

LE FROID ET LA PHYSIOLOGIE DE LA BANANE EN PHASE PRÉCLIMACTÉRIQUE

par

R. DEULLIN

Ingénieur

à l'Institut de recherches fruitières Outre-mer (I. F. A. C.).

Le transport maritime des bananes produites dans les territoires de l'Union Française ne peut se faire qu'avec le froid. Les fruits qui sont chargés dans les cales du navire bananier à température tropicale doivent être refroidis le plus rapidement possible au voisinage de 12° C, puis maintenus à la même température jusqu'à la fin du voyage en respectant les conditions d'ambiance les plus indiquées, ce qui conduit à l'emploi d'une technique du froid qui est basée sur la physiologie de ce fruit.

Dans le présent article, l'auteur indique rapidement les connaissances physiologiques qui sont indispensables pour conduire le transport maritime de la banane.

Les connaissances acquises par les travaux de recherche sur la physiologie de la banane sont à la base même de la technique employée pour son transport maritime comme il est indiqué ci-dessous ; toutefois si des travaux récents ont pu éclaircir certains points, il en est par contre d'autres qui ont encore besoin d'être approfondis. L'exposé qui suit résume succinctement les connaissances physiologiques qui sont indispensables pour la technique du transport réfrigéré de la banane par mer.

Structure générale du régime.

Il faut récolter le régime avant qu'il ait atteint son développement optimum sur le plant, pour pouvoir le transporter à l'état vert, sous régime du froid, c'est-à-dire en phase préclimactérique, jusqu'au lieu de sa consommation. Il se présente à la cueillette comme une grappe comprenant le rachis ou hampe et les fruits groupés par rangées doubles, en mains, qui s'insèrent sur la hampe par les cousinets. Les fruits des deux premières mains (côté gros bout de la hampe) qui apparaissent les premiers sont les plus évolués, puis le degré d'évolution des mains va en diminuant progressivement jusqu'à la dernière. C'est là un caractère général qui se retrouve dans les grappes. Le nombre des fruits qui est variable dépend de la variété et du poids du régime. Pour un régime de 15 kg, il sera de l'ordre de 140 pour la naine *Sinensis*, de 110 pour la Poyo, et de 100 environ pour la Gros Michel de 20 kg.

Il est essentiel de considérer les différentes parties du régime (hampe, fruits) comme constituant un ensemble, il en résulte qu'une action s'exerçant sur les fruits peut se répercuter sur la hampe et réciproquement (refroidissement, déshydratation, etc.).

Forme du fruit.

La banane présente une forme allongée. Le rapport de la longueur au plus grand diamètre de la section transver-

sale médiane est de l'ordre de 5, ce qui correspond à une surface de peau largement développée (10 à 15 dm² au kilogramme de fruit pour la *Sinensis*) facilitant les échanges gazeux et la réfrigération. Les cellules les plus éloignées ne sont qu'à 2 cm environ de la peau. En contrepartie la banane sera plus facilement sujette à la déshydratation.

Composition de la pulpe.

La composition de la pulpe est caractérisée par deux faits essentiels :

- a) teneur en eau voisine de 70 % ;
- b) nature glucidique.

Les constituants importants : cellulose, hémicellulose, pectines, amidon, sucres, sont des glucides qui représentent la presque totalité de l'extrait sec qui atteint 30 % du poids du fruit.

Les autres composés se répartissent entre matières minérales (moins de 1 %), protéines (2 % environ), acides (moins de 1 %) et d'autres substances organiques.

Cette composition donne une chaleur spécifique assez élevée, dont il faudra tenir compte dans le bilan frigorifique du transport maritime de ce fruit, et montre que le comportement de la banane sera dominé par sa nature glucidique. De nombreux auteurs (Wardlaw, Léonard, Barnell, Stratton, V. Loesecke, Huet, entre autres) ont étudié la composition des glucides de la banane. Barnell a montré l'importance des hémicelluloses (teneur de 8 à 10 %), alors que la teneur en pectines n'est que de 0,2 à 0,4 %, de protopectine de 0,6 %. En phase préclimactérique la teneur en sucre est faible, 1 à 2 %. D'après Wardlaw, Léonard et Barnell elle augmenterait légèrement pendant la phase préclimactérique.

Huet a établi l'existence d'une relation entre l'abaissement de la dureté de la pulpe de la banane et l'évolution des composés glucidiques, sans pouvoir préciser si cette évolution est à attribuer aux hémicelluloses ou aux pectines.

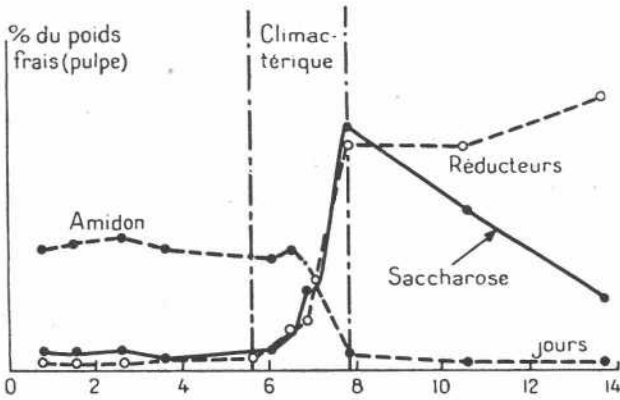


FIG. 1. — Variations de la concentration des glucides dans des bananes conservées à 29°4, à 85 % d'humidité relative. (Extrait de *La vie des Fruits* de R. Ulrich, p. 232, fig. 102.)

Intensité respiratoire.

La banane est un fruit à taux d'émission de gaz carbonique élevé. La quantité de gaz carbonique dégagé renseigne sur le métabolisme du fruit et permet de déterminer la chaleur de respiration qu'il faudra éliminer pendant le transport maritime réfrigéré (2,55 Calories pour 1 g de CO₂). L'intensité respiratoire de la banane a fait l'objet d'études nombreuses, particulièrement sur la banane Gros Michel (Wardlaw, Léonard à Trinidad, Gane sur fruits transportés, Olney, Furlong). Les courbes publiées avec les variétés Gros Michel et Sinensis diffèrent peu ; elles sont établies en prenant la moyenne des différentes déterminations effectuées. Il y a lieu de penser que l'intensité respiratoire de la banane rapportée à l'unité de poids diminue avec le développement du fruit comme c'est le cas pour la pomme (Kidd, Ulrich), c'est une notion qui demande à être précisée pour juger les valeurs indiquées par différents auteurs, elles doivent d'ailleurs être considérées comme des valeurs maxima parce qu'elles sont établies en atmosphère à humidité relative élevée qui favorise l'émission de CO₂ (Wardlaw pour la banane, Gac pour la pomme).

Le coefficient respiratoire de la banane est égale à 1 et le Q₁₀ (rapport des intensités respiratoires pour un écart de 10° C) entre 10° et 25° est de 2,5 (Gane).

L'émission de CO₂ augmente brusquement en fin de phase préclimactérique, ce qui permet de situer avec netteté le passage en phase climactérique.

En opérant sur des séries de régimes, Deullin et Monnet ont constaté une diminution lente de la dureté de la pulpe de la banane en phase préclimactérique qui serait en liaison avec l'augmentation de l'intensité respiratoire et l'évolution des composés glucidiques (hémicelluloses, pectines, amidons, sucres).

Gaz lacunaires.

Wardlaw et Léonard qui ont étudié la composition des gaz internes constatent que la teneur en oxygène et en gaz carbonique varie peu en phase préclimactérique : environ 14 % de O₂ et 2 % de CO₂.

Transpiration.

Cette notion est liée à la perte de poids et à la question de savoir si l'évaporation de l'eau du fruit phénomène endothermique peut produire un abaissement de température pouvant altérer le fruit au voisinage de 12° C pendant le transport réfrigéré. A notre connaissance, il n'y a pas d'études systématiques reliant la transpiration de la banane à la température, à l'humidité relative, à la vitesse de la circulation de l'air, à la surface de peau par unité de poids. Wardlaw et Léonard indiquent une perte de 0,5 g kg/h à 30° C avec une humidité relative de 75 %, ce qui correspond à 1 % environ pour 24 heures. A 12° C Wardlaw et Léonard indiquent 0,03 g par kg/h en atmosphère saturée ; dans ces conditions la chaleur d'évaporation de l'eau est inférieure à la chaleur de respiration et le fruit aurait un bilan thermique positif.

Chaleur spécifique.

La chaleur spécifique de la banane est indispensable pour calculer la puissance frigorifique des navires bananiers. La chaleur latente des fruits représente 70 % du bilan frigorifique dans le cas d'un abaissement de chaleur de 1/2° à l'heure, alors que la chaleur de respiration ne représente que 15 %. Les valeurs de la chaleur spécifique de la banane varient suivant les auteurs : Hofbauer indique 0,72, Von Loeseck indique deux valeurs : 0,77 pour le fruit de Jamaïque et 0,80 pour un fruit de Tela. Certains auteurs emploient des chiffres encore plus élevés. Une variation de 0,72 à 0,85 qui représente un écart de 0,13 a une répercussion importante dans le bilan frigorifique : plus de 75 000 frigories/heure pour une cargaison de 1 250 tonnes avec un refroidissement de 1/2° à l'heure. Les variations de la valeur de la chaleur spécifique peuvent être dues à des variations de teneur en eau de fruit. La détermination de la chaleur spécifique est à faire de préférence sur le fruit à la récolte. Pour le fruit (pulpe et peau) la teneur moyenne en eau est de 80 % environ (Huber, Gane, Wardlaw, Huet). A vrai dire c'est le régime qui est refroidi ; avec 8 % de la hampe à 92 % d'eau, ce qui donne une

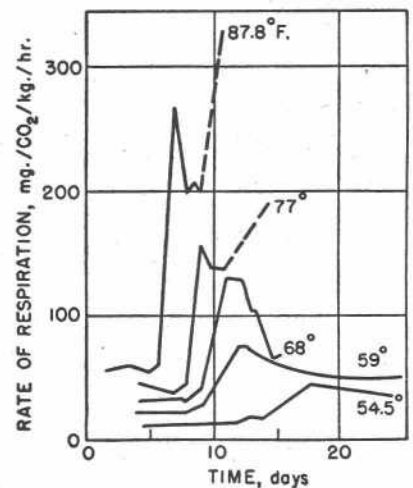


FIG. 2. — Le taux de production de CO₂ par des bananes (initialement non mûres) à différentes températures. (Extrait de *Bananas* de Harry W. Von Loesecke, p. 72, fig. 19.)

teneur moyenne en eau de 82 %, ce qui situerait la chaleur spécifique du régime entre 0,85 et 0,90.

Émission d'éthylène.

L'éthylène est considéré comme un stimulant de la maturation de la banane. Sa présence est jugée indésirable pendant le transport maritime. En phase préclimactérique la banane émet de l'éthylène mais en quantité faible : 100 mg par tonne/jour à 12° d'après Gane, 200 mg par tonne/jour pour un fruit tournant d'après Niederl. Ces quantités étaient à la limite des possibilités de dosage lorsque ces travaux ont été exécutés, elles ont une valeur indicative. Il n'est pas encore possible de dire si l'émission d'éthylène est la même en début et en fin de phase préclimactérique, ni quelle est sa variation en fonction de la température et si le fruit vert est aussi sensible à ce gaz que le fruit tournant. Tout récemment Phan Chon Ton a pu augmenter la précision des dosages d'éthylène, ce qui permet d'espérer une amélioration de nos connaissances lorsque les travaux nécessaires auront pu être repris. Pour la technique du transport maritime il est essentiel de savoir s'il faut simplement prévoir l'élimination de l'éthylène par introduction d'air frais dans le circuit de ventilation, ce qui est relativement simple ou bien envisager de l'absorber ou de le détruire sur place, ce qui est plus difficile à réaliser.

Atmosphère entourant le fruit.

Le fruit qui est en survie doit être placé dans l'atmosphère la plus favorable à sa conservation et à sa maturation ultérieure. De nombreux travaux ont été exécutés à ce sujet : Wardlaw et Col. ont montré que l'appauvrissement en oxygène, et l'augmentation de la teneur en CO₂ jusqu'à 6 % augmente la durée de la phase préclimactérique. Par contre une humidité élevée qui limite la perte de poids du fruit diminue cette durée. Wardlaw indique qu'à 29°, une humidité de 100 % la réduit à 6 jours alors qu'elle est de 9 jours avec une humidité relative de 75 % pour un fruit 3/4 plein. Gac a montré pour les pommes que l'intensité respiratoire augmente avec l'humidité et que la vitesse de l'air influençait la perte de poids. Toutes ces données sont importantes parce qu'elles interviennent pour l'étude de l'emballage, de la perte de poids en cours de transport, de la stabilité du fruit et de leur comportement en mûrisserie. Il devient possible de concilier deux exigences contradictoires comme celle d'une vitesse d'air assez grande pour avoir un refroidissement rapide et celle de la limitation de la perte de poids par l'utilisation d'une enveloppe en polyéthylène légèrement perforée, ce qui a pour effet de permettre un bon échange thermique, en maintenant autour des fruits une humidité relative élevée, et une teneur plus élevée en CO₂. L'éthylène considéré comme dangereux traverse la paroi de la housse en polythène et peut être éliminé par la ventilation. Ainsi l'action de stabilisation du gaz carbonique sur le fruit compense l'effet activant du maintien d'une humidité relative élevée qui limite la perte de poids en cours de transport.

Action de la température.

Pour chaque variété de banane, il existe une température critique de l'air de ventilation, liée à la durée du transport au-dessous de laquelle le fruit est altéré. Wardlaw et Mac Guire ont montré que la variété Gros Michel n'est pas atteinte par de l'air à 12° C quelle que soit la durée de l'exposition alors qu'elle est altérée par une exposition de 14 jours à 11° C et de 9 jours à 10° C. Il faut considérer en même temps l'action cumulative de la température et de la durée de stockage. La banane peut supporter des températures de 1 à 5° pendant un temps court, mais suffisant pour les manutentions de déchargement, c'est ce qui explique que les ports nordiques de l'Europe n'ont pas besoin d'équipe-

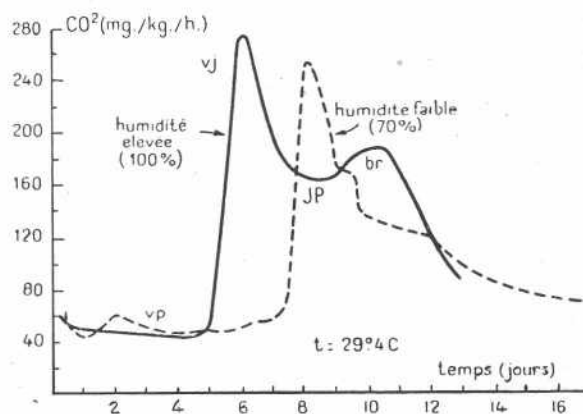


FIG. 3. — Variations de l'intensité respiratoire des bananes au cours de la maturation à 29° C dans des atmosphères de 100 % et 70 % d'humidité relative. Couleur du fruit : vp = vert pâle ; vj = vert jaunâtre ; jp = jaune pâle ; br = brunissement. D'après Wardlaw et Léonard (1940).

(Extrait de *La vie des Fruits* de R. Ulrich, p. 172, fig. 61.)

ments spéciaux pour la protection contre le froid à la condition que le déchargement s'exécute avec une rapidité suffisante pour que les fruits soient protégés du froid.

Vitesse de refroidissement.

Il est admis généralement que la banane doit être refroidie rapidement, Wardlaw et Mac Guire ont constaté que le fruit Gros Michel n'était pas altéré par un refroidissement rapide avec de l'air à 11° C. Les vitesses de refroidissement dans un compartiment de cale sont inférieures à celles qui peuvent être réalisées dans les laboratoires et sont de l'ordre de 1/2 degré en début de réfrigération. Il est reconnu qu'un refroidissement rapide a pour effet de diminuer l'action des moisissures.

Résistance des cellules.

Sur le plant, les tissus ont un pouvoir de cicatrisation (blessures aux fruits, section des hampes) (Ulrich, 1936). Il disparaît après la récolte, mais les cellules qui sont alors en survie ont encore un pouvoir de défense réelle contre les atteintes fongiques. Par exemple, les sections de hampes

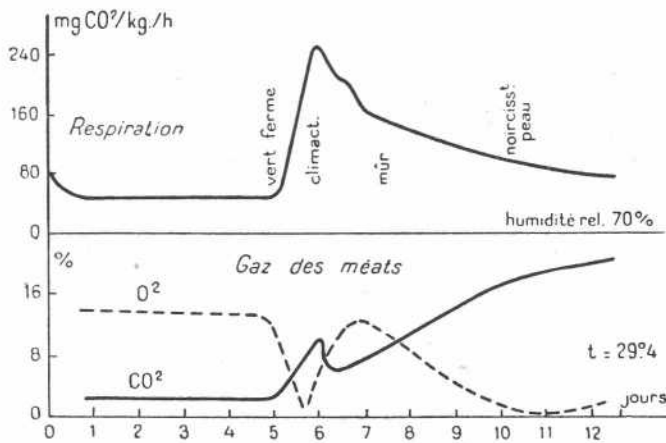


FIG. 4. — Variations simultanées, au cours de l'évolution du fruit, de la respiration et de la composition des gaz des méats — Banane — D'après Wardlaw et Léonard (1939).
(Extrait de *La vie des Fruits* de R. Ulrich, p. 193, fig. 78.)

placées dans des conditions qui évitent la déshydratation et refroidies rapidement à 12° restent fraîches après un transport d'une douzaine de jours et ne sont pas envahies par les moisissures. L'invasion fongique assez fréquemment n'est qu'un effet secondaire qui succède à une déficience des cellules ; la cause essentielle étant celle qui a provoqué la vulnérabilité des cellules. Il est bon de signaler que certaines moisissures produisent de l'éthylène : *Penicillium* sp. et *Botrytis* sp. (Biale, Furlong, Phan-Chon-Ton).

Délimitation de la phase préclimactérique.

La fin de la phase préclimactérique se manifeste par une augmentation brutale du métabolisme avec émission accrue de CO₂, diminution rapide de la dureté de la pulpe. La méthode la plus rapide pour caractériser le début de la phase climactérique consiste à mesurer la dureté de la pulpe.

Qualité du fruit.

L'appréciation de la qualité du fruit est indispensable pour déterminer s'il a les qualités marchandes requises et s'il a une stabilité suffisante pour rester en phase préclimactérique pendant la durée du transport maritime réfri-

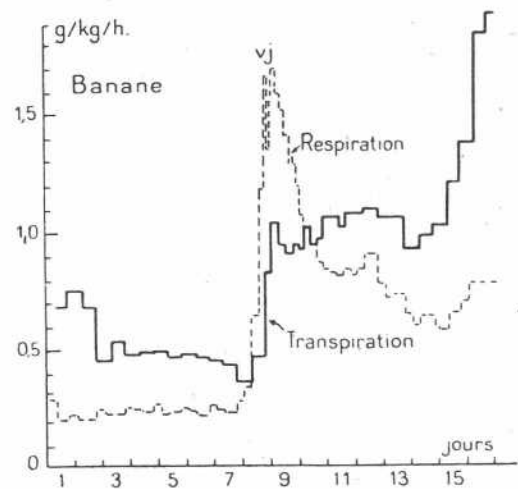


FIG. 5. — Variations de l'intensité de la transpiration au cours du développement de la banane. t = 30°. h = 75 % ; couleurs : j = jaune ; j. or. = jaune orangé ; r. or. = rouge orangé ; v. j. = vert jaune. D'après Léonard (1941).
(Extrait de *La vie des Fruits* de R. Ulrich, p. 219, n° 93.)

géré. Malheureusement les analyses chimiques ne sont pas utilisables pour la banane parce que les constituants utilisables sont les glucides dont les analyses sont longues, difficiles et d'une précision limitée. Présentement l'appréciation de la qualité de la banane est basée sur l'interprétation de tests physiques : aspect extérieur du fruit (fraîcheur, plénitude), couleur de la pulpe, dureté. Ces tests, sauf celui de la dureté, sont qualitatifs, il serait très utile de pouvoir disposer de méthodes chiffrables pour la plénitude et la couleur de la pulpe.

Conclusion.

Le transport maritime de la banane qui est caractérisé par la nécessité de refroidir rapidement un fruit placé pendant un temps limité dans les cales du navire bananier (maximum trois semaines) dans des conditions bien définies de température et d'ambiance est basé sur les études de la physiologie de la banane. Si les travaux récents ont amélioré la technique du transport, il reste encore de nombreuses questions à éclaircir.

BIBLIOGRAPHIE

- BARNELL H. R., *Ann. Bot.*, 1943, 7 ; 1945, 9, p. 77.
 BIALE, *Sciences*, 91, 458-459, 1940. *Plant Physiol.*, 29(2), 168-174, 1954.
 DEULLIN R., *Revue Générale du Froid*, janvier 1953.
 DEULLIN R. et MONNET J., *Fruits*, 1956, p. 341.
 GAG, *Revue Générale du froid*, 1956.
 HOFBAUER, *Milt. Slant. Tech. Versuch amts*, 16-119, 1927.
 HUET R., *Fruits*, 1956, p. 395.
 HUBER, *Culture du bananier*, Durod, Paris, 1907.
 GANE R., *New Phytologist*, 36-170, 1937 ; 35-383, 1936.
 GANE R., FURLONG C. R., ROBINSON J. E., SHEPHERD H. J., *Food. Investig. Techn. Paper*, 1953.
 KIDD F., *Roy hist of great Brit.*, 1934.
 KIDD F. et WEST C., *Plant Physiol.*, 1945, 20, 467-504.
 LÉONARD et WARDLAW C. W., *Ann. Bot.*, 1941, 5, 379.
 LÉONARD E. R., *Ann. Bot.*, 1947, 11, 299-331.
 — *Ann. Bot.*, 1941, 5, 89-120.
 VON LOESECKE M. W., *Bananas*, New York, 1950.
 NIEDERL J. B. et BREMMER, *Mikro-Chemie*, 24, 134, 1935.
 O'NEV A. J., *Bot. Gaz.*, 1926, 82, 415.
 ULRICH P., La vie des fruits, *Journal des recherches du C. N. R. S.*, 23 juin 1953.
 PHAN CHON TON, *Mémoire*, 1956.
 WARDLAW C. W., LÉONARD E. R., BARNELL H. R., *Low Temp. Res. Station Reports Trin.*
 — *Trop. Agr. Trinidad*, 1940, 7-103.
 WARDLAW C. W., et MAC GUIRE, *Trop. Agr. Trinidad*, 1931, 8, 139.