) maladies post-récolte.

Les principales méthodes et procédures employées pour le criblage post-récolte des nouveaux hybrides de *Musa* sont exposées ci-après.

1. Caractéristiques à la récolte

Dans le criblage des nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, les caractéristiques à la récolte qui doivent être étudiées sont :

- (1) les caractéristiques physiques des régimes et des fruits ;
- (2) les caractéristiques qualitatives des fruits.

Selon la localité ou le pays, les producteurs et les consommateurs de bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont généralement une préférence pour de gros régimes portant des doigts épais ou minces, plus ou moins longs ou courts. Le poids du régime et les caractéristiques physiques des fruits (poids, longueur, circonférence et volume) constituent donc des critères de sélection post-récolte importants. Le criblage des nouveaux hybrides de *Musa* pour les caractéristiques physiques de leurs fruits à la récolte peut aider à concevoir les emballages de manière à améliorer l'efficacité de la manutention et du transport. Il importe également d'évaluer la maturité des fruits à la récolte. Quant aux caractéristiques qualitatives (couleur de la peau et de la pulpe, fermeté de la pulpe, extrait sec soluble, taux d'humidité et teneur en matière sèche, etc.), elles permettent de déterminer le stade de maturation des fruits et complètent les évaluations sensorielles. La détermination des caractéristiques à la récolte des nouveaux hybrides de *Musa* fournit des informations utiles pour l'amélioration variétale. Elle donne également les moyens de comparer ces hybrides avec les cultivars existants.

1.1. Évaluation des caractéristiques à la récolte

Afin de réduire les variations et d'obtenir des données cohérentes, il convient de ne prendre de mesures que sur les doigts de la deuxième main de régimes fraîchement récoltés et physiologiquement matures (à fruits verts). Toutefois, si les échantillons ainsi obtenus sont en quantité insuffisante, on pourra inclure les fruits de la troisième main.

Ci-après sont décrites les méthodes et procédures de criblage employées pour déterminer les caractéristiques des nouveaux hybrides de *Musa* à la récolte.

1.1.1. Caractéristiques physiques des régimes et des fruits à la récolte

L'évaluation des caractéristiques physiques des régimes et des fruits à la récolte porte sur les éléments suivants :

a. Poids du régime (kg)

On détermine le poids du régime (de chaque cultivar ou hybride) en pesant chaque régime sur une balance (usuellement à la deuxième décimale près).

b. Nombre de mains

On compte le nombre de mains sur chaque régime.

c. Nombre de doigts

On compte simplement le nombre de doigts (par main) sur chaque régime.

d. Poids du fruit (g)

On pèse chaque fruit sur une balance (par exemple, balance électronique Mettler, usuellement à la deuxième décimale près).

e. Longueur du fruit (cm)

On détermine généralement la longueur du fruit en mesurant l'arc externe de chaque fruit à l'aide d'un mètre à ruban, depuis l'extrémité distale jusqu'à l'extrémité proximale, là où l'on juge que la pulpe se termine (figure 1). Cependant, certains chercheurs déterminent la longueur des doigts en mesurant l'arc interne de la banane depuis la jonction de la pulpe et du pédoncule jusqu'à l'apex, tandis que d'autres mesurent en ligne droite depuis le pédoncule jusqu'à l'apex (extrémité florale) (Thompson et Burden 1995). Il importe de préciser la méthode utilisée.

f. Circonférence du fruit (cm)

On détermine la circonférence en mesurant chaque fruit à l'aide d'un mètre à ruban dans sa partie médiane, c'est-à-dire là où il est le plus épais (figure 2).

g. Volume du fruit (cm³)

On calcule le volume du fruit par déplacement direct de volume ou en pesant le fruit sous l'eau selon la méthode suivante :

- peser (à l'aide d'une balance électronique Mettler, usuellement à la deuxième décimale près) un récipient d'eau suffisamment grand pour que le fruit puisse y être immergé ;
- plonger le fruit dans le récipient alors que celui-ci est encore sur la balance. Afin d'éviter que des bulles d'air ne se forment à la surface du fruit et ne donnent lieu à une erreur, verser quelques gouttes d'agent mouillant ou de détergent dans l'eau pour réduire la tension superficielle. Empêcher le fruit de toucher les parois ou le fond du récipient en le maintenant sous l'eau à l'aide d'un poids (déterminer préalablement le poids de celui-ci à l'aide d'une balance) ;
- lire le poids du récipient contenant l'eau plus le fruit immergé (avec le poids) ;
- la différence en grammes entre les deux poids est égale au volume du fruit en centimètres cubes (cm³).

h. Densité (poids spécifique) du fruit

On calcule la densité ou le poids spécifique du fruit simplement en divisant le poids du fruit (mesuré dans l'atmosphère) par le volume du fruit (Kushman et Pope 1968 ; Kushman *et al.* 1966).

i. Poids de la pulpe et de la peau (g)

Pour déterminer le poids de la pulpe et de la peau, il faut peler les doigts manuellement, puis peser séparément la pulpe et la peau (par exemple, à l'aide d'une balance électronique Mettler, à la deuxième décimale près).

j. Rapport pulpe/peau

Après avoir séparé la pulpe et la peau, on les pèse séparément et on peut ainsi calculer le rapport pulpe/peau (c'est-à-dire le poids de la pulpe divisé par le poids de la peau).

k. Épaisseur de la peau et de la pulpe (cm)

Couper chaque fruit transversalement dans sa partie médiane, le peler manuellement, puis mesurer séparément l'épaisseur de la peau et de la pulpe à l'aide d'un calibre (figure 3).

1.1.2. Caractéristiques qualitatives des fruits à la récolte

Les méthodes d'évaluation des caractéristiques qualitatives des fruits sont les suivantes :

a. Couleur de la peau et de la pulpe

Le consommateur se base avant tout sur la couleur pour juger de la qualité d'une banane, banane à cuire ou banane plantain. La coloration de la peau et celle de la pulpe sont donc des critères de sélection importants. La couleur du fruit indique s'il y a détérioration, infection et / ou contamination. La valeur marchande de la banane, de la banane à cuire et de la banane plantain et leur acceptabilité pour le consommateur dépendent pour beaucoup de ce facteur. La couleur de la peau est souvent le principal critère utilisé par les chercheurs, les producteurs et les consommateurs pour déterminer si un fruit est mûr ou non (Medlicott *et al.* 1992). Dans certains pays (comme le Ghana, le Nigeria ou le Honduras), les consommateurs établissent des corrélations spécifiques entre la couleur et la qualité générale de certains produits. Une banane à cuire ou une banane plantain doit être verte ou jaune ; si elle est d'une autre couleur (plantain rouge par exemple), elle se vendra difficilement. Par conséquent, la couleur est le critère visuel essentiel pour évaluer la qualité d'une banane à cuire ou d'une banane plantain. Les consommateurs associent la couleur de la peau à une saveur ou une utilisation spécifique, et ils achètent généralement une banane dont la couleur correspond à leur objectif ou à la qualité gustative qu'ils recherchent. Dans certains pays d'Afrique de l'Ouest, les consommateurs pensent qu'une banane plantain ou banane à cuire à pulpe blanche est immature, tandis qu'une coloration jaune orangé est signe de maturité. Ainsi, l'évaluation de la couleur de la peau et de la pulpe est un élément important dans le criblage post-récolte des nouveaux hybrides.

PRINCIPE

L'expression de la perception de la couleur suppose une évaluation, une description et un moyen de communiquer les résultats de façon systématique. On utilise à cette fin une échelle colorimétrique ou un colorimètre (Knee 1980 ; Wainwright et Hughes 1989, 1990).

Étalonnage du colorimètre

Avant chaque série de mesures, étalonner le colorimètre selon les instructions données dans le manuel de l'instrument. Suivre les indications du manuel pour prendre les mesures.

Mesure de la couleur de la peau et de la pulpe à l'aide d'un colorimètre

Pour mesurer la couleur de la peau et de la pulpe de bananes, bananes à cuire et

bananes plantain, on peut se servir d'un chromatomètre Minolta (CR-100 ou CR-200) ayant une tête de mesure de 8 mm.

Pour mesurer la couleur de la peau : placer la tête de mesure sur la surface du fruit (sur la peau), prendre approximativement 2-3 mesures (pour chaque fruit) et calculer la moyenne.

Pour mesurer la couleur de la pulpe : couper le fruit transversalement dans sa partie médiane, placer la tête de mesure au centre du fruit (zone locale) et prendre une seule mesure.

On enregistre les résultats à l'aide de l'échelle de Hunter, qui comporte les coordonnées L^* , a^* et b^* (Hunter 1975 ; Francis 1980). La coordonnée " L " mesure l'intensité lumineuse (blanc-noir et va de l'absence de réflexion $L = 0$ à la réflexion diffuse parfaite $L = 100$), l'échelle " a " va de valeurs négatives pour le vert à des valeurs positives pour le rouge, tandis que l'échelle " b " va de valeurs négatives pour le bleu à des valeurs positives pour le jaune. Les valeurs L^* , a^* et b^* doivent être converties en teinte, valeur et chromaticité (McGuire 1992). Sur certains chromatomètres Minolta, cette conversion est effectuée automatiquement.

b. Fermeté de la pulpe

La texture, consistance ou fermeté de la pulpe des hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain est un élément important dans l'évaluation des caractéristiques qualitatives. Elle peut servir d'indice de maturité ou de mûrissement. Elle facilite la comparaison entre la vitesse de ramollissement des nouveaux hybrides et celle de leurs géniteurs. Il s'agit aussi d'un facteur important pour évaluer la sensibilité des fruits aux dommages physiques ou mécaniques et aux manipulations post-récolte (Kramer 1964).

PRINCIPE

La texture des bananes, bananes à cuire et bananes plantain est une qualité composite résultant de la combinaison de plusieurs facteurs tels que la turgescence et les composantes structurelles des tissus et des cellules. Toute procédure donnée d'évaluation physique ne peut fournir qu'une indication limitée de ces propriétés texturales. La plupart des instruments courants de mesure de la texture déterminent des aspects tels que la compressibilité, la déformation ou la rupture de l'échantillon testé. On obtient une indication de la fermeté d'après la force nécessaire pour faire pénétrer une sonde standard jusqu'à une distance précise à l'intérieur du produit. Pour mesurer la fermeté de la pulpe, on se sert généralement d'un pénétromètre à main (figure 4), d'un pénétromètre monté sur un support ou d'un pénétromètre combiné à une perceuse sensitive (figure 5).

Différents types de pénétromètres

Il existe plusieurs types de pénétromètres :

- pénétromètre Effegi ;
- pénétromètre Magness-Taylor.

Des techniques soniques non destructives ont été également mises au point pour mesurer la fermeté des fruits, mais elles ne semblent guère utilisées.

Étalonnage du pénétromètre

Il faut vérifier le pénétromètre quotidiennement avant de s'en servir. Pour ce faire,

on manœuvre la tige une dizaine de fois afin de s'assurer que l'appareil fonctionne correctement ; sinon, les premières mesures risquent de donner des valeurs plus élevées que les suivantes.

Le pénétromètre permet essentiellement de mesurer la résistance du fruit à une force constante. Pour obtenir des mesures précises de la fermeté du fruit, il convient d'employer la méthode standard suivante :

- avec un pénétromètre à main, tenir l'échantillon fermement d'une main en appuyant celle-ci sur une surface ferme ;
- si l'on utilise un pénétromètre monté sur un support ou un pénétromètre combiné à une perceuse sensitive (permettant d'appliquer une force uniforme) pour mesurer la force de rupture de la pulpe sur des sections transversales du fruit, placer l'échantillon sur du plexiglas ou sur un support similaire ayant en son centre un trou légèrement plus grand que le diamètre de l'embout. On réduit ainsi le risque d'endommager l'embout (figure 5) ;
- la profondeur d'insertion de l'embout dans le fruit doit être constante ;
- un cercle est gravé sur l'embout à environ 7,9 mm de son extrémité. L'embout ne doit être plongé dans le fruit que jusqu'à cette ligne et non jusqu'à la plaque qui sert à protéger l'instrument et l'opérateur du jus susceptible de gicler ;
- la vitesse à laquelle l'embout est poussé à l'intérieur de la pulpe doit être constante. Il faut environ 2 secondes pour insérer l'embout dans la pulpe jusqu'à la ligne gravée sur l'embout.

Même si l'on suit ces instructions, il peut y avoir des écarts dans les mesures prises par différents opérateurs. Pour obtenir des résultats cohérents et comparables, il faut donc, si possible, que les tests soient effectués par une seule personne possédant la formation requise.

Mesure de la fermeté de la pulpe

On détermine la fermeté de la pulpe des bananes, bananes à cuire et bananes plantain sur une section transversale du fruit selon la procédure suivante :

- dans la partie médiane du fruit, couper transversalement 1 cm de tissus (comprenant la peau et la pulpe) ;
- placer l'échantillon sur du plexiglas ou sur un support similaire, comme le montre la figure 5 ;
- mesurer la force requise pour qu'un embout cylindrique de 6 mm de diamètre, monté sur un pénétromètre à support équipé d'un indicateur de force électronique Salter de 0-10 kg, pénètre dans cette épaisseur de 1 cm de tissus de pulpe (figure 5) ;
- la valeur enregistrée est la force maximale requise pour que la pulpe cède à l'embout. La fermeté de la pulpe est généralement exprimée en kilogramme-force (kgf) ou en newtons (N) (1 kgf = 9,80665 N).

La température de l'échantillon, qui peut affecter les mesures (Bourne 1982), doit être standardisée. Il convient de noter le diamètre de l'embout du pénétromètre.

c. Extrait sec soluble

Des fruits comme les bananes, bananes à cuire et bananes plantain contiennent un grand nombre de composés solubles dans l'eau : sucres, acides, vitamine C, acides aminés et pectines. Ces composés constituent l'extrait sec soluble du fruit. Dans la plupart des fruits mûrs, y compris les bananes, bananes à cuire et bananes plantain, les sucres en sont le principal élément. Le taux d'extrait sec soluble (ESS) est une

caractéristique qualitative importante pour le criblage post-récolte des nouveaux hybrides. Étant donné que le taux d'ESS ou de sucres augmente généralement à mesure que les fruits mûrissent, il constitue un indice de maturité ou du stade de mûrissement. On se sert d'un réfractomètre pour le mesurer.

Différents types de réfractomètres

Le réfractomètre à main est le plus communément utilisé pour évaluer le taux d'extrait sec soluble des fruits. Il mesure généralement en degrés brix ($^{\circ}\text{B}$) de 0 à 20 % ou de 0 à 32 %, avec des graduations de 0,2 ou 0,5 %. On trouve plusieurs types de réfractomètres dans le commerce :

- Atago 0-20 % ou 0-32 % ;
- Bellingham & Stanley 0-28 % ;
- Erma 0-20 %.

Choix d'un réfractomètre

Dans le choix d'un réfractomètre, il faut s'assurer :

- que l'échelle est facile à lire ;
- qu'il y a un bon contraste entre la partie claire et la partie sombre du champ de vision et que la ligne de démarcation est fine et distincte ;
- que l'appareil peut être étalonné aisément et avec précision, et qu'il ne se dérègle pas facilement ;
- que l'appareil est robuste.

Étalonnage du réfractomètre

Les mesures en degrés brix ($^{\circ}\text{B}$) ou en taux d'extrait sec soluble (taux d'ESS) sont légèrement modifiées par la température. L'instrument est étalonné pour être utilisé à 20°C. L'idéal est donc que l'instrument et le jus de pulpe du fruit soient tous deux à cette température. Les nouveaux modèles de réfractomètres sont équipés d'un contrôle automatique de température.

Pour étalonner le réfractomètre

- verser quelques gouttes d'eau distillée sur la surface du prisme ;
- fermer le couvercle du prisme, s'assurer que le film d'eau ne contient pas de bulles d'air, puis pointer le réfractomètre en direction d'une source lumineuse. On voit un champ circulaire dans le viseur, qui contient latéralement une échelle verticale portant des graduations de 0,2 ou 0,5 % mesurant les matières solides solubles. Quand il y a du liquide sur le prisme, le champ est divisé en une partie claire et une partie sombre. Le point auquel la ligne de démarcation entre ces deux parties traverse l'échelle verticale donne la mesure en $^{\circ}\text{B}$ ou l'estimation du taux d'ESS. Avec de l'eau distillée, cette mesure doit être de 0 %. On peut ajuster la ligne sur l'échelle verticale à l'aide de vis situées au-dessus ou en dessous de la boîte contenant le prisme ;
- après avoir étalonné le réfractomètre avec de l'eau distillée, il est important de vérifier sa précision à un niveau ($^{\circ}\text{B}$) plus élevé. Pour ce faire, on utilise des solutions de saccharose fraîchement préparées et de concentration connue, par exemple 12 % de saccharose en poids/vol. (soit 12 g de saccharose dans 88 ml d'eau distillée).

Si le point d'intersection entre la ligne de démarcation et l'échelle du réfractomètre n'est pas distinct, cela peut résulter :

- de la présence de grosses bulles d'air dans le film de jus. Il faut verser une quantité de jus suffisante pour que la surface du prisme soit bien couverte ;
- de la pénétration d'humidité dans le système optique du réfractomètre. Il faut alors faire sécher l'instrument à 30-40°C.

Entre deux mesures, la surface du prisme du réfractomètre doit être systématiquement et soigneusement essuyée avec du papier de soie doux. Après utilisation, laver le prisme à l'eau distillée, le sécher soigneusement avec du papier de soie doux et le ranger en lieu sûr jusqu'au prochain usage.

Mesure de l'extrait sec soluble

Les méthodes permettant de mesurer avec précision l'extrait sec soluble des fruits sont laborieuses. Néanmoins, deux méthodes moins compliquées sont communément utilisées pour estimer l'extrait sec soluble du jus de la pulpe du fruit. La première consiste à mesurer le poids spécifique du jus à l'aide d'un hydromètre. La seconde, et la plus courante, consiste à mesurer l'indice de réfraction du jus à l'aide d'un réfractomètre. Nous ne décrivons ci-après que la seconde méthode, puisqu'elle est la plus fréquemment employée pour mesurer le taux d'extrait sec soluble des bananes, bananes à cuire et bananes plantain.

Mesure de l'indice de réfraction du jus de pulpe à l'aide d'un réfractomètre

L'indice de réfraction (ou le taux d'extrait sec soluble) de la pulpe des bananes, bananes à cuire et bananes plantain se mesure comme suit :

- dans un mixeur de cuisine, broyer 30 g de tissus de pulpe (prélevés dans la section transversale du fruit) dans 90 ml d'eau distillée pendant 2 minutes, puis filtrer (par exemple, à l'aide de papier filtre) ;
- placer une seule goutte du filtrat sur le prisme d'un réfractomètre (sur la figure 6, on voit un réfractomètre Atago N-20, modèle N, McCormick Fruit Tech., mesurant en degrés brix de 0 à 20 % à 20°C) ;
- pointer le réfractomètre en direction d'une source lumineuse et lire le taux d'extrait sec soluble ;
- multiplier par trois la valeur enregistrée (parce que l'échantillon de pulpe initial a été dilué dans un volume triple d'eau distillée).

Le taux d'ESS du jus varie à l'intérieur du fruit en fonction du stade de maturité : chez la banane, la banane à cuire et la banane plantain, le centre de la pulpe, ou zone locale, a généralement une plus forte teneur en sucres que les tissus corticaux. Par conséquent, pour obtenir une valeur précise, il faut prélever des échantillons de pulpe suffisamment importants, contenant à la fois des tissus du centre (zone locale) et du reste de la pulpe.

Limites

La température de l'échantillon, qui peut affecter la mesure de l'extrait sec soluble (Bourne 1982), doit être standardisée. Il est supposé que le composé prédominant dans la solution ou le jus testé est le saccharose ou les sucres. Toutefois, d'autres composés (acides, vitamine C, acides aminés et pectines) peuvent être présents.

d. pH et acidité titrable totale

Le pH indique l'acidité ou l'alcalinité d'un produit, tandis que l'acidité titrable indique la quantité d'acides présente dans ce produit.

La détermination du pH et de l'acidité titrable des bananes, bananes à cuire et bananes plantain sert principalement à estimer la consommabilité et les propriétés qui n'apparaissent pas à l'œil nu. On peut les considérer comme des indicateurs de la maturité ou du stade de mûrissement du fruit. Les acides jouent un rôle important dans la qualité du fruit, car la saveur est essentiellement un équilibre entre la teneur en sucres et en acides, d'où l'importance de l'évaluation post-récolte de l'acidité pour juger de la saveur du fruit.

PRINCIPE

On détermine le pH d'un filtrat d'échantillons de pulpe à l'aide d'un pH-mètre. L'acidité titrable totale du filtrat est déterminée par titrage des échantillons avec de l'hydroxyde de sodium jusqu'au point final de réaction de la phénolphthaléine et par calcul de l'acide présent sous forme d'acide malique.

Préparation des réactifs

Pour préparer l'indicateur phénolphthaléine : dissoudre 1,0 g de phénolphthaléine dans 50 ml d'éthanol et diluer avec de l'eau distillée de façon à obtenir un volume de 100 ml. Conserver dans des compte-gouttes jusqu'à utilisation.

Pour préparer la solution d'hydroxyde de sodium 0,1 N : peser 4 g de NaOH et les dissoudre dans 1 litre d'eau distillée. La solution doit être conservée dans un récipient hermétiquement fermé jusqu'à utilisation.

Étalonnage du pH-mètre

On peut mesurer le pH du jus de pulpe à l'aide d'un pH-mètre numérique à main (figure 7) ou monté sur un support (figure 8), tandis que l'acidité titrable totale peut être déterminée par titrage manuel (figure 9) ou à l'aide d'un titrimètre automatique (figure 10). Suivre les instructions données dans le manuel du pH-mètre ou du titrimètre utilisé. Se servir de solutions de pH 4 et 7 pour étalonner le pH-mètre.

Mesure du pH du jus de pulpe

On procède comme suit pour mesurer le pH du jus de la pulpe des bananes, bananes à cuire et bananes plantain :

- placer 30 g de pulpe de banane, de banane à cuire ou de banane plantain dans un mixeur de cuisine, ajouter 90 ml d'eau distillée, broyer pendant 2 minutes, puis filtrer (par exemple, à l'aide de papier filtre) ;
- laver l'électrode du pH-mètre à l'eau distillée et placer l'électrode dans le filtrat ;
- laisser s'écouler quelques instants pour stabiliser la mesure. Enregistrer la valeur du pH du filtrat. Laver le pH-mètre à l'eau distillée et le ranger selon les recommandations du fabricant.

En l'absence de pH-mètre, utiliser du papier indicateur universel. Plonger le papier dans le filtrat et comparer le changement de couleur avec le tableau figurant sur l'emballage de l'indicateur. Identifier la couleur correspondante et noter le pH.

Mesure de l'acidité titrable totale

On mesure comme suit l'acidité titrable totale des bananes, bananes à cuire et bananes plantain :

- placer 30 g de tissus de pulpe dans un mixeur de cuisine, ajouter 90 ml d'eau distillée, broyer pendant 2 minutes, puis filtrer ;
- transférer 25 ml de filtrat dans un flacon conique d'une contenance de 125 ml ;
- ajouter 25 ml d'eau distillée et 4-5 gouttes d'indicateur phénolphthaléine ;
- remplir une burette de 25 ml avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) 0,1 N et ajuster à la marque zéro après avoir éliminé les bulles ;
- titrer avec l'hydroxyde de sodium 0,1 N jusqu'à ce que l'indicateur vire au rose/rouge (figure 9) ;
- enregistrer le volume de NaOH qui a été ajouté. Les résultats sont exprimés (en milliéquivalents par 100 g d'échantillon) en termes d'acide prédominant. Chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain, l'acide prédominant est l'acide malique (Josylin 1970).

Si l'on utilise un titrimètre automatique, titrer les échantillons de pulpe jusqu'au point final de réaction de la phénolphthaléine pour un pH de 8,1 avec du NaOH 0,1 N.

Limites

La méthode de détermination de l'acidité titrable totale à l'aide de la phénolphthaléine dépend du virage de l'absence de couleur à la couleur rose/rouge. Celui-ci peut être difficile à déceler lorsqu'on a un produit très coloré. Chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain, l'acide prédominant est l'acide malique et l'on suppose donc que l'acide malique est le seul acide présent.

e. Taux d'humidité et teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe

Le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe sont des critères de qualité importants pour le criblage post-récolte des hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, car ils indiquent la teneur en eau des fruits. Ils permettent notamment aux sélectionneurs de déterminer si un accroissement de rendement est dû à l'augmentation de la teneur en eau ou à une augmentation véritable du poids récolté. L'évaluation de la teneur en matière sèche est essentielle, car la conjugaison de l'intensité respiratoire élevée et de la perte d'eau chez les bananes plantain et les bananes pendant le mûrissement (particulièrement au stade climactérique) entraîne une réduction nette du pourcentage de matière sèche du fruit. En outre, du fait que les géniteurs mâles (principalement des bananiers diploïdes) utilisés pour obtenir certains hybrides de bananiers plantain ont une faible teneur en matière sèche, il importe d'évaluer la teneur en matière sèche des hybrides pour déterminer si ce caractère leur a été transmis. L'évaluation de la teneur en matière sèche peut aussi fournir des informations utiles sur les différences de taux d'humidité entre les hybrides de bananiers plantain et leurs géniteurs.

PRINCIPE

La perte de poids chez du matériel végétal séché à 100°C est attribuable à l'évaporation de l'eau hygroscopique. Si le séchage est prolongé chimiquement, l'eau liée s'évapore également. Mais ces dernières pertes sont minimes par rapport aux premières (Kushman *et al.* 1966).

Mesure du taux d'humidité et de la teneur en matière sèche

On mesure comme suit le taux d'humidité et la teneur en matière sèche des bananes, bananes à cuire et bananes plantain :

- étiqueter un récipient vide (par exemple, une coupelle en papier aluminium), le peser sur une balance Mettler ($\pm 0,0001$) et en enregistrer le poids (A) ;
- placer approximativement 30-50 g d'échantillon frais de peau ou de pulpe hachée dans le récipient et en enregistrer le poids (B) ;
- placer l'échantillon dans une étuve ventilée à 100°C pendant un jour et une nuit (24 heures) ;
- sortir l'échantillon de l'étuve, le transférer dans un dessiccateur, puis le laisser refroidir à la température ambiante ;
- après le séchage, peser de nouveau l'échantillon (C) ;
- le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de l'échantillon peuvent être calculés comme suit :

poids humide de l'échantillon (D) = B - A

poids sec de l'échantillon (E) = C - A

taux d'humidité (%) = $\frac{D - E}{D} \times 100$

teneur en matière sèche (%) = 100 - (taux d'humidité).

2. Maturité des fruits

La maturité des fruits est un critère essentiel pour le criblage post-récolte des nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain. En effet, le stade de maturation auquel un fruit est récolté influe considérablement sur la vie verte, ou aptitude du fruit à être conservé pendant une longue période, et sur sa qualité gustative finale. Tout fruit, s'il est récolté au moment optimal, développe pleinement pendant le stockage la flaveur, la saveur et la couleur qui lui sont caractéristiques. Les fruits récoltés à un stade de maturation précoce sont davantage susceptibles de flétrir et de subir des dommages mécaniques, et ils sont de qualité médiocre lorsqu'ils mûrissent, bien qu'ils se conservent longtemps. D'un autre côté, il ne faut pas récolter à un stade de maturation avancé les fruits destinés à être expédiés sur une longue distance, car ils ne se conserveront pas longtemps (Harman 1981 ; Kader 1994). Il est donc indispensable d'effectuer la récolte à un stade de maturation correspondant à l'utilisation que l'on veut faire des fruits. Le degré de maturité à la récolte est un facteur important qui affecte la perception de la qualité et l'évolution de la qualité pendant les opérations post-récolte. Si l'on connaît le stade de maturation d'un nouvel hybride de *Musa*, il doit être possible de programmer efficacement la récolte, le conditionnement et la commercialisation. Il convient donc d'identifier des indicateurs clés ou indices de maturité pour les nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, afin d'assurer qu'ils parviennent aux consommateurs avec une qualité gustative optimale et de disposer de la flexibilité requise pour la commercialisation.

2.1. Caractéristiques d'un indice de maturité

Pour mesurer la maturité, les producteurs et les agents chargés du conditionnement et du contrôle de qualité doivent pouvoir disposer de moyens simples, applicables au champ (et/ou au laboratoire) ou au point d'inspection, et ne nécessitant que du matériel relativement peu coûteux. Un indice objectif est préférable à un indice de nature subjective, et l'idéal est d'avoir recours à des méthodes non destructives.

2.2. Conditions d'efficacité d'un indice de maturité

On se sert de diverses caractéristiques des fruits pour tenter d'estimer adéquatement leur stade de maturation. Quels que soient le producteur, la région et l'année (ou la saison), un indice de maturité doit impérativement remplir deux conditions. Il doit assurer :

- une qualité gustative minimale acceptable ;
- une longue durée de conservation.

2.3. Critères ou indices communs pour l'évaluation de la maturité des fruits

Il n'existe pas de critères objectifs universellement reconnus pour déterminer le moment approprié pour récolter les bananes, bananes à cuire et bananes plantain. Toutefois, sur la plupart des plantations et exploitations, les critères ou indices les plus communément utilisés pour évaluer la maturité ou le stade de récolte sont les suivants :

- on détermine le stade de récolte de façon empirique, en appréciant visuellement l'aspect du régime porté par le bananier et en particulier l'angularité des doigts (Palmer 1971) ;
- les fruits sont récoltés lorsque les doigts de la première main du régime donnent des signes de mûrissement ou de jaunissement, ou lorsque leur apex noircit (Dadzie 1994b, c) ;
- dans la plupart des plantations, les fruits destinés à des marchés distants sont récoltés au stade appelé "trois quarts plein", lorsque les fruits sont encore nettement anguleux. Pour les marchés locaux, les fruits sont souvent récoltés lorsque les doigts sont pleins ou arrondis ;
- on attache généralement des rubans de couleur aux plants pour indiquer l'âge des régimes ;
- le diamètre du fruit (ou grade) et sa longueur peuvent également servir de critères pour déterminer le stade de récolte.

2.4. Contrôle de l'âge

Il est essentiel de contrôler ou d'évaluer adéquatement l'âge d'un régime pour décider du moment optimal pour la récolte. Un mauvais contrôle de l'âge à la récolte est l'un des facteurs prédisposant les cargaisons de bananes à contenir une part de "bouilli vert" à leur arrivée à destination. L'absence de contrôle peut également entraîner la récolte de fruits trop maigres ou immatures. Ce facteur est essentiel pour évaluer la durée de vie verte et programmer efficacement la récolte et les opérations de commercialisation. Par conséquent, il importe de procéder à un contrôle adéquat de l'âge et d'identifier des indices clés de maturité afin d'assurer que les nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain aient une durée de conservation maximale et une qualité gustative optimale, et qu'ils ne risquent pas de mûrir anormalement.

2.5. Identification d'indicateurs clés de maturité

Un indicateur de maturité utilisé pour un cultivar ou hybride donné risque de ne pas être applicable à d'autres cultivars ou hybrides. Il est donc indispensable de combiner plusieurs indicateurs pour déterminer le stade de récolte. Les indices de maturité doivent mesurer les caractéristiques physiques et les caractéristiques qualitatives qui évoluent à mesure que le fruit se développe, afin qu'en récoltant à un stade particulier, on puisse prédire la qualité gustative finale. Il est préférable que l'indice de maturité fasse appel à une méthode non destructive, ce qui permet d'évaluer chaque fruit, et il importe également que l'indice puisse être mesuré rapidement, simplement et à peu de coût.

La détermination d'indicateurs de maturité appropriés pour les nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain doit permettre d'assurer que les fruits atteignent un stade de développement approprié avant d'être récoltés. Outre les critères qui sont d'ores et déjà appliqués pour évaluer la maturité des fruits (voir ci-dessus), il convient d'identifier des indices de maturité pour chaque nouvel hybride de *Musa*.

2.6. Évaluation de la maturité des fruits

Il faut utiliser à la fois des méthodes et procédure de terrain et de laboratoire pour identifier des indicateurs clés de la maturité des fruits.

Méthodes et procédures applicables au champ

Les méthodes et procédures essentielles pour l'évaluation au champ des indicateurs clés de la maturité sont les suivantes :

2.6.1. Étiquetage des plants à l'émission de l'inflorescence

On étiquette les plants dans le champ immédiatement après l'émission de l'inflorescence (noter la date de la floraison) ou on leur attache des rubans de couleur indiquant la date de la floraison. Le calcul du nombre de jours de l'anthèse à la récolte (intervalle floraison-coupe) fournit l'une des indications les plus fiables de la maturité des bananes, bananes à cuire et bananes plantain. On peut noter quelque variation dans le développement des différents cultivars ou hybrides, ainsi que des variations dans les conditions du champ, mais cette méthode d'estimation de l'âge des régimes est néanmoins très fiable.

2.6.2. Observation visuelle du développement du régime et des fruits

Après avoir étiqueté les plants au moment de l'émission de l'inflorescence, il importe de procéder régulièrement à l'observation visuelle (ou inspection) du développement du régime et des fruits dans le champ afin d'identifier les indicateurs externes de maturation. Noter tous les changements observés dans le développement du régime et des fruits dans le champ.

Les changements les plus significatifs observables à l'œil nu dans les caractéristiques morphologiques des fruits pendant la maturation concernent la dimension, la forme, la longueur et le volume (circonférence) des fruits, qui évoluent à mesure que le régime avance en âge. Chez la plupart des cultivars et hybrides de *Musa*, pendant les premiers stades de développement, les doigts sont anguleux ; au cours de leur croissance, ils perdent leur angularité, s'arrondissent et prennent une forme plus pleine. Le degré final de rondeur dépend du cultivar. Chez certains hybrides de bananiers, bananiers à cuire ou bananiers plantain, des lignes verticales se forment sur la surface du fruit pendant la maturation. Ces lignes sont plus prononcées sur le fruit immature et elles s'estompent à mesure que la maturation progresse (figure 11). Chez certains hybrides de bananiers à cuire, de petites lignes brunes apparaissent distinctement sur la surface du fruit à un stade ultérieur de développement et deviennent plus prononcées lorsque le fruit prend de l'âge. Chez certains hybrides de *Musa*, le style terminal se dessèche et reste faiblement rattaché au fruit au moment de la récolte, tandis que chez d'autres, le style desséché se détache du

fruit à la maturité. Ces transformations visibles dans la morphologie du fruit durant la maturation constituent des indices de maturité essentiels pour l'évaluation générale du stade de la récolte. Il est à noter que, si certains des changements morphologiques observables à l'œil nu pendant la maturation du fruit diffèrent en fonction du cultivar ou de l'hybride, ou sont spécifiques à un cultivar ou hybride donné, en général ces transformations se manifestent chez la plupart des hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain. La figure 11 illustre l'évolution typique des caractères morphologiques pendant la maturation du fruit.

Méthodes et procédures applicables en laboratoire

On récolte le même jour des régimes d'âges différents (voir figure 11) que l'on transporte avec précaution jusqu'au laboratoire pour procéder à l'analyse des fruits. Afin de réduire les variations et d'obtenir des données cohérentes, il importe de ne prendre de mesures que sur les doigts de la deuxième main des régimes. Toutefois, si les échantillons ainsi obtenus sont en quantité insuffisante, on pourra inclure les fruits de la troisième main. Les méthodes et procédures essentielles pour l'évaluation en laboratoire des indicateurs clés de maturité sont les suivantes :

2.6.3. Évolution des caractéristiques physiques des fruits durant la maturation

Pendant la maturation, des gains sont enregistrés dans certaines caractéristiques du fruit : poids du fruit, rapport circonférence / longueur, rapport pulpe / peau.

Ces changements se produisent simultanément avec d'autres transformations observables visuellement, qui affectent par exemple la dimension, la forme, le volume et l'angularité du fruit, la couleur de la peau et la nature de l'apex du fruit. Généralement les changements intervenant pendant la maturation dans des caractéristiques telles que le poids du fruit, sa longueur, sa circonférence et sa section transversale sont fonction de l'hybride. Il convient donc de prendre en compte les caractéristiques suivantes pour évaluer la maturité des fruits dans le cadre du criblage post-récolte des nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain :

a. Diamètre, longueur, poids, volume et densité du fruit

La maturité du fruit est généralement en rapport avec le diamètre des doigts ou grade, et celui-ci permet donc d'estimer le degré de maturité du régime.

Dans la pratique commerciale, on détermine le diamètre des doigts ou grade en mesurant, sur chaque régime, le doigt situé en position médiane sur la rangée externe de la deuxième main (à l'endroit où le doigt est le plus épais) à l'aide d'un calibre (figure 12). Selon le pays, le grade peut être exprimé de trois manières :

- (a) en trente-deuxièmes de pouce (par exemple, le grade 42 correspond à 1 pouce 10 / 32) ;
- (b) en trente-deuxièmes de pouce au-dessus de trente-deux (le grade 10 correspondant à 1 pouce 10 / 32) ;
- (c) en millimètres (le grade 42 correspondant à 33 mm sur la base d'une équivalence de 0,794 mm pour 1 / 32 de pouce). En Amérique centrale et du Sud, le grade est exprimé en trente-deuxièmes de pouce au-dessus de 1 pouce, tandis qu'on mesure en millimètres aux Antilles et en Afrique (Stover et

Simmonds 1987). Ce paramètre peut varier d'une saison à une autre.

Dans l'industrie bananière, on se sert aussi de la longueur des doigts pour évaluer la maturité du régime avant la récolte. A l'aide d'un ruban spécial, on mesure le doigt situé en position médiane sur la rangée externe de la deuxième main (figure 13).

Pendant la maturation, des changements se produisent également dans le poids, le volume et la densité des bananes, bananes à cuire et bananes plantain. Il faut donc évaluer ces caractéristiques en même temps que les autres transformations observées visuellement.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le poids, la longueur, le volume et la densité des fruits ont été décrites au chapitre précédent.

b. Rapport pulpe/peau

Les changements intervenant en cours de maturation dans le rapport pulpe / peau constituent l'un des indicateurs les plus significatifs et les plus fiables de la maturité. Il existe à la fois une relation linéaire et une forte corrélation entre le rapport pulpe / peau et l'âge du régime (Dadzie 1993, 1994b, c).

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le rapport pulpe/peau ont été décrites au chapitre précédent.

c. Section transversale du fruit

Chez certains cultivars ou hybrides de bananiers, bananiers à cuire ou bananiers plantain, la section transversale ou la configuration du fruit (dans les doigts situés près du haut du régime) évolue pendant la maturation. La figure 14 illustre les changements typiques intervenant dans les angles, la forme et la dimension de la section transversale au cours de la période de maturation.

ÉVALUATION DE LA SUPERFICIE DE LA SECTION TRANSVERSALE DU FRUIT

On procède comme suit à l'évaluation de la superficie de la section transversale du fruit :

- couper le fruit transversalement dans sa partie médiane et en tracer le contour sur une feuille de papier à l'aide d'un crayon à mine tendre bien taillé ;
- laisser sécher la feuille, puis reporter le contour sur une feuille de papier propre ;
- découper la section (à l'aide d'une paire de ciseaux) et la peser sur une balance Mettler ($\pm 0,0001$) ;
- de même, couper et peser un morceau de papier de 100 x 100 mm. Son poids donne le poids par millimètre carré (mm^2) ;
- le poids de la section du fruit tracée sur la feuille, divisé par le poids par millimètre carré, donne la superficie de la section transversale de ce fruit particulier en millimètres carrés (mm^2).

d. Architecture loculaire

Chez certains hybrides, des changements se produisent également dans l'architecture loculaire du fruit à mesure que la maturation progresse. La structure loculaire et les ovules dégénérés à l'intérieur du fruit apparaissent de manière plus prononcée quand le fruit avance en âge (figure 14).

Pour évaluer les changements dans l'architecture loculaire, on coupe le fruit transversalement dans sa partie médiane et on note les modifications observées.

2.6.4. Évolution des caractéristiques qualitatives des fruits durant la maturation

Des changements interviennent également dans les caractéristiques qualitatives des bananes, bananes à cuire et bananes plantain pendant la maturation, et il est donc important d'évaluer ces caractéristiques pour identifier des indices clés de la maturité. Il s'agit principalement des éléments suivants :

a. Couleur de la peau et de la pulpe

Pendant la maturation, la couleur de la peau et la couleur de la pulpe subissent des changements qui sont essentiels pour l'évaluation générale de la maturité du fruit. Chez la plupart des hybrides de *Musa*, la peau tourne du vert foncé au vert clair (ou au vert jaune) à mesure que la maturation progresse. Chez la plupart des hybrides de bananiers (et chez certains hybrides de bananiers à cuire), la pulpe passe du blanc au stade préclimactérique à la couleur crème ou jaune pâle aux stades ultérieurs de développement. Chez la plupart des hybrides de bananiers plantain, la pulpe a généralement une coloration jaune pâle dans le fruit immature, et devient jaune orangé lorsque le fruit prend de l'âge. Ces changements de couleur de la peau et de la pulpe, qui signifient le début de la maturité physiologique, peuvent servir à estimer le degré de maturité des nouveaux hybrides de *Musa*.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer la couleur de la peau et de la pulpe ont été décrites au chapitre précédent.

b. Fermeté de la pulpe

Chez la plupart des hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, la fermeté de la pulpe n'évolue pas de manière significative pendant la première phase de maturation, mais à mesure que la croissance se poursuit, des changements peuvent intervenir. Il est donc important de déterminer cet aspect pendant la maturation du fruit. Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer la fermeté de la pulpe ont été décrites au chapitre précédent.

c. pH et acidité titrable totale de la pulpe

Les changements intervenant dans le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe au cours de la maturation varient en fonction de l'hybride. Chez certains hybrides de *Musa*, le pH de la pulpe diminue et l'acidité titrable augmente à mesure que le fruit avance en âge, tandis que chez d'autres hybrides, on ne note pas de changement significatif. Par conséquent, ces facteurs peuvent servir d'indicateur de maturité pour certains hybrides.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe ont été décrites au chapitre précédent.

d. Taux d'humidité et teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe

Le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe des bananes, bananes à cuire et bananes plantain sont des caractéristiques qualitatives importantes pour l'évaluation de la maturité des fruits. Pendant la maturation, des changements se produisent dans ces deux facteurs, mais ces changements sont fonction de l'hybride ou du cultivar.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe ont été décrites au chapitre précédent.

3. Vie verte

Les bananes à cuire, les bananes plantain et surtout les bananes douces sont généralement récoltées au stade vert mature et stockées. Pendant le stockage, elles restent fermes et vertes, sans qu'aucun changement significatif intervienne dans la couleur de la peau ou dans la texture et la composition du fruit pendant une période de temps plus ou moins longue (selon la température, l'humidité et l'âge à la récolte), jusqu'à ce que le fruit commence à mûrir. Cette période bien précise après la récolte, pendant laquelle les fruits demeurent verts et fermes, est appelée stade préclimactérique ou vie verte (Blake et Peacock 1971 ; Peacock 1966 ; Peacock et Blake 1970). Une fois que la vie verte a pris fin et que le mûrissement du fruit a commencé, le processus est irréversible et tout fruit dans lequel ce processus est engagé sera "surmûr" au moment de la commercialisation.

Le succès de l'introduction de nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain ne dépend pas seulement de leur résistance aux maladies et de leur comportement agronomique. Leur potentiel de vie verte contribue également de manière significative à leur acceptabilité générale. La sélection d'hybrides ayant une longue durée de vie verte (demeurant verts longtemps après la récolte ou mûrissant lentement) facilitera la commercialisation des fruits tout en réduisant les pertes post-récolte. Il convient donc d'évaluer ce potentiel chez les nouveaux hybrides de *Musa*.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer la vie verte des bananes, bananes à cuire et bananes plantain sont décrites ci-après.

3.1. Évaluation de la vie verte

On procède comme suit pour évaluer la vie verte :

- étiqueter les plants dans le champ immédiatement après l'émission de l'inflorescence (noter la date de la floraison) et calculer le nombre de jours entre l'anthèse et la récolte (intervalle floraison-coupe) pour connaître précisément l'âge des régimes ;
- récolter des régimes de différents âges (ou degrés de maturité), les découper en mains, emballer celles-ci dans des cartons répétés (tapissés de film de polyéthylène perforé) qui seront stockés séparément à deux températures différentes, $14\pm 1^{\circ}\text{C}$ et $27\pm 1^{\circ}\text{C}$. On contrôlera soigneusement l'humidité relative (90-95 %) pour empêcher toute perte d'eau ou déshydratation sévère des fruits, qui pourrait déclencher la production d'éthylène et, par conséquent, un mûrissement prématuré (George et Marriott 1983) ;
- avant le stockage, prélever des échantillons représentatifs des fruits et évaluer la couleur initiale de la peau et de la pulpe, la fermeté de la pulpe et l'extrait sec soluble (selon les procédures décrites au chapitre 1) ;

- procéder comme suit pour évaluer la vie verte :
 - (a) examiner visuellement, au moins deux fois par jour, la couleur de la peau des fruits à chaque température de stockage ;
 - (b) prélever des échantillons représentatifs des fruits stockés à chaque température (à intervalles réguliers) et mesurer l'intensité respiratoire, la production d'éthylène (voir ci-dessous), la fermeté de la pulpe et l'extrait sec soluble (selon les procédures décrites au chapitre 1) ;
 - (c) retirer du stockage tout carton dans lequel on constate que des fruits commencent à mûrir (l'éthylène produit par un fruit déclencherait le mûrissement du reste des fruits) ;
 - (d) lorsque le mûrissement commence, la vie verte prend fin. Pour calculer la durée de la vie verte, on détermine la période (en jours) depuis la récolte jusqu'au début du mûrissement.

La durée de la vie verte des bananes, bananes à cuire et bananes plantain est généralement en relation avec l'âge du régime (Dadzie 1993, 1994b, c).

3.2. Méthodes pour mesurer l'intensité respiratoire et la production d'éthylène

Il existe plusieurs méthodes pour estimer l'intensité respiratoire et la production d'éthylène par les organes de plantes comme les bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, mais aucune n'est entièrement satisfaisante. Ces méthodes reposent soit sur la mesure directe du gaz carbonique (CO₂) ou de l'oxygène (O₂) et de l'éthylène (C₂H₄), soit sur le suivi indirect des variations de pression ou de volume dues à la production de CO₂ (et de C₂H₄) et à l'absorption de O₂. Ci-après sont décrites les deux principales méthodes utilisées pour estimer la production de CO₂ (ou l'absorption de O₂) et la production de C₂H₄.

3.2.1. Système ouvert

Le système ouvert consiste à faire incuber l'organe de la plante ou le fruit dans un conteneur hermétiquement fermé à travers lequel on fait passer un volume connu de gaz. Le flux sortant traverse une colonne contenant un absorbeur de CO₂ tel que l'hydroxyde de sodium (NaOH) ou l'hydroxyde de potassium (KOH), qui absorbe le CO₂ respiré. La quantité de CO₂ produite pendant une période de temps donnée est ensuite déterminée par analyse titrimétrique ou gravimétrique des matériaux absorbés. Il est également possible de déterminer les différences de concentration en CO₂ (ou O₂) et en C₂H₄ entre l'entrée et la sortie du conteneur par chromatographie en phase gazeuse (à l'aide d'un détecteur à conductivité thermique pour la détection du CO₂ et du O₂, ou d'un analyseur à infrarouge pour la détection du CO₂, et d'un détecteur à ionisation de flamme pour la détection du C₂H₄) (Kader 1987 ; Solomos 1987).

On calcule le taux de respiration (et la production d'éthylène) à partir du poids des fruits, de la vitesse de circulation et du changement de concentration en CO₂ ou O₂ (ou de concentration en C₂H₄). La formule suivante permet de calculer le taux de respiration (ml ou cm³ O₂ (ou CO₂) kg⁻¹ h⁻¹) ou le taux de production d'éthylène (µl C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹) :

$$\frac{\Delta O_2 \text{ ou } \Delta CO_2 \text{ ou } \Delta C_2H_4}{100} \times \frac{\text{vitesse de circulation (ml/h)}}{\text{poids des fruits (kg)}}$$

où : ΔO_2 = changement dans la concentration en O_2 (%)
 ΔCO_2 = changement dans la concentration en CO_2 (%)
 ΔC_2H_4 = changement dans la concentration en C_2H_4 (ml^{-1}).

Limites

Le système ouvert est particulièrement approprié pour la mesure du flux de CO_2 et de C_2H_4 . En effet, ces gaz peuvent être éliminés par absorption (respectivement par le KOH et le $KMnO_4$) du flux entrant de gaz, de sorte que seules les quantités produites par le fruit soient présentes dans le flux d'air sortant. En revanche, il est extrêmement difficile de mesurer le O_2 précisément avec cette méthode, car cela implique de pouvoir mesurer avec exactitude la différence entre le flux entrant et le flux sortant à la suite de l'absorption d'une quantité relativement petite de O_2 par le fruit (Ben-Yehoshua et Cameron 1988).

3.2.2. Système fermé

Les fruits sont placés dans un conteneur hermétiquement fermé et l'on mesure l'accumulation de CO_2 et de C_2H_4 et/ou l'épuisement du O_2 dans l'atmosphère du conteneur fermé (par chromatographie en phase gazeuse, à l'aide d'un détecteur à conductivité thermique pour la détection du CO_2 et du O_2 , ou d'un analyseur à infrarouge pour la détection du CO_2 , et d'un détecteur à ionisation de flamme pour la détection du C_2H_4) après écoulement d'une période spécifique qui est généralement d'une heure.

Limites

Le principal inconvénient du système fermé réside dans le fait qu'il s'agit d'un système qui n'est pas en équilibre, de sorte que l'épuisement du O_2 et l'accumulation de CO_2 et de C_2H_4 risquent d'affecter les tissus et leur intensité respiratoire (Kader 1987). On peut y remédier en maintenant la période d'incubation à un minimum (généralement une heure).

Les vitesses d'absorption du O_2 et de production de CO_2 et de C_2H_4 sont calculées comme suit :

a. vitesse d'absorption du O_2 ($cm^3 kg^{-1} h^{-1}$) :

$$\frac{[O_2] \text{ initial} - [O_2] \text{ final}}{100} \times (V_{\text{conteneur}} - V_{\text{fruits}}) \times \frac{1000}{P_{\text{fruits}}} \times \frac{60}{T}$$

b. vitesse de production de CO_2 ($cm^3 kg^{-1} h^{-1}$) :

$$\frac{[CO_2] \text{ final} - [CO_2] \text{ initial}}{100} \times (V_{\text{conteneur}} - V_{\text{fruits}}) \times \frac{1000}{P_{\text{fruits}}} \times \frac{60}{T}$$

c. vitesse de production de C_2H_4 ($\mu l kg^{-1} h^{-1}$) :

$$\frac{[C_2H_4] \text{ final} - [C_2H_4] \text{ initial}}{1000} \times (V_{\text{conteneur}} - V_{\text{fruits}}) \times \frac{1000}{P_{\text{fruits}}} \times \frac{60}{T}$$

où : $[O_2] \text{ initial}$ = concentration initiale en oxygène (%)

$[O_2] \text{ final}$ = concentration finale en oxygène (%) (0,01 % = 100 ppm)

$[CO_2] \text{ initial}$ = concentration initiale en gaz carbonique (%)

$[CO_2] \text{ final}$ = concentration finale en gaz carbonique (%)

$[C_2H_4] \text{ initial}$ = concentration initiale en éthylène (μl^{-1}) ($[0,01 \mu l^{-1}] = \text{ppm}$)

$[C_2H_4] \text{ final}$ = concentration finale en éthylène (μl^{-1})

$V_{\text{conteneur}}$ = volume du conteneur ou récipient (cm^3)

V_{fruits} = volume des fruits (cm^3)

P_{fruits} = poids des fruits (kg)

T = temps (heure).

3.3. Durée de vie commerciale

La durée de vie commerciale est simplement la période pendant laquelle on peut espérer maintenir un niveau de qualité prédéterminé en stockant les fruits dans des conditions précises. En d'autres termes, il s'agit de la période (en jours) entre l'initiation ou le commencement du mûrissement (c'est-à-dire la fin de la vie verte) et le moment où le fruit n'est plus commercialisable ou n'est plus consommable. Il est essentiel de déterminer la durée de vie commerciale des nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain afin de disposer d'informations utiles sur leur potentiel de stockage et de commercialisation. La connaissance de cet élément permet de mettre au point des techniques appropriées de stockage, de conditionnement et de commercialisation.

3.3.1. Évaluation de la durée de vie commerciale

Pour pouvoir déterminer la durée de vie commerciale, il faut que les critères de qualité et les conditions de stockage soient spécifiés. La durée de vie commerciale commence dès la fin de la vie verte du fruit. Pour procéder à l'évaluation, on prend des fruits précédemment stockés à deux températures différentes, $14\pm 1^{\circ}\text{C}$ et $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ (selon la procédure décrite au chapitre précédent), et on les transfère à la température ambiante dès la fin de la vie verte afin de pouvoir observer la durée de leur conservation.

On évalue la durée de vie commerciale en procédant régulièrement à une inspection visuelle des fruits. La durée de vie commerciale est la période (en jours) entre le début du mûrissement et le moment où le fruit n'est plus commercialisable ou n'est plus consommable.

4. Qualité des fruits mûrs

Pendant le mûrissement après la récolte, la plupart des fruits subissent de nombreux changements physiques et chimiques qui déterminent la qualité du produit acheté par le consommateur. La qualité du fruit mûr constitue un important critère de sélection post-récolte et il convient donc d'en tenir compte dans le criblage des nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain. La qualité des fruits mûrs de ces hybrides ne doit pas être inférieure à celle des géniteurs dont ils sont issus.

Traditionnellement, une relation est établie entre le stade de mûrissement de la banane et l'évolution de la couleur de la peau (Løsecke 1950 ; Palmer 1971), et il est d'usage de comparer la coloration de la peau avec une échelle colorimétrique pour évaluer le degré de mûrissement du fruit. Il arrive que des températures élevées et un faible taux d'humidité relative entraînent la persistance d'une couleur de peau verte bien que le mûrissement ait déjà commencé à l'intérieur du fruit. Dans ce cas, la couleur de la peau ne reflète pas les changements internes. Il convient donc de combiner des indicateurs externes et internes pour évaluer le stade de mûrissement des nouveaux hybrides de *Musa*. Des méthodes et procédures simples et fiables d'évaluation de la qualité des fruits mûrs ou du stade de mûrissement aideront à programmer efficacement les opérations de récolte, de transport et de commercialisation.

4.1. Changements liés au mûrissement

Le mûrissement du fruit est le résultat d'un ensemble de transformations, dont beaucoup se produisent sans doute indépendamment les unes des autres (Brady 1987). Ci-après sont énumérés les changements les plus communément observés pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain :

- changements dans la couleur de la peau et de la pulpe ;
- conversion de l'amidon en sucres ;
- changements dans le rapport pulpe/peau (et la facilité de l'épluchage) ;
- changements dans la consistance de la pulpe ou ramollissement de la pulpe ;
- changements dans le taux d'extrait sec soluble ;
- changements dans le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe ;
- changements dans le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe ;
- changements dans l'intensité respiratoire et la production d'éthylène.

4.2. Évaluation des changements liés au mûrissement

Pour évaluer les changements intervenant pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain, il faut :

- récolter des régimes physiologiquement matures et prélever les doigts de la deuxième main. Toutefois, si les échantillons ainsi obtenus sont en quantité insuffisante, on pourra inclure les fruits de la troisième main ;
- faire mûrir les fruits naturellement à la température ambiante ou en les traitant à l'éthylène (1 ml/litre) pendant 24-48 heures ;
- ventiler et faire mûrir les fruits à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 %.

Les changements sont évalués comme suit :

4.2.1. Changements dans la couleur de la peau et de la pulpe

Un signe évident de mûrissement chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain est l'évolution de la couleur de la peau qui, verte au départ, jaunit progressivement. La disparition de la coloration verte est due à la dégradation de la structure de la chlorophylle. Les changements extérieurs qui interviennent dans la couleur de la peau pendant le mûrissement s'accompagnent souvent de changements dans la couleur de la pulpe (Deullin 1963 ; Wainwright et Hughes 1989, 1990).

Classer les fruits selon la couleur de leur peau en comparant celle-ci visuellement à une échelle colorimétrique (comme celle présentée à la figure 15). On peut également se servir d'instruments (selon les méthodes et procédures décrites au chapitre 1) pour mesurer les changements de couleur (de la peau et de la pulpe) liés au mûrissement ou pour déterminer le stade de mûrissement du fruit. On pourra établir des échelles de couleur de la peau et de la pulpe pour chaque hybride afin d'aider à standardiser la détermination des stades de mûrissement.

4.2.2. Conversion de l'amidon en sucres

La transformation chimique la plus remarquable, pendant le mûrissement post-récolte des bananes, bananes à cuire et bananes plantain, est l'hydrolyse de l'amidon et l'accumulation de sucres (saccharose, glucose et fructose : Læsecke 1950 ; Palmer 1971) dont la présence confère au fruit un goût de plus en plus sucré (à mesure qu'il mûrit). Chez la banane dessert (par exemple, Cavendish), la décomposition de l'amidon et la synthèse des sucres sont généralement achevées lorsque le fruit est entièrement mûr (stade 6-7 de couleur de peau), tandis que chez la banane plantain, cette décomposition est plus lente, moins complète, et se poursuit dans les fruits "surmûrs" et sénescents (Marriott *et al.* 1981).

Pour évaluer la teneur en amidon (ou en sucres) pendant le mûrissement de fruits tels que les bananes, les bananes à cuire et les bananes plantain, il existe plusieurs méthodes et procédures qui ont été décrites par divers chercheurs (AOAC 1990 ; Josylin 1970 ; Kayisu *et al.* 1981). Cependant, la plupart de ces méthodes sont compliquées, prennent du temps et requièrent du personnel qualifié et une technologie coûteuse. Il convient donc de disposer d'une méthode facile, rapide et peu coûteuse pour estimer la teneur en amidon du fruit et disposer ainsi d'un indicateur du mûrissement. Ces conditions sont

remplies par le test à l'iode, qui permet d'évaluer visuellement la conversion de l'amidon en sucres pendant le mûrissement du fruit.

Test à l'iode

Le test à l'iode, conçu à l'origine pour évaluer le degré de maturité des pommes (notamment les Granny Smith : Reid *et al.* 1982 ; Saltveit et Hale 1982), a été adopté pour évaluer la conversion de l'amidon en sucres pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain (Blankenship *et al.* 1993 ; Dadzie 1993, 1994b, c ; Garcia et Lajolo 1988 ; Kader *et al.* 1994).

PRINCIPE

Le test à l'iode repose sur le fait que l'amidon accumulé par le fruit pendant la croissance et la maturation est converti en sucres au fur et à mesure que le fruit mûrit. On peut évaluer visuellement le processus de dégradation de l'amidon, ou le degré relatif d'hydrolyse, ou la conversion de l'amidon en sucres, en colorant des sections transversales du fruit avec une solution d'iode et d'iodure de potassium. On peut ainsi voir la perte d'amidon commencer dans les loges contenant les ovules dégénérés et se généraliser à l'ensemble de celles-ci à mesure que le mûrissement progresse, selon une évolution caractéristique pour le cultivar ou hybride concerné (Blankenship *et al.* 1993 ; Dadzie 1993, 1994b, c ; Kader *et al.* 1994). Ce test est particulièrement utile lorsqu'on assigne aux différentes phases de la dégradation de l'amidon des indices (par exemple, sur une échelle de 1 à 8) correspondant aux stades d'évolution de la couleur de la peau (figure 15) (Læsecke 1950).

Préparation du réactif

Dissoudre 10 g d'iodure de potassium (celui-ci mettant longtemps à se dissoudre dans l'eau froide, le dissoudre tout d'abord dans une petite quantité d'eau chaude) et 2,5 g d'iode dans un litre d'eau distillée. Conserver la solution dans un récipient en verre hermétiquement fermé placé à l'abri de la lumière (le réactif se détériorant à la lumière) jusqu'à utilisation.

Évaluation de la conversion de l'amidon à l'aide du test à l'iode

À l'aide du test à l'iode, on évalue comme suit la dégradation de l'amidon pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain :

- dans la partie médiane du fruit, couper transversalement un morceau d'environ 2-3 cm d'épaisseur et séparer la pulpe de la peau ;
- placer une face du morceau de pulpe pendant 5 secondes dans la solution d'iode et d'iodure de potassium (figure 16) ;
- l'amidon présent dans la pulpe réagit avec l'iode, faisant virer la couleur de la pulpe au bleu foncé. Les bananes, bananes à cuire et bananes plantain immatures, qui ont une teneur élevée en amidon, exhibent une forte coloration bleue. Lorsque l'amidon contenu dans la pulpe s'est transformé en sucres (pendant le mûrissement), il n'y a plus de réaction à l'iode et la pulpe conserve une coloration pâle ;
- pour chaque fruit, on évalue la phase de dégradation de l'amidon en comparant la surface colorée du morceau de pulpe avec des photographies des différents stades (voir par exemple figure 17) ;
- on assigne à chaque phase de dégradation de l'amidon un indice sur une échelle de 1 à 8 correspondant au stade d'évolution de la couleur de la peau (figure 17).

Les premiers signes visuels d'absence de coloration de l'amidon pendant le mûrissement apparaissent dans les loges contenant les ovules dégénérés, qui sont généralement l'endroit où la dégradation de l'amidon commence (pour se propager ensuite au reste de la pulpe). L'intensité de la coloration dépend en grande partie du stade de mûrissement, de la quantité d'amidon présente dans la pulpe et du cultivar ou hybride (figure 17). Par exemple, chez les bananes dessert mûres (stade 7 de couleur de peau), la majeure partie des loges ne se colore pas, tandis que chez les bananes plantain et les bananes à cuire, la non-coloration ne commence qu'au stade où la peau est jaune. Par conséquent, les différences dans les phases de dégradation de l'amidon et dans la dimension relative des tissus locaux pourraient expliquer en partie les différences constatées dans la teneur en amidon des différentes espèces de *Musa* à des âges physiologiques (couleurs de peau) équivalents. L'utilisation d'indices de dégradation de l'amidon pour distinguer entre les différents stades du mûrissement offre un moyen simple et rapide pour évaluer la conversion de l'amidon en sucres.

Limites

Tant que la teneur en amidon demeure élevée, les différences de coloration ne sont pas très distinctes.

4.2.3. Changements dans le rapport pulpe / peau

Le rapport pulpe / peau est un indice fiable du mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain. Ce rapport augmente en fonction du degré de mûrissement (c'est-à-dire du stade de couleur de la peau). Les changements intervenant dans le rapport pulpe / peau pendant le mûrissement correspondent à une évolution différentielle du taux d'humidité de la peau et de la pulpe. L'accroissement du rapport pulpe / peau pendant le mûrissement est lié à la concentration en sucres dans les deux tissus. Dans le cours du mûrissement, la concentration en sucres augmente plus rapidement dans la pulpe que dans la peau, d'où une évolution différentielle de la pression osmotique. La peau perd de l'eau en faveur de l'atmosphère du fait de la transpiration et en faveur de la pulpe du fait de l'osmose (Stover et Simmonds 1987), ce qui entraîne un accroissement du poids frais de la pulpe à mesure que le fruit mûrit. Ainsi, le rapport pulpe / peau va en augmentant tandis que le mûrissement progresse.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le rapport pulpe / peau pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont été décrites au chapitre 1.

4.2.4. Changements dans la consistance de la pulpe

En conditions de stockage normales, la texture des bananes, bananes à cuire et bananes plantain évolue considérablement au fur et à mesure que le mûrissement progresse. Dur, vert et croquant au départ, le fruit prend une coloration jaune, tandis que la pulpe intérieure devient tendre au stade de mûrissement optimal, puis spongieuse lorsqu'elle évolue vers la sénescence. La diminution de la fermeté liée au mûrissement se traduit par une baisse de qualité et par une plus forte incidence de dommages mécaniques lors de la manutention et du transport. Cette diminution de la fermeté de la pulpe varie selon le cultivar ou hybride. La fermeté de la pulpe est souvent en relation inverse avec le mûrissement, c'est-à-dire qu'elle diminue à mesure que le fruit mûrit (Smith *et al.*

1989). De manière générale, les cultivars triploïdes sont plus fermes que les hybrides tétraploïdes (Dadzie 1994c). La diminution de la fermeté, ou ramollissement, qui se produit pendant le mûrissement est associée à deux ou trois processus. Le premier est la conversion de l'amidon en sucres. Le deuxième est la dégradation des parois cellulaires, ou réduction de la cohésion de la lamelle mitoyenne, du fait de la solubilisation des substances pectiques (Palmer 1971 ; Smith *et al.* 1989). Le troisième est le transfert d'eau de la peau à la pulpe par l'osmose.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer la consistance de la pulpe pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont été décrites au chapitre 1.

4.2.5. Changements dans le taux d'extrait sec soluble

Pendant le mûrissement, le taux d'extrait sec soluble augmente. Cependant, l'ampleur de cette augmentation est fonction du cultivar ou hybride. Dans la plupart des fruits mûrs, y compris chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain, les sucres représentent la principale composante de l'extrait sec soluble. Étant donné que la teneur en sucres augmente généralement au fur et à mesure que le fruit devient mature et mûrit, le taux d'extrait sec soluble constitue un indice utile du stade de mûrissement. Il varie selon le cultivar et selon le stade de mûrissement. Ainsi, chez certains hybrides, le taux d'extrait sec soluble augmente jusqu'à un pic, puis diminue (cette décroissance étant sans doute due à la conversion des sucres de la pulpe en alcool). Tandis que chez d'autres hybrides, le taux d'extrait sec soluble continue d'augmenter avec le mûrissement.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le taux d'extrait sec soluble pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont été décrites au chapitre 1.

4.2.6. Changements dans le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe

Le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe jouent un rôle important dans l'évaluation de la qualité du fruit mûr. Chez la plupart des cultivars ou hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain, le pH de la pulpe diminue rapidement à mesure que le mûrissement progresse. Cependant, l'ampleur de cette diminution dépend du cultivar. Généralement, lorsque les fruits sont récoltés au stade vert mature, le pH de la pulpe est élevé, puis il s'abaisse progressivement dans le cours du mûrissement. On peut donc se servir du pH de la pulpe comme indice de mûrissement.

La teneur en acides organiques diminue normalement durant le mûrissement, car ceux-ci sont respirés ou convertis en sucres (Wills *et al.* 1989). Les acides organiques jouent un rôle important pour produire un équilibre entre sucres et acides qui confère au fruit une saveur agréable lorsqu'il mûrit. L'acidité, mesurée sous forme d'acidité titrable dans les tissus de la pulpe, augmente fortement pendant le mûrissement chez la plupart des cultivars ou hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain. Par conséquent, il s'agit également d'un bon indice de mûrissement.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le pH et l'acidité titrable totale de la pulpe pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont été décrites au chapitre 1.

4.2.7. Changements dans le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe

Le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe sont des paramètres importants pour évaluer la qualité des fruits mûrs. Pendant le mûrissement, le taux d'humidité de la peau diminue et celui de la pulpe augmente, car il y a transfert d'eau de la peau vers l'atmosphère et vers la pulpe. Chez la plupart des cultivars et hybrides, la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe ne change pas de manière significative pendant le mûrissement.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le taux d'humidité et la teneur en matière sèche de la peau et de la pulpe pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont été décrites au chapitre 1.

4.2.8. Changements dans l'intensité respiratoire et la production d'éthylène

Au cours du mûrissement, la quantité d'éthylène produite par le fruit augmente considérablement. Cette augmentation s'accompagne usuellement d'un accroissement du taux de respiration du fruit (phénomène désigné sous l'appellation de stade climactérique). L'intensité respiratoire et la production d'éthylène dépendent généralement de la température de stockage, de l'âge du fruit et du cultivar ou hybride (Kader 1987).

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer l'intensité respiratoire et la production d'éthylène pendant le mûrissement des bananes, bananes à cuire et bananes plantain ont été décrites au chapitre 3.

5. Propriétés organoleptiques

On peut, à l'aide d'instruments, mesurer objectivement les caractéristiques post-récolte des bananes, bananes à cuire et bananes plantain, mais ces mesures n'auraient guère de valeur si elles n'étaient accompagnées d'évaluations faites par des personnes. En outre, les instruments ne permettent d'appréhender qu'un champ restreint, tandis que l'évaluation sensorielle utilise les sens pour parvenir à une impression totale de l'arôme, de la saveur, de la température, ainsi que des caractéristiques olfactives et tactiles. Il convient donc de compléter les mesures physiologiques par une appréciation subjective de la palatabilité des fruits, effectuée par un jury de dégustation. On peut alors aisément établir des corrélations entre les résultats des épreuves sensorielles et des tests chimiques et objectifs pour identifier les relations entre les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés organoleptiques d'un cultivar ou hybride.

L'évaluation sensorielle joue un rôle très important dans le criblage des nouveaux hybrides de *Musa*, car elle donne une indication de l'acceptabilité potentielle des fruits par les consommateurs. Elle fournit également des informations utiles pour orienter le travail des sélectionneurs.

5.1. Préparation et présentation des échantillons

L'évaluation sensorielle ne nécessite aucune installation complexe, mais un minimum de conditions doivent être remplies pour que les épreuves puissent se dérouler efficacement et donner des résultats fiables (Watts *et al.* 1989). Les conditions idéales sont les suivantes :

- on doit disposer d'un local spécial contenant plusieurs cabines individuelles ou cabines amovibles pouvant être mises en place aisément ;
- les cabines de dégustation doivent :
 - (a) être séparées par des cloisons de façon à empêcher les échanges entre les dégustateurs et à leur faciliter la concentration ;
 - (b) créer une atmosphère favorisant une juste appréciation ;
 - (c) être propres, bien éclairées (dans certains cas, il sera souhaitable d'avoir des lampes masquant les différences de couleur entre les échantillons), ventilées, à l'abri des odeurs de produits chimiques ou de cigarette ainsi que des distractions auditives et visuelles, équipées d'un crachoir permettant de se rincer la bouche et d'expectorer et dotées d'un accès commode à la zone de préparation des aliments ;
- les échantillons doivent être présentés aux dégustateurs sous la forme et à la température de consommation usuelles ;

- les échantillons doivent être codés de façon à ne pas créer d'idées préconçues chez les dégustateurs (il suffit, par exemple, d'employer des codes à trois chiffres tirés d'une table de nombres au hasard) ;
- les dégustateurs doivent boire de l'eau ou se rincer la bouche avec de l'eau entre deux échantillons ;
- les dégustateurs ne doivent pas communiquer entre eux pendant l'évaluation sensorielle ;
- les épreuves doivent avoir lieu chaque jour à la même heure, de préférence en dehors des heures normales de pause et pas trop près des heures de repas habituelles.

On trouvera des informations sur les conditions de dégustation et la préparation des échantillons chez Watts *et al.* (1989), Piggott (1988), O'Mahony (1986), Lawless (1991) et Larmond (1987).

5.2. Élaboration d'un questionnaire

Pour toute épreuve sensorielle, il est indispensable d'élaborer un questionnaire approprié. Celui-ci doit :

- répondre aux objectifs de l'épreuve ;
- être compréhensible, utiliser des termes clairs et sans équivoque ;
- ne pas être trop long afin de ne pas créer de fatigue chez les dégustateurs ;
- aborder les échantillons dans l'ordre de leur présentation aux dégustateurs ;
- être conçu de façon à produire des données précises et valables.

Avant le début de l'épreuve sensorielle, on expliquera le contenu du questionnaire aux dégustateurs.

5.3. Sélection du jury de dégustation

Il convient de sélectionner les membres du jury de dégustation parmi un large échantillon aléatoire de personnes représentatives de la population ciblée d'utilisateurs potentiels, afin d'obtenir des informations valables sur les comportements ou les préférences des consommateurs. Les dégustateurs ne doivent pas avoir de formation spéciale. On les choisit en tant qu'utilisateurs du produit, et non en fonction de leur acuité sensorielle.

Pour évaluer les propriétés organoleptiques des nouveaux hybrides de *Musa*, on peut choisir les dégustateurs parmi le personnel de l'institution ou organisme de recherche. La majorité des agents travaillant pour un tel organisme remplissent les conditions requises. Ils acceptent généralement volontiers de participer aux épreuves sensorielles s'ils ont le sentiment que leur contribution est utile. On peut aussi recruter des personnes extérieures qui acceptent de consacrer le temps requis aux épreuves sensorielles.

On trouvera des informations sur la sélection des membres du jury de dégustation chez Watts *et al.* (1989), Piggott (1988), O'Mahony (1986) et Lawless (1991).

5.4. Différents types d'épreuves sensorielles

Les épreuves sensorielles sont principalement de deux types : celles qui sont axées sur le consommateur (épreuves affectives) et celles qui sont axées sur les produits (épreuves analytiques) (Institute of Food Technologists 1981).

5.4.1. Épreuves axées sur le consommateur ou épreuves affectives

Les épreuves axées sur le consommateur ou épreuves affectives servent à évaluer les préférences des consommateurs (par exemple : épreuve par paire), le degré auquel ils aiment un produit (par exemple : notation sur une échelle hédonique), leur acceptation du produit et / ou leur opinion sur ce produit. Généralement, ce type d'évaluation nécessite un grand nombre de réponses. Le jury doit se composer d'un minimum de 24 sujets, le chiffre optimal se situant entre 50 et 100. Contrairement à ce qui se passe dans les épreuves analytiques, les sujets ne reçoivent aucun entraînement spécial. Ils sont choisis au hasard de façon à constituer un échantillon représentatif de la population ciblée. Leur sélection se fait selon un certain nombre de critères : utilisation préalable du produit, âge, sexe, catégorie économique ou sociale, zone géographique, etc.

5.4.2. Épreuves axées sur les produits ou épreuves analytiques

Les épreuves axées sur les produits ou épreuves analytiques consistent à évaluer des produits en laboratoire pour déterminer leurs différences ou similitudes et pour identifier et quantifier leurs propriétés organoleptiques. Les épreuves analytiques se divisent en deux catégories : épreuves discriminatives et épreuves descriptives. Les deux types font appel à des sujets expérimentés et / ou spécialement entraînés. Ces experts sont sélectionnés en fonction de leur profil personnel, de leurs intérêts et de leur aptitude à déceler les différences et à fournir des résultats reproductibles. L'entraînement qu'ils reçoivent est destiné à les familiariser avec les procédures d'évaluation et à développer leur aptitude à percevoir les propriétés organoleptiques, à les identifier et à se les rappeler. Cet entraînement leur permet de fonctionner en quelque sorte comme des instruments analytiques humains.

- Les épreuves discriminatives consistent en épreuves différentielles et épreuves sensibles :
 - (a) les épreuves différentielles (comparaison par paire, épreuve duo-trio, épreuve triangulaire, épreuve de classement, etc.) visent simplement à déterminer si des échantillons sont différents. Elles doivent permettre de répondre à la question : peut-on percevoir des différences entre les échantillons ?
 - (b) les épreuves sensibles mesurent l'aptitude des individus à détecter des caractéristiques organoleptiques.
- Les épreuves descriptives (épreuve de notation par intervalle, épreuve de cotation, etc.) ont pour but de répondre à la question : quelles sont les caractéristiques organoleptiques perçues et quelle est leur intensité relative ? Elles permettent de mesurer des caractéristiques qualitatives et/ou quantitatives.

On trouvera des informations sur les différents types d'épreuves sensorielles chez Watts *et al.* (1989), Piggott (1988), O'Mahony (1986), Lawless (1991), Stone et Sidel (1985).

5.5. Principaux aspects de l'évaluation sensorielle

Avant de procéder à l'évaluation sensorielle de bananes, bananes à cuire ou bananes plantain, il est indispensable de déterminer objectivement un certain nombre de caractéristiques post-récolte (couleur de la peau et de la pulpe, fermeté de la pulpe, taux d'extrait sec soluble, pH et acidité titrable, etc.). Les données obtenues pourront être mises en relation avec les qualités organoleptiques étudiées, de façon à expliquer certaines des différences constatées dans les préférences des consommateurs et dans l'acceptabilité (Dadzie 1993, 1994b, c).

Les trois aspects de l'évaluation sensorielle essentiels pour le criblage post-récolte des nouveaux hybrides de *Musa* sont les suivants (dans toute évaluation sensorielle de cette nature, il importe d'inclure systématiquement des échantillons témoins) :

5.5.1. Critères de choix des consommateurs

Lorsqu'ils achètent des bananes, des bananes à cuire ou des bananes plantain, les consommateurs appliquent des critères de choix reposant essentiellement sur l'aspect (impression visuelle), la couleur, la forme et la dimension.

Pour déterminer les critères de choix des consommateurs :

- présenter à des sujets non entraînés, hommes aussi bien que femmes, des échantillons codés (doigts ou mains) d'hybrides et de cultivars standard de bananes, bananes à cuire ou bananes plantain (présentation en aveugle) ;
- leur remettre un questionnaire sur lequel on leur demande de supposer qu'ils vont au supermarché (ou au marché) et qu'ils voient plusieurs cultivars de bananes, bananes à cuire ou bananes plantain à l'étalage ;
- leur demander de classer les échantillons codés par ordre de préférence pour chaque caractéristique sensorielle (aspect, couleur, forme et dimension des échantillons) (on trouvera à l'annexe 1 un modèle de questionnaire auquel des modifications pourront être apportées en fonction des objectifs de l'épreuve sensorielle).

Il importe également d'évaluer la couleur de la pulpe des nouveaux hybrides de bananes plantain par rapport à celle des cultivars standard. La plupart des consommateurs préfèrent des bananes plantain à pulpe jaune orangé. Si la pulpe est blanche, ils pensent que le fruit est immature et risquent de ne pas l'accepter. Par conséquent, la couleur de la pulpe constitue un élément essentiel à prendre en compte dans le criblage des nouveaux hybrides de bananes plantain ou de bananes à cuire. On présentera aux sujets (présentation en aveugle) différents échantillons de pulpe (épluchés et placés dans des sachets en polyéthylène) et on leur demandera de les classer par ordre de préférence selon la couleur de la pulpe (on trouvera à l'annexe 2 un modèle de questionnaire auquel des modifications pourront être apportées en fonction des objectifs de l'épreuve sensorielle).

5.5.2. Acceptabilité par les consommateurs

L'évaluation de l'acceptabilité des bananes et des plats préparés avec des bananes plantain ou des bananes à cuire constitue un élément essentiel du criblage post-récolte des nouveaux hybrides de *Musa*.

Pour déterminer l'acceptabilité par les consommateurs :

On procède comme suit pour déterminer l'acceptabilité des bananes et des plats préparés avec des bananes plantain (Dadzie et Wainwright 1995) ou des bananes à cuire :

- faire appel à un groupe d'hommes et de femmes pour évaluer les propriétés organoleptiques d'échantillons de bananes (mûres et non mûres) ou de plats préparés avec des bananes plantain ou des bananes à cuire (chips de banane non mûre, échantillons non mûrs frits, échantillons mûrs frits, etc.) ;
- les critères appliqués sont les suivants : texture, saveur, flaveur, goût sucré, croustillant, couleur et acceptabilité générale (on trouvera à l'annexe 3 un modèle de questionnaire auquel des modifications pourront être apportées en fonction des objectifs de l'épreuve sensorielle).

5.5.3. Évaluation comparative

En vue de la diffusion de nouveaux hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain pour remplacer les cultivars existants, il convient d'effectuer des analyses sensorielles comparatives afin de déterminer :

- si des personnes non entraînées et sélectionnées au hasard peuvent établir des distinctions entre les cultivars existants et les nouveaux hybrides ;
- quelles sont, le cas échéant, les propriétés organoleptiques différentes des nouveaux hybrides ;
- les préférences des personnes qui ont pu établir des distinctions entre les cultivars existants et les nouveaux hybrides.

Cette étude fournira des données permettant de comparer la performance de chaque hybride avec celle des cultivars standard et/ou des autres hybrides.

6. Qualité culinaire

Il est d'usage de cuire les bananes plantain et les bananes à cuire pour les consommer : on les fait bouillir, frire, rôtir ou sécher telles quelles ou après les avoir râpées ou pilées. La diversité des procédés culinaires est liée à la texture et à la composition du fruit. La texture et l'aspect de la pulpe de la banane plantain ou de la banane à cuire après la cuisson sont des éléments extrêmement importants pour le consommateur. Les consommateurs de bananes plantain ou bananes à cuire vertes préfèrent généralement une pulpe restant ferme et "croquante" après avoir été bouillie, plutôt qu'une pulpe imbibée d'eau et trop molle. La texture de la pulpe cuite joue donc un rôle essentiel dans l'appréciation d'un cultivar. C'est pourquoi il importe d'évaluer la qualité culinaire ou aptitude à la cuisson des nouveaux hybrides de *Musa*.

6.1. Paramètres

Les paramètres suivants sont déterminants pour évaluer la qualité culinaire ou aptitude à la cuisson des hybrides de bananiers, bananiers à cuire et bananiers plantain :

- (1) facilité d'épluchage ;
- (2) fermeté de la pulpe (avant et après ébullition) ;
- (3) absorption d'eau par la pulpe ;
- (4) durée de la cuisson (ou de l'ébullition).

6.2. Évaluation de la qualité culinaire

On peut utiliser les méthodes et procédures suivantes pour évaluer la qualité culinaire ou aptitude (réponse) à la cuisson des bananes, bananes à cuire et bananes plantain :

6.2.1. Facilité d'épluchage

Lorsque les bananes plantain ou les bananes à cuire sont destinés à être bouillies à l'état vert, les consommateurs préfèrent en général des cultivars ou hybrides faciles à éplucher. Il convient donc d'étudier ce caractère. Au stade vert mature, la facilité d'épluchage dépend pour beaucoup de l'épaisseur de la peau et de son degré d'adhérence à la pulpe. Les fruits mûrs sont généralement faciles à peler, et il faut donc évaluer la facilité d'épluchage sur les fruits verts ou non mûrs.

La facilité ou difficulté de l'épluchage est évaluée subjectivement sur des bananes plantain ou bananes à cuire vertes matures. Pour ce faire, on pèle chaque fruit et on lui attribue une note sur une échelle de 1 à 5. Il est important d'évaluer les nouveaux hybrides en les comparant à des cultivars standard.

On évalue ensuite le rapport pulpe/peau et l'épaisseur de la peau. Ces deux caractères sont des indices essentiels pour la détermination de la qualité culinaire des bananes plantain et bananes à cuire vertes matures. En effet, les consommateurs qui mangent ces fruits bouillis préfèrent la plupart du temps une pulpe plus épaisse et plus volumineuse (c'est-à-dire un rapport pulpe/peau élevé). Ainsi, en évaluant le rapport pulpe / peau et l'épaisseur de la pulpe des nouveaux hybrides, on obtient une bonne indication des proportions respectives de la pulpe et de la peau.

Les méthodes et procédures utilisées pour évaluer le rapport pulpe / peau et l'épaisseur de la pulpe des bananes à cuire et des bananes plantain ont été décrites au chapitre 1.

6.2.2. Fermeté de la pulpe et absorption d'eau

Pendant la cuisson ou l'ébullition, les bananes, bananes à cuire et bananes plantain absorbent une certaine quantité d'eau, ce qui entraîne le ramollissement de la pulpe. La quantité d'eau absorbée dépend de la durée de la cuisson, du cultivar et d'autres facteurs. Normalement, un cultivar ou hybride a une bonne qualité culinaire quand il réunit les caractéristiques suivantes : faible potentiel d'absorption d'eau, pulpe initialement très ferme, pourcentage élevé de matière sèche et faible taux d'humidité de la pulpe. Il convient donc d'étudier ces paramètres.

On détermine la qualité culinaire ou aptitude à la cuisson en faisant bouillir ou cuire des échantillons de pulpe dans des conditions contrôlées selon la procédure suivante :

- récolter des régimes verts physiologiquement matures et prélever les doigts de la deuxième main. Toutefois, si les échantillons ainsi obtenus sont en quantité insuffisante, on pourra inclure les fruits de la troisième main ;
- sur un échantillon représentatif, mesurer la fermeté initiale de la pulpe, sa teneur en matière sèche et son taux d'humidité (selon les méthodes décrites au chapitre 1) avant de procéder à l'évaluation de la qualité culinaire ;
- couper la pulpe en morceaux de 1 cm d'épaisseur ;
- prendre 5 à 10 morceaux de pulpe et les peser ensemble sur une balance (par exemple, balance électronique Mettler, à la quatrième décimale près) ;
- placer 5 à 10 échantillons de pulpe ensemble dans un bécher en pyrex d'un volume de 600 ml contenant 300 ml d'eau distillée portée à ébullition plus 1 g de sel ;
- faire bouillir les échantillons pendant des périodes de temps différentes, par exemple 5, 10, 15, 20, 25 et 30 minutes (utiliser un chronomètre) ;
- après ébullition pendant 5, 10, 15, 20, 25 ou 30 minutes, égoutter rapidement les échantillons à l'aide d'une passoire ;
- laisser les échantillons refroidir pendant 10 minutes à la température ambiante, puis les peser de nouveau (selon la méthode décrite ci-dessus) et mesurer la fermeté de la pulpe (selon la méthode qui a été décrite précédemment) ;
- on détermine la qualité culinaire ou aptitude (réponse) à la cuisson d'après le taux d'absorption d'eau, qui est la différence entre le poids de la pulpe après la cuisson et son poids avant la cuisson, exprimée en pourcentage du poids initial ;
- on détermine les changements intervenus dans la fermeté de la pulpe ou dans l'absorption d'eau en mettant ces facteurs en relation avec le temps de cuisson (0, 5, 10, 15, 20, 25 ou 30 minutes).

On met également la teneur en matière sèche et le taux d'humidité de la pulpe en

relation avec la fermeté de la pulpe et l'absorption d'eau pour identifier les cultivars et hybrides ayant une bonne qualité culinaire.

6.2.3. Durée de la cuisson

Après avoir fait cuire les échantillons pendant 5, 10, 15, 20, 25 et 30 minutes, on détermine le temps de cuisson optimal, c'est-à-dire le temps au bout duquel la pulpe est bien cuite, ferme et non imbibée. Plus le temps de cuisson est court, mieux cela vaut. Généralement, les cultivars ou hybrides ayant une pulpe initialement très ferme, une teneur élevée en matière sèche et un faible taux d'humidité de la pulpe ont besoin d'un temps de cuisson plus long (Dadzie 1993, 1994b, c).

7. Aptitude à la transformation

La majeure partie de la production de bananes, bananes à cuire et bananes plantain est consommée mûre à l'état brut, ou sous forme de légume cuit. Seule une très petite part est transformée en produits conservables. Dans l'ensemble, les produits conservables ne contribuent que de manière insignifiante à l'alimentation des millions d'individus qui consomment des bananes dans le monde, mais dans certains pays et dans certaines régions, la transformation et la conservation aident à "faire la soudure" dans les périodes où la nourriture est peu abondante. La transformation est l'un des moyens disponibles pour conserver les fruits. Toutefois, on connaît mal la proportion de fruits transformés et l'aptitude à la transformation des différents groupes de *Musa*. Il importe donc d'inclure cette caractéristique dans le criblage des nouveaux hybrides.

Différents produits peuvent être fabriqués à partir de la banane, de la banane à cuire et de la banane plantain. Nous ne décrivons ici que les plus courants.

7.1. Farine

Pour produire de la farine à partir de bananes, bananes à cuire ou bananes plantain vertes et non mûres, on pèle les fruits à la main et on les coupe en cossettes d'environ 5-10 mm d'épaisseur. On fait sécher les cossettes au soleil en les étalant sur des nattes, un support en bambou ou une dalle cimentée, ou encore sur un toit, sur de la tôle ondulée ou simplement sur un sol bien balayé. Il existe aussi différents types de séchoirs solaires. Le séchage peut également se faire dans un four, au-dessus d'un feu, ou dans une armoire ou un tunnel de séchage. Une fois séchées, les cossettes ont un taux d'humidité d'environ 5-10 %. Elles sont moulues, puis tamisées. La farine ainsi obtenue est emballée dans des sacs étanches. Ou encore, on peut stocker les cossettes séchées et ne le moudre qu'au fur et à mesure des besoins, car la farine perd rapidement sa saveur. En outre, la farine étant de nature hygroscopique, elle tend à absorber l'humidité et à moisir.

7.2. Poudre

On fabrique de la poudre à partir de bananes, bananes à cuire ou bananes plantain bien mûres. Pour ce faire, on lave les fruits, puis on les pèle à la main et on les coupe en assez gros morceaux. On transforme ceux-ci en pâte en les faisant passer dans un atomiseur qui réduit les particules à la dimension colloïdale (moins de 10 µm). A ce stade, on ajoute une solution de métabisulfite de sodium à 1-2 % afin d'améliorer la couleur du produit final ou d'empêcher sa décoloration. On fait ensuite sécher la pâte soit dans un séchoir-atomiseur (à 30-32°C et à un taux d'humidité de moins de 30 % sous vide), soit dans un séchoir à tambour (la température du produit ne devant pas dépasser 94°C). Il peut s'avérer nécessaire de compléter le séchage en tambour par un passage dans une armoire de séchage. Le taux d'humidité final de la poudre doit être ramené à environ 2 %. On conserve la poudre dans des sacs étanches (Thompson 1995).

7.3. Tranches en conserve

Il existe plusieurs méthodes pour mettre des tranches de banane en conserve dans du sirop (Lawler 1967 ; Smit et Burger 1957). On obtient une qualité optimale en utilisant des fruits en début de mûrissement. Les tranches sont placées dans un sirop à 25° brix et à pH d'environ 4,2, auquel on ajoute dans certains procédés un agent affermissant qui peut être du chlorure de calcium (0,2 %) ou du lactate de calcium (0,5 %) (Marriott et Lancaster 1983).

La qualité des tranches de bananes plantain en conserve dans du sirop est jugée insatisfaisante (Sanchez-Nieva et Hernandez 1967). Toutefois, on peut faire cuire des tranches mûres dans un sirop à 40° brix jusqu'à ce que celui-ci atteigne une concentration de 54-60° brix, et ajouter de la cannelle et du jus de citron pour améliorer la couleur du produit. Après avoir emballé celui-ci dans des sachets en plastique supportant l'ébullition, on le surgèle à -23°C. Pour le consommer, on plonge les sachets pendant 15 minutes dans de l'eau bouillante.

7.4. Chips

Diverses méthodes permettent de préparer des chips de banane ou de banane plantain (Bai et Roa 1969 ; Berg *et al.* 1971 ; Jain *et al.* 1962). En général on coupe des bananes ou bananes plantain non mûres verticalement ou transversalement en tranches fines (1,2-0,8 mm d'épaisseur). On plonge ces tranches dans une solution de métabisulfite de sodium ou de potassium (pour améliorer la couleur du produit final ou pour empêcher sa décoloration), puis on les fait frire dans de l'huile hydrogénée à 180-200°C. On saupoudre ensuite les tranches frites de sel et d'antioxydant (par exemple, du butylhydroxytoluène pour retarder le rancissement) (Marriott et Lancaster 1983).

Une autre méthode consiste à faire sécher les tranches avant de les frire, et à ajouter l'antioxydant et le sel dans l'huile. Les chips frites doivent avoir un taux d'humidité d'environ 1,5-2 %. La température et le temps de friture affectent leur teneur en huile, leur aspect, leur texture et leur flaveur (Thompson 1995). On les emballe dans des sachets étanches pour empêcher qu'elles absorbent de l'humidité et perdent leur caractère croustillant.

7.5. Confiture et gelée

Les méthodes employées pour préparer de la confiture ou de la gelée ont été décrites par divers auteurs. L'une des méthodes de préparation de la gelée consiste à peler à la main des fruits bien mûrs ou "surmûrs", puis à les couper en tranches de 2 cm. On fait alors bouillir les tranches pendant 1 heure dans du sirop à base de sucre ayant une concentration de 60°C brix, à la dose de 1 livre de bananes pour 1 pinte de sirop (454 g pour 0,5681 l). Après filtrage, on fait bouillir la solution clarifiée jusqu'à ce qu'elle prenne. Le pH doit être ajusté à 3,5. Pour que la gelée prenne mieux, on peut ajouter de la pectine (Thompson 1995).

La formule commerciale suivante est utilisée pour fabriquer de la confiture de banane (Løesecke 1949) : 90 kg de sucre, 45 l d'eau, 340 g de crème de tartre.

Porter à 110°C, puis ajouter 11,3 l de jus de citron (on peut remplacer celui-ci par du jus de lime ou de l'acide citrique afin de réduire le pH de la confiture à 3,5) et 90 kg de pulpe de bananes mûres. Chauffer à 107°C jusqu'à obtenir la consistance voulue.

8. Dommages mécaniques

Les dommages mécaniques sont l'une des principales causes de détérioration des bananes, bananes à cuire et bananes plantain après la récolte. Ils peuvent se produire à tout moment depuis la récolte jusqu'à la consommation. Portant atteinte à l'aspect des fruits et ouvrant la porte à diverses infections, ils entraînent une réduction de la qualité et de la valeur marchande des fruits. C'est pourquoi il importe de déterminer la sensibilité des nouveaux hybrides de *Musa* aux dommages mécaniques.

8.1. Origine des dommages mécaniques

Il existe trois sources principales de dommages mécaniques :

8.1.1. Chocs

Les chocs provoquent des meurtrissures qui peuvent s'accompagner ou non d'une rupture de la peau. Ces meurtrissures se produisent lorsqu'un objet tombe violemment sur le fruit, ou encore lorsque le fruit heurte un autre fruit ou une surface dure avec suffisamment de force pour endommager ou même séparer les cellules. Ce type de dommage peut survenir tout au long du processus de commercialisation, depuis la récolte jusqu'à la vente. La blessure n'est pas toujours visible sur-le-champ et il peut s'écouler quelque temps avant qu'elle ne devienne apparente.

8.1.2. Compression

Une compression se produit lorsqu'une pression excessive est exercée sur le fruit, sans nécessairement que cela implique un mouvement physique. La compression peut être causée par d'autres fruits. Elle a lieu principalement pendant et après l'emballage, si l'on entasse une trop grande quantité de fruits dans un conteneur trop petit (emballage trop serré ou empilement des bananes sur une trop grande hauteur).

8.1.3. Vibrations

Les dommages causés par les vibrations ont lieu principalement pendant le transport, qui soumet les fruits à des vibrations répétées et prolongées. Les dommages sont les plus importants dans les couches supérieures de fruits, surtout quand ceux-ci sont emballés en vrac, sans matériaux tampons pour limiter la vibration des fruits pendant le transport et la distribution.

8.2. Facteurs favorisant les dommages mécaniques

Les facteurs ci-après favorisent les dommages mécaniques :

8.2.1. Avant la récolte

Les facteurs contribuant à produire des dommages mécaniques chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain avant la récolte sont les intempéries, le vent, les pulvérisations, l'épandage d'engrais, les insectes, les oiseaux, les rongeurs et les outils agricoles.

8.2.2. Pendant la récolte

Les fruits peuvent être endommagés par des méthodes sous-optimales de récolte et de manutention. En outre, si on laisse les fruits tomber au sol pendant les opérations de récolte, de la terre adhère à leur surface et on risque alors de les abîmer en les nettoyant ou en les lavant.

8.2.3. Après la récolte

Après la récolte, des dommages mécaniques peuvent être provoqués par :

- un entassement excessif des fruits dans l'emballage ou, au contraire, un nombre de fruits insuffisant ;
- des méthodes sous-optimales d'emballage et de manutention lors des chargements et déchargements ;
- les vibrations (secousses) des véhicules (surtout si les routes sont en mauvais état), la vitesse de transport et le type de suspension.

8.3. Effets des dommages mécaniques

- changements physiques dans la couleur et la flaveur du fruit ;
- ramollissement des tissus du fruit du fait de la dégradation des parois cellulaires ;
- les fruits abîmés mûrissent généralement plus tôt que les fruits non abîmés. Cela s'explique par l'accroissement de l'intensité respiratoire sous l'effet des dommages mécaniques, ainsi que par l'augmentation de la production d'éthylène qui accélère le mûrissement ;
- une autre conséquence des dommages mécaniques est la perte de poids, qui a des effets évidents sur la qualité et la valeur marchande des fruits. La perte de poids est due à la dégradation des parois cellulaires et à une augmentation de la perméabilité des couches cellulaires extérieures à la vapeur d'eau ;
- les dommages mécaniques facilitent l'invasion par des microorganismes qui engendrent une pourriture progressive pouvant s'étendre à l'ensemble du fruit.

8.4. Évaluation de la sensibilité aux dommages mécaniques

La sensibilité des fruits aux dommages mécaniques est un critère de sélection important, car elle donne des indications sur la réponse potentielle du fruit d'un cultivar ou d'un hybride à la manutention et au stockage. Il s'agit d'un élément important pour la conception des emballages et des matériaux d'emballage. Ce facteur détermine également la solidité texturale du fruit d'un cultivar ou d'un hybride.

Des auteurs comme Banks *et al.* (1991), Banks et Joseph (1991), Klevin (1987), Schoorl et Holt (1980), Saltveit (1984), Topping et Luton (1986) ont décrit des méthodes d'évaluation de la sensibilité ou résistance des fruits aux meurtrissures ou aux dommages mécaniques. On peut appliquer les procédures suivantes pour déterminer ce facteur chez les nouveaux hybrides de *Musa* :

8.4.1. Méthode du choc ou de la chute d'un objet

Cette méthode consiste à évaluer l'impact d'un objet tombant (d'une hauteur prédéterminée) sur le fruit. A cette fin, on fait tomber un objet sur le fruit à partir de différentes hauteurs (le test peut être appliqué à des fruits mûrs et à des fruits non mûrs), en procédant comme suit :

- récolter des régimes physiologiquement matures d'un même cultivar ou hybride et prélever les doigts de la deuxième main. Toutefois, si les échantillons ainsi obtenus sont en quantité insuffisante, on pourra inclure les fruits de la troisième main ;
- à l'aide d'un marqueur, tracer un cercle sur la surface du fruit (dans sa partie médiane) ;
- meurtrir chaque fruit séparément en laissant tomber un poids ou un objet de poids connu (par exemple, un cylindre de marbre ou de cuivre d'un poids de 1000 g) de différentes hauteurs (15, 30, 45, 60 et 120 cm) ;
- se servir d'un tube (en verre, plastique ou métal) pour guider la chute de l'objet, de sorte que le choc ait toujours lieu perpendiculairement à la surface du fruit (à l'endroit précédemment marqué) ;
- le fruit doit être tenu fermement sur un tapis en mousse au moment de la meurtrissure, de façon à minimiser les dégâts sur le côté opposé ;
- laisser la meurtrissure se développer pendant au moins 24 heures ;
- couper le fruit en deux, exactement au centre de la meurtrissure. Placer une règle transparente contre la meurtrissure, au point où celle-ci est la plus large, et en mesurer le diamètre (d) ;
- estimer la profondeur de la meurtrissure (r), à savoir la distance entre le point le plus profond de la meurtrissure et le point où se trouverait la surface du fruit en l'absence de meurtrissure ;
- calculer les éléments suivants :
 - surface de la meurtrissure (A) = $\pi \times (d/2)^2$;
 - volume de la meurtrissure (V) = $A \times r/2$;
 - volume moyen de la meurtrissure pour chaque hauteur de chute ;
 - énergie du choc (E , en joules) = $m \cdot g \cdot h$;
 - sensibilité à la meurtrissure = ratio du volume de la meurtrissure à l'énergie du choc.

où : m = masse du poids tombant sur le fruit ;

g = constante gravitationnelle ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$) ;

h = hauteur de chute (en mètres).

8.4.2. Méthode des vibrations en cours de transport

Cette méthode consiste à évaluer les effets des vibrations pendant le transport des fruits (le test peut être appliqué à des fruits mûrs et à des fruits non mûrs). Elle permet de déterminer le pourcentage de fruits meurtris en fonction de la méthode d'emballage pendant et après le transport. On procède comme suit :

- récolter avec précaution les fruits verts physiologiquement matures d'un même cultivar ou hybride ;
- faire une évaluation visuelle initiale des dommages mécaniques ou des meurtrissures sur les fruits et calculer le pourcentage de fruits abîmés ;
- s'il s'agit de bananes, découper les régimes en mains et emballer les mains entières dans des cartons tapissés de film de polyéthylène perforé (selon la pratique en vigueur dans l'industrie bananière), puis charger les cartons dans un camion. S'il s'agit de bananes à cuire ou de bananes plantain, charger les fruits dans un camion sous forme de :
 - régimes entiers ;
 - mains entières emballées dans des sacs de jute, mains entières emballées dans des cartons et mains témoins (placées dans le camion sans aucun emballage) ;
 - doigts séparés emballés dans des sacs de jute, doigts séparés emballés dans des cartons et doigts témoins (placés dans le camion sans aucun emballage) ;
 - transporter les fruits dans le camion sur une distance donnée (par exemple, 50 km) ;
 - décharger les fruits du camion et les stocker pendant 24 heures à température ambiante ;
 - faire une évaluation visuelle finale des dommages mécaniques ou des meurtrissures sur les fruits et calculer le pourcentage de fruits abîmés.

9. Désordres physiologiques

Par désordre physiologique, on entend une altération des tissus des plants ou des fruits qui n'est due ni à une infection par un agent pathogène (organisme à l'origine d'une maladie) ni à des dommages mécaniques. Les désordres physiologiques sont généralement engendrés par des conditions climatiques défavorables (notamment la température) ou par des carences nutritionnelles en cours de croissance et de développement (Wills *et al.* 1989). La plupart des désordres physiologiques affectent des zones bien précises des tissus. Certains altèrent la peau du fruit tout en laissant la pulpe intacte ; d'autres n'altèrent que certaines parties de la pulpe ou uniquement la zone corticale.

Les principaux désordres physiologiques des bananes, bananes à cuire et bananes plantain sont le dégrain, la fissure de la peau et la frisure. Il en résulte une diminution de la qualité et de la valeur marchande des fruits ou une perte totale de récolte. Il est donc essentiel de déterminer la sensibilité des nouveaux hybrides de *Musa* à ces désordres physiologiques.

9.1. Dégrain

Les bananes à cuire, les bananes plantain et surtout les bananes douces sont généralement commercialisées sous la forme de mains (groupes de doigts). Si des doigts se séparent de la main, ils perdent de leur valeur marchande (et cela prédispose les fruits à des infections). On appelle dégrain un désordre physiologique (figure 18) qui résulte du ramollissement et de l'affaiblissement du pédoncule du fruit. Celui-ci se détache alors très facilement du coussinet pendant le mûrissement (Baldry *et al.* 1981 ; New et Marriott 1974 ; Semple et Thompson 1988). On pense que le dégrain provient de l'accélération du mûrissement lorsque la température est trop élevée dans la mûrisserie (New et Marriott 1974). Les hybrides tétraploïdes y sont souvent plus sensibles que les cultivars triploïdes (Dadzie 1993, 1994b, c ; Marriott 1980). Dans les criblages, il est essentiel de déterminer la sensibilité des clones de *Musa* au dégrain, car certains hybrides de bananiers à cuire et de bananiers plantain ont dans leur parenté des géniteurs mâles (principalement des bananiers) qui sont sensibles à ce phénomène. Ce trait peut ainsi être transféré aux nouveaux hybrides. En outre, les détaillants et les consommateurs rejettent les fruits qui ont tendance à se détacher du coussinet lorsqu'on les manipule.

9.1.1 Évaluation du dégrain

Les méthodes et procédures d'évaluation de la sensibilité au dégrain ont été décrites par divers auteurs tel que Baldry *et al.* (1981), New et Marriott (1974). Il convient de procéder comme suit :

- récolter des régimes verts physiologiquement matures ;
- découper les régimes en mains, puis en bouquets (portions de main) ;
- emballer les bouquets dans des cartons (tapissés de film de polyéthylène perforé) ;
- faire mûrir les fruits en les traitant à l'éthylène (1 ml / litre) pendant 24-48 heures à une température de 14-18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- ventiler, puis laisser les fruits mûrir à une température de 18°C (TH 90-95 %) jusqu'à ce que soit atteint le stade de couleur 6 ou 7 (figure 15) ;
- pour évaluer la sensibilité au dégrain :
 - (a) secouer les bouquets manuellement l'un après l'autre pendant 3-5 secondes et noter le nombre de doigts qui se détachent ;
 - (b) se servir de la formule suivante pour calculer le pourcentage de dégrain par bouquet :

$$\frac{\text{nombre doigts détachés par bouquet}}{\text{nombre total de doigts par bouquet}} \times 100$$

9.2 Fissure de la peau

La fissure de la peau (figure 19) est un désordre physiologique qui peut se produire chez les bananes, les bananes à cuire et les bananes plantain lorsque les fruits mûrissent à une température élevée dans une atmosphère saturée, par exemple à l'intérieur d'un emballage en polyéthylène. On l'observe parfois dans le champ pendant le développement du régime, en cas de déficit hydrique. Il suffit alors d'effleurer le fruit avec un objet pointu (comme un couteau) pour que la peau se fende. Les fruits approchant de la pleine maturité sont particulièrement sensibles à ce phénomène lorsque des périodes de sécheresse alternent avec de fortes pluies. La fissure de la peau peut également se produire chez des fruits qu'on a fait mûrir prématurément (Snowdon 1990). Pendant le mûrissement, la peau perd de l'eau en faveur de l'atmosphère du fait de la transpiration et en faveur de la pulpe du fait de l'osmose. Il en résulte un accroissement du volume de la pulpe qui est probablement la cause de la fissure de la peau. Les cultivars ou hybrides à peau mince sont particulièrement sensibles à ce désordre physiologique, qui entraîne une diminution de la qualité et de la valeur marchande des fruits.

9.2.1. Symptômes

La fissure de la peau (figure 19) se caractérise par une fente longitudinale partant la plupart du temps de l'extrémité proximale, près du pédoncule. Cette fente divise généralement la peau en deux moitiés inégales. La peau s'ouvrant, la pulpe finit par se trouver exposée.

9.2.2. Évaluation de la fissure de la peau

On évalue comme suit la sensibilité des bananes, bananes à cuire et bananes plantain à la fissure de la peau :

- récolter des régimes verts physiologiquement matures ;
- découper les régimes en mains, puis en bouquets, et emballer les bouquets dans des cartons (tapissés de film de polyéthylène perforé) ;
- faire mûrir les fruits en les traitant à l'éthylène (1 ml/litre) pendant 24-48 heures à une température de 14-18°C ;

- ventiler, puis laisser les fruits mûrir à une température de 18°C (et à une humidité relative de 90-95 %) jusqu'à ce que soit atteint le stade de couleur 6 (figure 15) ;
- inspecter les fruits, compter le nombre de fruits à peau fendue et calculer le pourcentage.

9.3. Frisure

La frisure est une altération physiologique permanente ou irréversible des tissus, cellules ou organes des fruits qui résulte de l'exposition de plants ou organes (fruits) sensibles au froid à une température inférieure au seuil critique pour une espèce ou pour des tissus donnés (Lyons 1973). Elle survient chez la plupart des fruits d'origine tropicale (ou subtropicale) lorsque ceux-ci sont soumis à une température inférieure à un seuil critique qui est généralement de l'ordre de 12-14°C. Chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain, la frisure se produit à 12°C ou en dessous de cette température (en fonction du cultivar et d'autres facteurs). Il suffit de quelques heures de température trop froide pour induire un dommage permanent ou irréversible. La frisure affecte aussi bien les fruits non mûrs que les fruits mûrs. Elle entraîne une diminution de la qualité et de la valeur marchande des fruits, ou une perte totale de récolte. Elle peut être facilement évitée chez les cultivars ou hybrides de *Musa* : il suffit de veiller à ce que la température à laquelle les fruits sont stockés ou conditionnés demeure au-dessus du seuil critique.

Afin de prévenir ce désordre physiologique, il importe de déterminer la sensibilité des nouveaux hybrides de *Musa* à la frisure.

9.3.1. Facteurs favorisant la frisure

Plusieurs facteurs favorisent la frisure chez les bananes, les bananes à cuire et les bananes plantain (Lyons 1973 ; Morris 1982 ; Saltveit et Morris 1990) :

- température de stockage ;
- durée de l'exposition des fruits à une température trop froide ;
- exposition continue des fruits (du cultivar ou hybride) à une température trop froide, par opposition à une exposition intermittente ;
- humidité relative, composition de l'atmosphère de stockage et traitement post-récolte ;
- âge physiologique, maturité ou état des fruits ;
- réponse (ou sensibilité) relative des fruits (du cultivar ou hybride) aux températures froides ;
- cultivar et conditions de croissance.

9.3.2. Symptômes

Les symptômes de frisure (figure 20) ne se manifestent pas dès que les fruits sont exposés à une température trop basse, mais apparaissent progressivement après que les fruits ont été transférés à une température plus élevée. Plusieurs symptômes visuels sont caractéristiques (Lyons 1973 ; Morris 1982 ; Saltveit et Morris 1990 ; Snowdon 1990 ; Wang 1991) :

- lésions superficielles telles que ponctuations, dépressions et décoloration de la peau ;
- taches aqueuses foncées sur la peau ;

- décoloration interne (brunissement) de la pulpe ;
- altération des tissus ;
- les fruits ne mûrissent pas normalement : les fruits récoltés au stade mature mais non mûr prennent une couleur gris terne, l'amidon ne se convertit plus en sucres et les fruits placés en mûrisserie ne mûrissent pas normalement. En cas de frisure sévère, la pulpe du fruit vert brunit ou noircit et la peau peut entièrement tourner au noir pendant le mûrissement. Si la frisure est moins sévère, les fruits verts ne manifestent généralement aucun symptôme visible, mais lorsqu'ils mûrissent, la couleur de la peau varie entre le jaune terne et le jaune grisâtre ou le gris. Ces symptômes proviennent de l'accumulation de composés phénoliques oxydés dans les couches épidermiques ou subépidermiques, ainsi que d'une rétention de chlorophylle (Palmer 1971).

Chez les fruits mûrs, l'aspect général est terne, la peau ayant une teinte presque grisâtre, tandis que la pulpe peut rester inaltérée. Les fruits souffrant de frisure sévère manifestent un brunissement subépidermique important et finissent par noircir. Les fruits n'ont pas leur flaveur, leur arôme et leur saveur caractéristiques et ils peuvent même développer une flaveur anormale.

9.3.4. Évaluation de la frisure

On évalue comme suit la frisure chez les bananes, les bananes à cuire ou les bananes plantain :

- exposer des fruits mûrs et non mûrs (inclure systématiquement des échantillons témoins comme le montre la figure 20) pendant des périodes de durée différente (par exemple 24, 36, 48, 72 et 84 heures) à diverses températures égales ou inférieures à 12°C ;
- transférer les fruits à une température plus élevée (température ambiante, 20-25°C) pendant 24-48 heures, puis observer et noter le développement des symptômes (évaluer les altérations dues à la frisure) ;
- les symptômes décrits ci-dessus peuvent servir de guide pour évaluer les altérations dues à la frisure.

10. Maladies post-récolte

Les maladies post-récolte sont à l'origine de pertes quantitatives et qualitatives considérables. Les fruits infectés perdent toute valeur marchande. Diverses maladies affectent les bananes, les bananes à cuire et les bananes plantain. Nous ne décrivons ci-après que les plus importantes : pourriture de la couronne (ou du coussinet), anthracnose, maladie du bout de cigare et pourriture des doigts. Il importe de déterminer la sensibilité des nouveaux hybrides de *Musa* à ces maladies post-récolte.

10.1. Pourriture de la couronne (ou du coussinet)

La pourriture de la couronne (ou du coussinet) constitue l'une des principales maladies des bananes et des bananes plantain. Il s'agit d'une maladie complexe qui résulte de l'activité de plusieurs champignons, à laquelle s'ajoute parfois celle d'autres microorganismes tels que des bactéries (Lukezic *et al.* 1967 ; Meredith 1965, 1971 ; Ogawa 1971 ; Snowdon 1990).

Deux champignons ou plus peuvent s'attaquer au coussinet simultanément ou successivement et provoquer la pourriture des tissus. Les organismes prédominants diffèrent selon le lieu, la période de l'année et d'autres facteurs.

Les agents pathogènes les plus communément associés à la pourriture de la couronne sont *Colletotrichum musae* (*Gloesporium musarum*), *Fusarium roseum*, *Fusarium semitectum* et *Botryodiplodia theobromae*. Le complexe d'agents pathogènes comprend aussi d'autres espèces telles que *Cephalosporium* sp., *Verticillium theobromae*, *Ceratocystis paradoxa* et *Phomopsis* sp. (Lukezic *et al.* 1967 ; Ploetz *et al.* 1994 ; Snowdon 1990). On a également identifié plus d'une douzaine d'autres champignons dans des tissus infectés (Ploetz *et al.* 1994).

A l'état naturel, la solide peau de la banane ou de la banane plantain protège le fruit des maladies fongiques. Mais les grandes plaies ouvertes résultant de la découpe des mains constituent un point de pénétration idéal pour les champignons de la pourriture de la couronne, qui peuvent ainsi coloniser le fruit et s'y développer. Les champignons envahissent le fruit sous forme de spores microscopiques.

Les spores qui infectent les fruits dans le champ sont transportées avec la récolte jusqu'au lieu d'emballage. Elles contaminent les baignoires de lavage dans lesquels on plonge les fruits pour en éliminer le latex, et elles pénètrent alors profondément dans le point faible constitué par la plaie de découpe sur le coussinet.

Elles demeurent également présentes sur la surface des fruits lorsque ceux-ci sont emballés.

10.1.1. Symptômes

Les symptômes de pourriture de la couronne (figure 21) sont les suivants (Lukezic *et al.* 1967 ; Meredith 1965, 1971 ; Ogawa 1971 ; Pløetz *et al.* 1994 ; Snowdon 1990) :

- ramollissement et noircissement des tissus sur la plaie de découpe des mains ;
- moisissures blanches, grises ou roses sur la plaie de découpe ;
- les tissus infectés noircissent et la pourriture peut se propager au pédoncule. Les doigts sévèrement affectés peuvent se détacher du coussinet ;
- en cas d'affection sévère, les doigts se détachent du coussinet lorsque la main est suspendue. La sévérité de la maladie est extrêmement imprévisible et on s'explique parfois difficilement pourquoi certaines des mains emballées dans un carton sont infectées alors que les autres ne le sont pas.

10.1.2. Évaluation de la pourriture de la couronne

La pourriture de la couronne peut affecter les fruits verts aussi bien que les fruits mûrs des bananes, bananes à cuire et bananes plantain. On procède comme suit à l'évaluation :

- récolter les régimes physiologiquement matures d'un même cultivar ou hybride ;
- découper les régimes en mains, puis en bouquets et, avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié, inoculer une quantité déterminée d'inoculum dans le coussinet des bouquets. Inclure systématiquement des échantillons témoins aux fins de comparaison ;
- emballer les bouquets dans des cartons (tapissés de film de polyéthylène perforé) ;
- conserver les fruits à 14°C pendant environ 14 jours. Puis déclencher le mûrissement en traitant les fruits à l'éthylène (1 ml/litre) pendant 24-48 heures à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- ventiler le local, puis laisser les fruits mûrir à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- évaluer la pourriture de la couronne avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié qui pourra diagnostiquer la maladie et quantifier correctement l'infection. Il est également important d'isoler et d'identifier les agents pathogènes responsables de l'infection.

10.1.3. Lutte

La lutte contre la pourriture de la couronne commence dans le champ où il faut régulièrement procéder à l'enlèvement des déchets de feuilles. L'assainissement permet de réduire considérablement le nombre de spores infectieuses présentes dans le champ. Ne pas conserver de fruits pourrissants ou de déchets de plants à proximité du lieu d'emballage des fruits. Veiller à la propreté des eaux de lavage des fruits, qu'il faut changer fréquemment pour éviter qu'elles ne soient chargées de spores. La découpe des mains doit être effectuée avec soin, à l'aide d'un couteau bien aiguisé, de façon à laisser une section nette. Enfin, il est indispensable de traiter les fruits récoltés avec un fongicide efficace.

10.2. Anthracnose

Causée par le champignon *Colletotrichum musae* (Berk. et Curt) v. Arx., l'anthracnose est également à l'origine d'importants dommages après la récolte. Elle colonise les blessures, mais aussi les fruits intacts. Occasionnellement, elle envahit les pédoncules abîmés.

10.2.1. Symptômes

Le champignon induit deux types d'infection (Meredith 1971 ; Pløetz *et al.* 1994 ; Snowdon 1990) :

- (1) infection non latente ;
- (2) infection latente.

L'infection non latente apparaît sur les petites blessures à partir de la récolte et continue de se développer sans période de dormance.

Sur les fruits verts, elle provoque des lésions qui sont généralement de couleur brun foncé ou noire, entourées d'un halo pâle, lenticulaires, légèrement déprimées.

L'infection non latente se manifeste sur les fruits mûrs (figure 22) par de nombreuses petites taches circulaires brunes ou noires. Ces taches s'élargissent et deviennent coalescentes, formant de grandes nécroses. A mesure que la maladie progresse, les zones nécrosées se dépriment et se couvrent en leur centre d'amas de spores rose saumon. Les doigts infectés mûrissent rapidement, puis pourrissent.

L'infection latente commence en début de saison, quand le fruit est encore sur le plant, l'agent pathogène demeurant quiescent sous forme d'hyphes subcuticulaires jusqu'à ce que le fruit approche de la maturité. Lorsque l'agent pathogène reprend son activité au moment du mûrissement, l'infection forme des taches brunes caractéristiques sur les fruits. Elle peut également se développer en pourriture des doigts destructive sur les fruits verts conservés au froid à 12-14°C.

Les taches sur les fruits sont tout d'abord aqueuses, généralement de forme irrégulière et de couleur jaunâtre. Elles s'élargissent, deviennent lenticulaires ou ellipsoïdales, de couleur brun foncé ou noire, avec un halo aqueux jaunâtre. Il arrive que leur centre éclate. Ces taches peuvent devenir coalescentes et s'étendre en surface sur le fruit. En conditions humides, des amas de spores rose saumon se développent en leur centre. Cette maladie, communément présente sur les épidermes abîmés, est aggravée par les meurtrissures et blessures occasionnées par le transport et la manutention. Son développement est favorisé par de longues périodes de stockage et par les fluctuations vers le haut des températures de stockage (Meredith 1971 ; Pløetz *et al.* 1994 ; Snowdon 1990).

10.2.2. Évaluation de l'anthracnose

Pour évaluer l'anthracnose chez les bananes, bananes à cuire et bananes plantain, il convient de procéder comme suit :

- récolter les régimes physiologiquement matures d'un même cultivar ou hybride ;
- découper les régimes en mains, puis en bouquets et, avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié, inoculer une quantité déterminée d'inoculum du champignon *Colletotrichum musae* dans les fruits. Inclure systématiquement des échantillons témoins aux fins de comparaison ;

- emballer les bouquets dans des cartons (tapissés de film de polyéthylène perforé) ;
- laisser les fruits mûrir naturellement à la température ambiante ou déclencher artificiellement le mûrissement en les traitant à l'éthylène (1 ml / litre) pendant 24-48 heures à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- ventiler le local, puis laisser les fruits mûrir à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- évaluer l'antracnose avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié qui pourra diagnostiquer la maladie et quantifier correctement l'infection. Il est également important d'isoler et d'identifier le champignon *Colletotrichum musae* responsable de l'infection.

10.2.3. Lutte

Les mesures préventives doivent commencer dans la plantation. Il importe de maintenir des conditions d'hygiène rigoureuses et d'assainir la plantation et le local d'emballage afin de limiter le nombre de spores infectieuses. Pour prévenir l'infection, appliquer des pratiques culturales permettant de minimiser les blessures et meurtrissures. Un traitement fongicide efficace contribuera également à réduire l'incidence de la maladie.

10.3. Maladie du bout de cigare

La maladie du bout de cigare, causée par les champignons *Trachysphaera fructigena* Tabor et Bunting et *Verticillium theobromae* (Turc) Mason et Hughes, provoque d'importants dégâts sur les bananes et les bananes plantain.

10.3.1. Symptômes

- la maladie du bout de cigare (figure 23) affecte essentiellement la banane plantain (mais on la rencontre également chez la banane et la banane à cuire). La contamination se produit le plus souvent lorsque les fruits sont encore immatures (Wardlaw 1961) ;
- le nombre de doigts infectés par régime est variable ;
- au début de l'infection, une nécrose grisâtre et ridée apparaît sur le périanthe et se diffuse lentement vers le reste du fruit (Wardlaw 1931). La partie atteinte est bordée par une bande noire et une étroite zone chlorotique qui sépare les tissus infectés des tissus sains ;
- en cas d'infection par *Trachysphaera*, la surface de la lésion se couvre de spores blanches qui virent au rose ou au brun quand elles deviennent matures, donnant à l'extrémité du fruit un aspect caractéristique de cendre grisâtre. A l'intérieur du fruit, la pulpe peut être atteinte d'une pourriture sèche et se momifier (Brun 1970). Une pourriture humide peut se développer quand des organismes secondaires sont présents ;
- en cas d'infection par *Verticillium*, les tissus se dessèchent et deviennent fibreux. Les spores sont grises et pulvérulentes. Dans l'un et l'autre cas, l'extrémité du fruit est semblable à la cendre grisâtre de l'extrémité d'un cigare éteint (Pløetz *et al.* 1994 ; Snowdon 1990).

10.3.2. Évaluation de la maladie du bout de cigare

L'évaluation de la maladie du bout de cigare doit être faite avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié qui pourra pratiquer l'inoculation, diagnostiquer la maladie et quantifier correctement l'infection. Il importe également d'isoler et d'identifier l'agent pathogène responsable de l'infection.

10.3.3. Lutte

La principale méthode de lutte consiste à enlever régulièrement à la main les résidus des pièces florales et les fruits infectés et à les brûler. Il est également recommandé d'appliquer des fongicides. Dans le local d'emballage, on doit veiller à éliminer les fruits infectés afin d'éviter que les spores ne contaminent les eaux de lavage. Un moyen de prévention efficace consiste à couvrir l'inflorescence d'un sac en polyéthylène immédiatement après son émergence, avant que les doigts ne commencent à se former.

10.4. Pourriture des doigts

La pourriture des doigts est causée par le champignon *Botryodiplodia theobromae* Pat. qui envahit les blessures de la peau. Pénétrant à l'intérieur de la pulpe, il pourrit les doigts entiers et peut se propager aux mains voisines. Les doigts infectés mûrissent plus rapidement et peuvent déclencher le mûrissement prématuré de tous les fruits contenus dans un carton.

10.4.1. Symptômes

Les symptômes de pourriture des doigts sont les suivants (Ogawa 1971 ; Williams et Tandon 1966 ; Pløtz *et al.* 1994 ; Snowdon 1990) :

- les symptômes commencent usuellement sur la partie apicale du fruit ou sur les blessures ;
- la pourriture se diffuse uniformément, provoquant une décoloration brun noirâtre de la peau et un ramollissement de la pulpe ;
- la partie affectée de la peau se ride et devient incrustée de minuscules corps noirs (pynides) ;
- la pulpe se transforme en une masse pourrie molle (ou semi-liquide) et une moisissure gris foncé se développe à la surface de la peau quand l'humidité est élevée ;
- la maladie progresse de plus en plus rapidement à mesure que le fruit mûrit et elle peut se diffuser aux doigts adjacents ;
- les bouquets infectés tendent à mûrir prématurément et les fruits entièrement matures sont les plus sensibles à la maladie.

10.4.2. Évaluation de la pourriture des doigts

On procède comme suit pour évaluer la pourriture des doigts sur les bananes, les bananes à cuire et les bananes plantain :

- récolter les régimes physiologiquement matures d'un même cultivar ou hybride ;
- découper les régimes en mains, puis en bouquets et, avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié, inoculer une quantité déterminée d'inoculum du champignon *Botryodiplodia*

theobromae dans les fruits. Inclure systématiquement des échantillons témoins aux fins de comparaison ;

- emballer les bouquets dans des cartons (tapissés de film de polyéthylène perforé) ;
- laisser les fruits mûrir naturellement à la température ambiante ou déclencher artificiellement le mûrissement en les traitant à l'éthylène (1 ml / litre) pendant 24-48 heures à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- ventiler le local, puis laisser les fruits mûrir à une température de 18°C et à une humidité relative de 90-95 % ;
- évaluer l'antracnose avec l'aide d'un phytopathologiste qualifié qui pourra diagnostiquer la maladie et quantifier correctement l'infection. Il est également important d'isoler et d'identifier le champignon *Botryodiplodia theobromae* responsable de l'infection.

Lutte

On peut contrôler la maladie en minimisant les blessures, en traitant les fruits avec un fongicide systémique et en réduisant rapidement la température des fruits après la récolte.

Bibliographie

- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists) 1990. Official Methods of Analysis. Washington, D.C.
- Bai, S. G. & Roa, M. N. 1969. The use of packaging and antioxidants in banana chipping. *Jou. Food Sci. Technol.* 6:169-172.
- Baldry, J., Coursey, D. G. & Howard, G. E. 1981. The comparative consumer acceptability of triploid and tetraploid banana fruit. *Trop. Sci.* 23:33-66.
- Banks, N. H. & Joseph, M. 1991. Factors affecting resistance of banana fruit to compression and impact bruising. *Jou. Sci. Food Agric.* 56:315-323.
- Banks, N. H., Borton, C. A. & Joseph, M. 1991. Compression bruising test for banana. *Jou. Sci. Food Agric.* 56:223-226.
- Ben-Yehoshua, S. & Cameron, A. C. 1988. Exchange determination of water vapour, carbon dioxide, oxygen, ethylene and other gases of fruits and vegetables. Pp. 178-193 *in* Gases in plant and microbial cells. Modern methods of plant analysis. New series vol. 9 (H.F. Linskens and J.F. Jackson, eds.).
- Berg, J. R., Berg, R. C. Sarna, E. J. & Bates, B. 1971. Banana and plantain products and process for preparing same. *British Patent* 1:232, 773.
- Blankenship, S. M., Ellsworth D. D. & Powell, R. L. 1993. A ripening index for banana fruit based on starch content. *HortTechnol.* 3(3):338-339.
- Blake, J. R. & Peacock, B. C. 1971. Effects of temperature on the preclimacteric life of bananas. *Queensland Jou. Agric. Anim. Sci.* 28:243-248.
- Bourne, M. C. 1982. Effect of temperature on firmness of raw fruits and vegetables. *Jou. Food Sci.* 47:440-444.
- Brady, C. J. 1987. Fruit ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 38:155-178.
- Brun, J. 1970. Un nouvel aspect des pourritures de bananes 'Poyo' en cours de transport. *Fruits* 25:781-784.
- CGIAR 1992. Future priorities and Strategies. CGIAR Technical Advisory Committee. TAC Secretariat FAO, Rome, Italy.
- CGIAR 1993. Progress report by the CGIAR Task Force on Banana and Plantain Research. CGIAR Secretariat, World Bank, Washington, D.C., USA.
- Dadzie, B. K. 1993. Quarterly report for the INIBAP/FHIA/NRI (ODA Holdback) project on post-harvest cooking banana and plantain characterisation (October - December, 1993).
- Dadzie, B. K. 1994a. Post-harvest handling of plantains in Ghana. *INFOMUSA* 3(2):9-10.
- Dadzie, B. K. 1994b. Quarterly report for the INIBAP/FHIA/NRI (ODA Holdback) project on post-harvest cooking banana and plantain characterisation (October - December, 1994).
- Dadzie, B. K. 1994c. Six monthly report for the INIBAP/FHIA/NRI (ODA Holdback) project on post-harvest cooking banana and plantain characterisation (April - September, 1994).
- Dadzie, B. K. & Wainwright, H. 1995. Plantain utilization in Ghana. *Trop. Sci.* 35:405-410.
- Duelin, R. 1963. Mesure de la couleur de la pulpe de la banane en phase préclimactérique. *Fruit* 18:23-26.
- Francis, F. J. 1980. Colour quality evaluation of horticultural crops. *HortSci.* 15:58-59.

- George, J. B. & Marriott, J. 1983. The effect of humidity in plantain ripening. *Scientia Horticulturae* 21:37-43.
- Garcia, E. & Lajolo, F. M. 1988. Starch transformation during banana ripening. The amylase and glucosidase behaviour. *Jou. Food Sci.* 53:1181-1186.
- Harman, J. E. 1981. Kiwifruit maturity. *The Orchardist of New Zealand* (May):126-128.
- Hibler, M. & Hardy, D. 1994. Breeding a better banana. *IDRC Reports* 22(1):16-18.
- Hunter, R. S. 1975. The measurement of appearance. Wiley, New York.
- IITA. 1992. Sustainable food production in Sub-Saharan Africa, 1. IITA, Ibadan, Nigeria. 208pp.
- Institute of Food Technologists. 1981. Sensory evaluation guide for testing food and beverage products. *Food Technol.* 35(11):50-59.
- Jain, N. L., Nair, K. G., Siddappa, G. S. & Lal, G. 1962. Studies to improve the keeping quality of fried salted banana chips. *Food Sci.* 11:335-338.
- Josylin, M. A. 1970. Acidimetry. Pp. 401-559 *in* *Methods in food analysis* (M. A. Josylin, ed.). Academic Press, New York.
- Kader, A. A. 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. Pp. 27-30 *in* *Post-harvest physiology of vegetables*. (J. Weichmann, ed.). Marcel Dekker Inc., New York.
- Kader, A. A. 1994. Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Perishables Handling Newsletter* 80:2.
- Kader, A. A., Mitcham, B. & Hess-Pierce, B. 1994. Optimum procedures for ripening bananas. *Perishables Handling Newsletter* 80:12-13.
- Kayisu, K, Hood, L. F. & Vansoest, P. J. 1981. Characterisation of starch and fiber of banana fruit. *Jou. Food Sci.* 46(6):1885-1890.
- Klevin, J. D. 1987. Relationship of harvest date, storage conditions, and fruit characteristics to bruise susceptibility of apple. *Jou. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112:113-118.
- Knee, M. 1980. Methods of measuring green colour and chlorophyll content of apple fruit. *Jou. Food Technol.* 15:493-500.
- Kramer, A. 1964. Definition of texture and its measurement in vegetable products. *Food Technol.* (May): 46-49.
- Kushman, L. J. & Pope, D. T. 1968. Procedure for determining intercellular space of roots and specific gravity of sweetpotato root tissue. *HortSci.* 3(1):44-45.
- Kushman, L. J., Pope, D. T. & Monroe, R. J. 1966. Estimation of intercellular space and specific gravity of five varieties of sweetpotato root. *N. C. Agr. Expt. Sta. Tech. Bul.:* 175.
- Kushman, L. J., Pope, D. T. & Warren, J. A. 1966. A rapid method of estimating dry matter content of sweetpotato. P. 240 *in* *Proc. South Agr. Workers Meetings 64th Ann. Conv.*
- Larmond, E. 1987. Sensory evaluation can be objective. Pp. 3-14 *in* *Objective Methods in Food quality Assessment* (J.G. Kapsalis, ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Lawless, H. 1991. The sense of smell in food quality and sensory evaluation. *Jou. Food Qual.* 14:33-60.
- Lawler, F. D. 1967. Banana challenges food formulators. *Food Eng.* 39(5):58-63; (6):62-65.
- Løesecke, H. Von. 1949. Bananas. InterScience, New York.
- Løesecke, H. Von. 1950. Bananas. 2nd edition. InterScience, New York.
- Lukezic, F. L., Kaiser, W. J. & Martinez, M. M. 1967. The incidence of crown rot of boxed bananas in relation to microbial populations of the crown. *Canadian Jou. Bot.* 45:413-421.
- Lyons, J. M. 1973. Chilling injury in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24:445-466.
- Marriott, J. 1980. Banana - Physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. *CRC Cri. Rev. Food Sci. Nutr.* 13(1):41-88.
- Marriott, J. & Lancaster, P. A. 1983. Bananas and plantains. Pp. 85-143 *in* *Handbook of Tropical Foods* (H. T. Chan Jr, ed.) Marcel Dekker Inc., New York and Basel.
- Marriott, J., Robinson, M. & Karikari, S. K. 1981. Starch and sugar transformation during ripening of plantains and bananas. *Trop. Sci.* 32:1021-1026.

- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective colour measurements. *HortSci.* 27(12):1254-1255.
- Medlicott, A. P., Semple, A. J., Thompson, A. J., Blackbourne, H. R. & Thompson, A. K. 1992. Measurement of colour changes in ripening bananas and mangoes by instrumental, chemical and visual assessments. *Trop. Agric. (Trinidad)* 69(2):161-166.
- Meredith, D. S. 1965. Tip rot of banana fruits in Jamaica. 2. *Verticillium theobromae* and *Fusarium* spp. *Transactions of the British Mycological Society* 48:327-336.
- Meredith, D. S. 1971. Transport and storage diseases of bananas: Biology and control. *Trop. Agric. (Trinidad)* 48(1):35-50.
- Morris, L. L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: An overview. *HortSci.* 17(2):161-165.
- New, S. & Marriott, J. (1974). Factors affecting the development of finger drop in bananas after ripening. *Jou. Food Technol.* 18:241-250.
- Ogawa, J. M. 1970. Post-harvest diseases of banana in China (Taiwan). *FAO Plant Protection Bulletin* 18:31-42.
- O'Mahony, M. 1986. *Sensory evaluation of Food - Statistical Methods and Procedures.* Marcel Dekker Inc, New York, USA.
- Palmer, J.K. 1971. The banana. Pp. 65-105 in *The Biochemistry of fruits and their products.* Vol. 2. (A. C. Hulme, ed.). Academic Press, London.
- Peacock, B. C. 1966. Relationship between physical changes and the climacteric phase in the banana. *Queensland J. Agric. Anim. Sci.* 23:77-80.
- Peacock, B. C. & Blake, J. R. 1970. Some effects of non-damaging temperatures on the life and respiratory behaviour of bananas. *Queensland Jou. Agric. Anim. Sci.* 27:147-168.
- Piggot, J. R. 1988. *Sensory Analysis of Foods: 2nd edition,* Elsevier Applied Science, London, UK.
- Ploetz, R. C., Zentmyer, G. A., Nishijima, W. T., Rohrbach, K. G. & Ohr, H. D. 1994. *Compendium of tropical fruit diseases.* APS Press, USA. 88 pp.
- Reid, M. S., Padfield, C. A. S., Watkins, C. B. & Harman, J. E. 1982. Starch iodine pattern as a maturity index for Granny Smith apples. 1. Comparison with flesh firmness and soluble solids content. *New Zealand Jou. Agric. Res.* 25:229-237.
- Saltveit, M. E. Jr., 1984. Effect of temperature on firmness and bruising of 'Starkinson Delicious' and 'Golden Delicious' apples. *HortSci.* 19(4):550-551.
- Saltveit, M. E., Jr., & Hale, S. A. 1982. Determining the maturity of North Carolina apples. *North Carolina Agric. Ext. Bul.* AG-282.
- Saltveit, M. E., Jr. & Morris, L. L. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. P. 313 in *Chilling injury of horticultural crops.* (C. Y. Wang, ed.). CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- Sanchez-Nieva, F. & Hernandez, I. 1967. Preparation and preservation for freezing of ripe plantains in syrup. *Misc. Pub. 7. Food Tech. Lab., Agric. Expt. Stat., Univ. of Puerto Rico.* (in Spanish).
- Schoorl, D. & Holt, J. E. 1980. Bruise resistance measurements in apples. *Jou. Texture Studies* 11:389-394.
- Semple, A. J. & Thompson, A. K. 1988. Influence of the ripening environment on the development of finger drop in bananas. *Jou. Sci. Food Agric.* 46:139-146.
- Smith, N. J. S., Tucker, G. A. & Jeger, J. 1989. Softening and cell wall changes in bananas and plantains. *Aspects of Applied Biology* 20:57-65.
- Smit, C. J. B. & Burger, I. J. 1957. The canning of bananas and banana pureé. *Food Ind. South Africa* 10:19-20.
- Solomos, T. 1987. Principles of gas exchange in bulky plant tissues. *HortSci.* 22:766-771.
- Snowdon, A. L. 1990. *A colour atlas of post-harvest diseases and disorders of fruits and vegetables* Vol. 1: General introduction and fruits. Wolfe Scientific Publications, London, UK. 302 pp.
- Stone, H. & Sidel, J. L. 1985. *Sensory Evaluation Techniques.* Academic Press Inc., London, UK. 322p.

- Stover, R. H. & Simmonds, N. W. 1987. Banana (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc. New York. 468p.
- Swennen, R. 1990. Plantain cultivation under West African conditions: A reference manual. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. Amarin Printing Group Co. Ltd. Thailand. 24p.
- Thompson, A. K. 1995. Banana processing. Pp. 481-492 in Bananas and Plantains (S. Gowen, ed.). Chapman & Hall, London, UK.
- Thompson, A. K. & Burden, O. J. 1995. Harvesting and fruit care. Pp. 403-433 in Bananas and Plantains (S. Gowen, ed.). Chapman & Hall, London, UK.
- Topping, A. J. & Luton, M. T. 1986. Cultivar differences in the bruising of English apples. *Jou. Hort. Sci.* 61:9-13.
- Wainwright, H. & Hughes, P. 1989. Objective measurement of banana pulp colour. *International Jou. Food Sci. Technol.* 24:553-558.
- Wainwright, H. & Hughes, P. 1990. Changes in banana pulp colour during ripening. *Fruits* 45(1):25-28.
- Wang, C. Y. 1991. Reduction of chilling injury in fruits and vegetables. *Post-harvest News and Information* 2(3):165-168.
- Wardlaw, C. W. 1931. Banana diseases. *Trop. Agric.* 8(2):293-298.
- Wardlaw, C. W. 1961. Banana diseases. Longmans, Green & Co. Ltd., London, UK. 648 pp.
- Watts, B. M., Ylimaki, G. L., Jeffery L. E. & Elias, L. G. 1989. Basic sensory methods for food evaluation. International Development Research Centre, Ottawa, Ont., Canada. 141 pp.
- Williamson D. & Tandon, R. N. 1966. Some pathological studies on *Botryodiplodia theobromae* Pat. causing banana rot. *Mycopathologia et Mycologia Applicata* 29:245-253.
- Wills, R. H. H., McGlasson, W. B., Graham, D., Lee, T. H. & Hall, E. G. 1989. Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. 3rd edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 176 pp.

Liste des sigles

- CRDI Centre de recherches pour le développement international
- FHIA Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
- CGIAR Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale
- IITA Institut international d'agriculture tropicale
- INIBAP Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain
- NRI Natural Resources Institute
- ODA Overseas Development Administration

Annexe 1

Critères de choix des consommateurs

Nom _____ Sexe _____ Date _____

Cette enquête a pour but de déterminer les critères guidant le choix des consommateurs lorsqu'ils achètent des bananes plantain. Supposez que vous allez au marché pour acheter des bananes plantain et que vous voyez cinq cultivars de bananes plantain (ou plus) à l'étalage. Selon quels critères choisissez-vous celui que vous allez acheter ? Veuillez répondre aux questions ci-après.

Instructions

1. Regardez les échantillons de bananes plantain codés qui vous sont présentés.
2. Après un temps de réflexion raisonnable, indiquez votre appréciation.

Veuillez répondre le plus précisément possible aux questions suivantes.

Classez les échantillons codés par ordre de préférence (5 = le meilleur, 1 = le moins bon) pour les caractéristiques suivantes :

Rang	A. Couleur des doigts n° de l'échantillon	Raisons de la préférence
5 _____	_____	_____
4 _____	_____	_____
3 _____	_____	_____
2 _____	_____	_____
1 _____	_____	_____

Rang	B. Forme des doigts n° de l'échantillon	Raisons de la préférence
5 _____	_____	_____
4 _____	_____	_____
3 _____	_____	_____
2 _____	_____	_____
1 _____	_____	_____

Rang	C. Dimension des doigts n° de l'échantillon	Raisons de la préférence
5 _____	_____	_____
4 _____	_____	_____
3 _____	_____	_____
2 _____	_____	_____
1 _____	_____	_____

Rang	D. Aspect des doigts n° de l'échantillon	Raisons de la préférence
5 _____	_____	_____
4 _____	_____	_____
3 _____	_____	_____
2 _____	_____	_____
1 _____	_____	_____

Avez-vous des commentaires ?

Merci pour votre participation.

Annexe 3

Nom _____ Sexe _____ Date _____

Instructions

1. Vous recevez des échantillons codés de chips de banane plantain.
2. Après un temps de réflexion raisonnable, indiquez votre appréciation.
3. Buvez une gorgée d'eau et faites une courte pause entre deux échantillons. Efforcez-vous de regoûter le moins possible une deuxième fois.

Veillez répondre le plus précisément possible aux questions suivantes.

Pour chaque échantillon, évaluez les propriétés organoleptiques ci-dessous à l'aide de l'échelle correspondante.

Echelle	Texture	Saveur	Couleur	Croustillant	Acceptabilité générale
5	très dure	excellente	excellente	très croustillant	excellente
4	dure	très acceptable	très bonne	croustillant	très bonne
3	molle	bonne	bonne	légèrement croustillant	bonne
2	très molle	assez bonne	assez bonne	mou	assez bonne
1	trop molle	insatisfaisante	insatisfaisante	très mou	insatisfaisant

n° de l'échantillon	Texture	Saveur	Couleur	Croustillant	Acceptabilité générale
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____	_____

Quel échantillon préférez-vous ? _____

Raisons de votre préférence :

Avez-vous des commentaires ?

_____ Merci pour votre participation.



Figure 1 : Mesure de la longueur d'un fruit à l'aide d'un mètre à ruban.



*Figure 2 :
Mesure de la circonférence
d'un fruit à l'aide
d'un mètre à ruban.*



Figure 3 : Mesure de l'épaisseur de la peau et de la pulpe à l'aide d'un calibre.



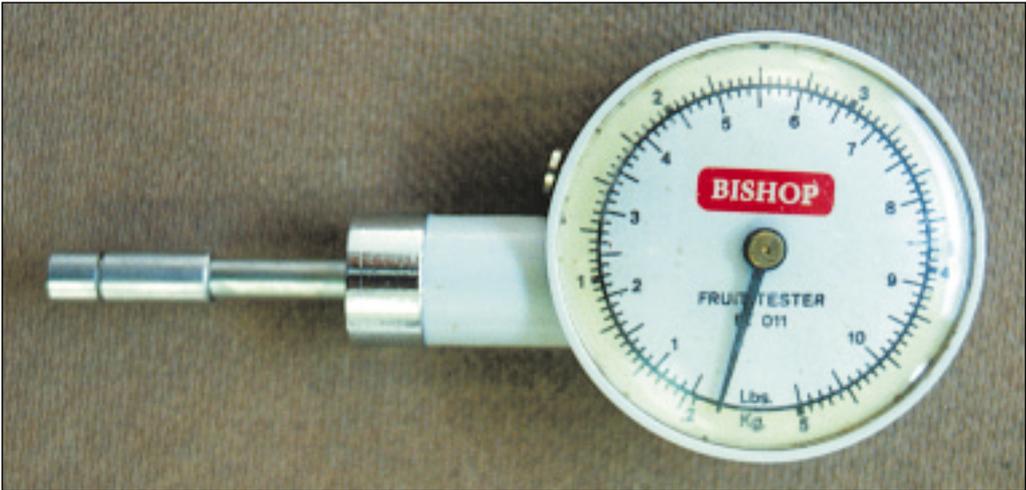


Figure 4:
Pénétrömètre à main, avec embout de 6 mm, pour mesurer la fermeté de la pulpe.

Figure 5:
Pénétrömètre monté sur support, avec embout de 6 mm, pour mesurer la fermeté de la pulpe.





Figure 6:
*Mesure du taux d'extrait sec soluble à l'aide
d'un réfractomètre à main.*



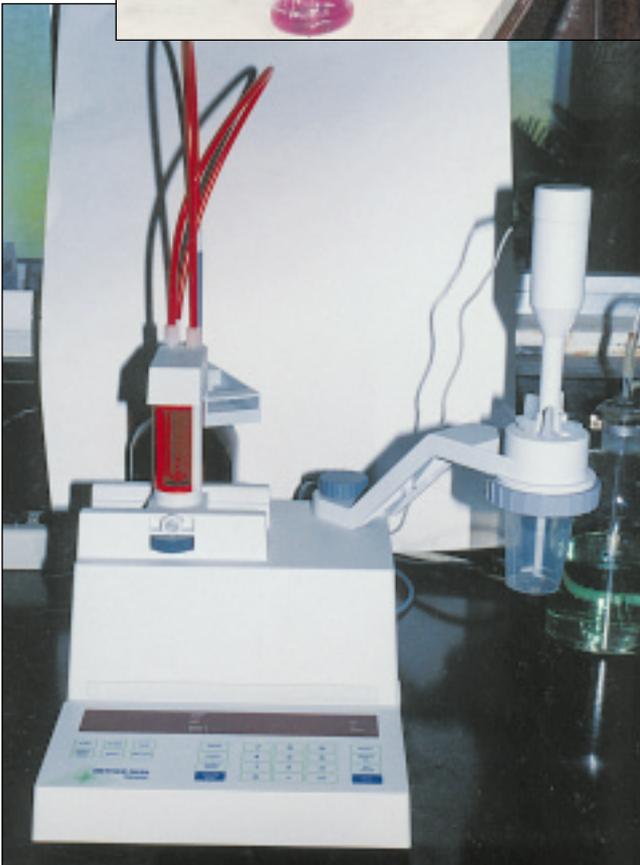
Figure 7:
*pH-mètre numérique
à main servant
à mesurer le pH
du jus extrait
de la pulpe.*



Figure 8:
*pH-mètre monté
sur support
servant à mesurer le pH
du jus extrait de la pulpe.*



*Figure 9 :
Détermination
manuelle de l'acidité
titrable totale
du jus extrait
de la pulpe.*



*Figure 10 :
Titrimètre automatique
servant à mesurer l'acidité
titrable totale du jus
extrait de la pulpe.*



Figure 11 : Évolution typique des caractéristiques morphologiques pendant la maturation du fruit.

Day after shooting = nombre de jours après émission de l'inflorescence.



Figure 12 : Évaluation du diamètre des doigts ou grade dans la pratique commerciale.

Figure 13:
Mesure
de la longueur
des doigts
à l'aide
d'un ruban
spécial.

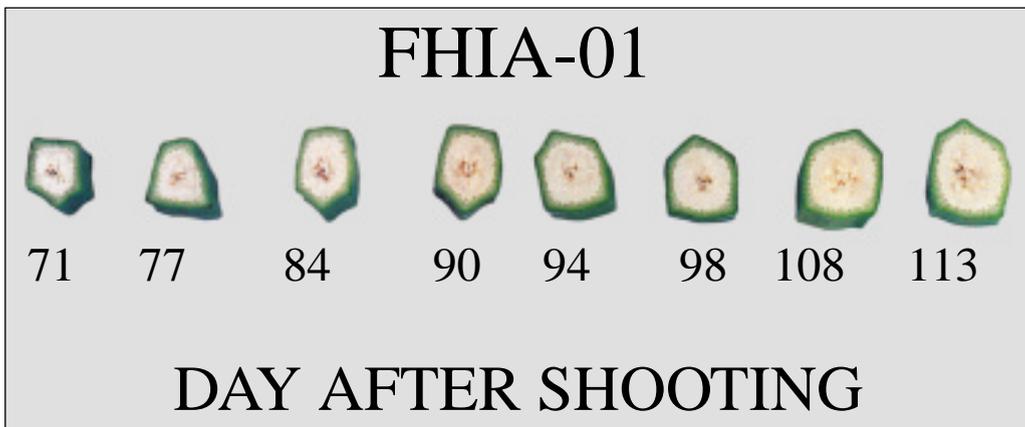


Figure 14: *Évolution typique des angles, de la forme et de la dimension de la section transversale du fruit en cours de maturation.*
Day after shooting = nombre de jours après émission de l'inflorescence.

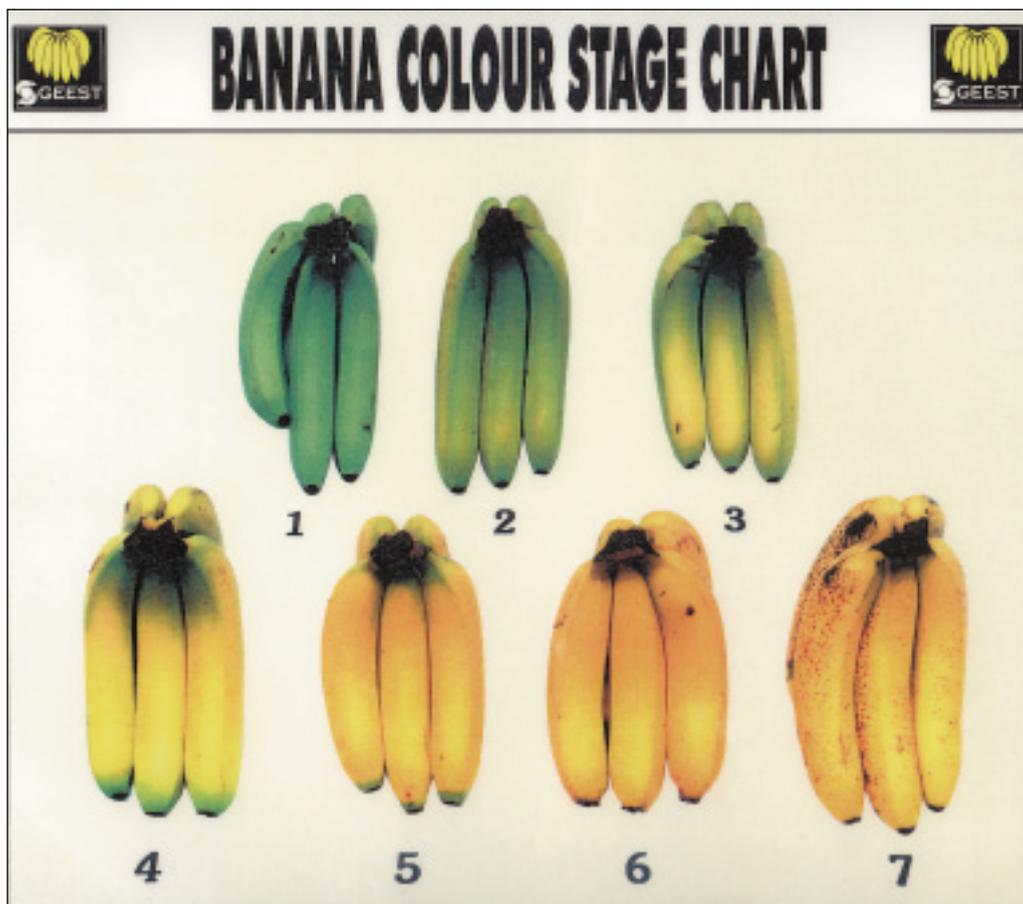


Figure 15: Échelle colorimétrique de la peau de la banane.



Figure 16: Une face des échantillons de pulpe est colorée à l'aide d'une solution d'iode et d'iodure de potassium.

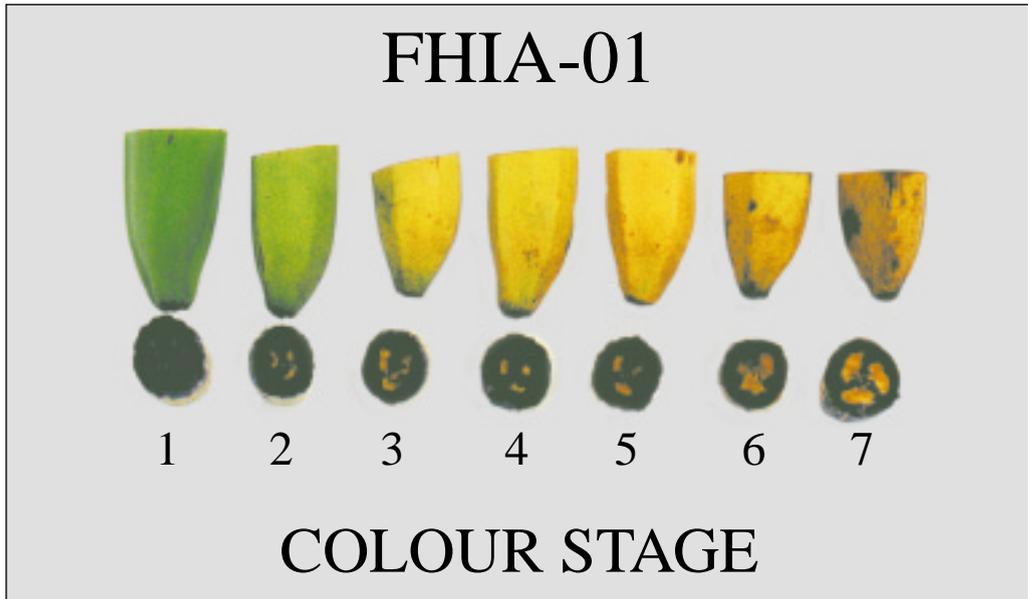
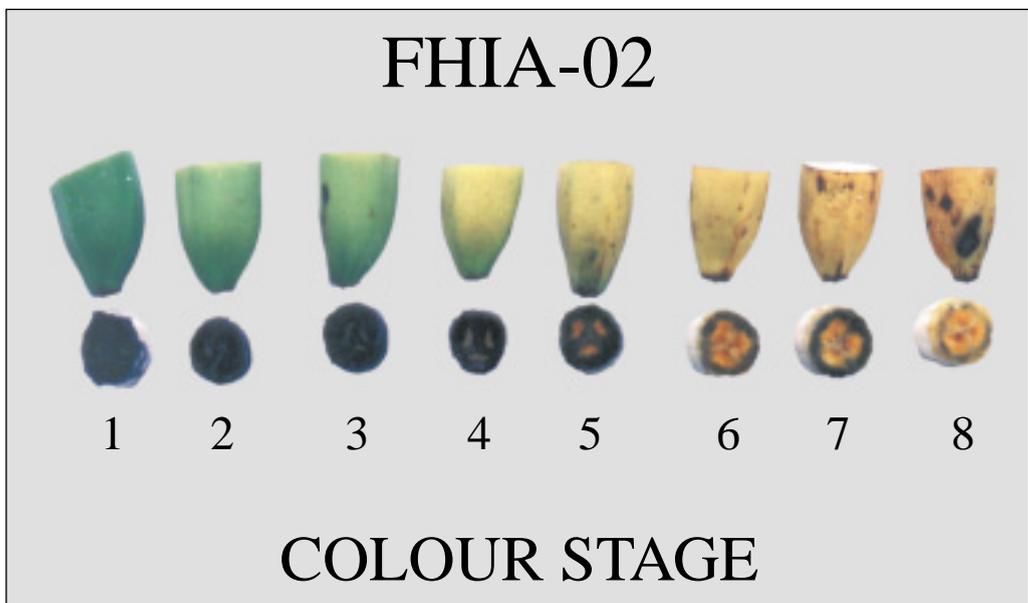


Figure 17:
Échelle colorimétrique indiquant les correspondances
entre les phases de dégradation de l'amidon
et les stades d'évolution de la couleur
de la peau pendant le mûrissement.
Colour stage = stades de couleur.





*Figure 18:
Dégrain, les fruits se
détachent du coussinet.*



*Figure 19:
Fissure de la peau.*



Figure 20: Frisure (fruits de droite = témoin).



Figure 21: Pourriture de la couronne (croissance mycélienne sur la couronne ou coussinet).

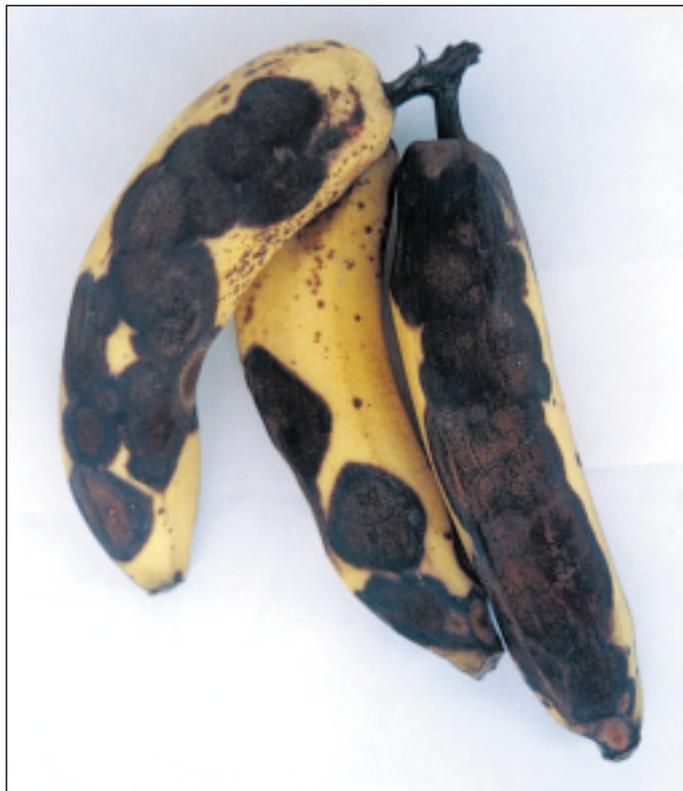


Figure 22 : Anthracnose.



*Figure 23 :
Maladie du bout de cigare.*

Réalisation : CIRPAC
ZA Clément-Ader
4, rue Louis-Bréguet
34830 Jacou - France
Tél. 04 67 59 10 11 - Fax 04 67 59 95 38