

Étude du développement du système foliaire du bananier en fonction de la température

J. GANRY*

ÉTUDE DU DÉVELOPPEMENT DU SYSTÈME FOLIAIRE DU BANANIER EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

J. GANRY (IFAC)

Fruits, jul.-aug. 1973, vol. 28, n°7-8, p. 499-516.

RESUME - Dans une première partie, l'auteur expose une méthode permettant de caractériser le développement du bananier à partir de la croissance des feuilles (après linéarisation et suppression du terme longueur finale).

Le critère de développement «x» est obtenu à partir de la longueur «l» du cigare, à l'instant «t» et de la longueur finale «L» (feuilles déployées) :

$$x = \text{Log} \frac{L-l}{(L-l)^2}$$

Cette méthode a permis de distinguer trois phases de développement entre l'émission du rejet et l'émission de l'inflorescence : une phase de formation ou phase juvénile, une phase adulte ou préflorale, une phase de différenciation florale.

Dans une seconde partie, l'auteur essaie de relier les températures des zones de croissance (dans le pseudo-tronc) au développement durant la phase adulte, compte tenu des profils d'élongation des diverses parties de la feuille et des gradients thermiques dans le pseudo-tronc. Le recours à des conditions thermiques artificielles a été nécessaire pour prospecter une gamme de températures suffisamment étendue.

Dans les conditions de l'expérimentation, la gamme thermique de développement significatif du bananier se situe entre 9 et 40°C avec optimum à 28°C.

Comme escompté, on note une action prépondérante de la température sur le développement du bananier, mais seulement en dehors de la zone de températures optimales. Dans cette zone thermique optimale, d'autres facteurs édaphiques et climatiques semblent s'exprimer plus intensément.

INTRODUCTION

La croissance globale du bananier est la résultante de très nombreux facteurs : potentiel génétique, vigueur végétative et nature du matériel de départ, facteurs édaphiques, climatiques, parasitaires, etc.

Il apparaît donc, a priori, difficile de relier directement la croissance à un élément isolé du climat, la température par exemple.

Les interactions entre les diverses composantes de la croissance sont multiples : interactions entre éléments climatiques, interactions entre divers organes de la plante, interactions entre éléments climatiques et édaphiques (par exemple entre température et potentiel d'absorption de l'azote), etc.

Il s'agira donc d'essayer d'éliminer certaines de ces interactions pour mettre en évidence l'action d'un facteur particulier sur une des composantes de la croissance.

L'objectif a été d'étudier l'action de la température sur le développement végétatif du bananier. Antérieurement, divers auteurs ont montré que, sous certaines conditions, la

température est le facteur déterminant du développement, dont l'étude s'avère peu facile sur le bananier car une des particularités de cette plante réside dans l'absence de manifestation visuelle des diverses phases de son développement entre la sortie du «rejet» et l'émission de l'inflorescence.

On peut pourtant deviner l'existence de divers stades durant cette phase de développement, végétative en apparence. Plusieurs auteurs en signalent déjà l'existence. On tente de les mettre en évidence par une méthode indirecte basée sur la croissance des feuilles.

Caractéristiques morphologiques de la phase apparemment «végétative» du bananier.

Cette description très succincte a pour but de faciliter la compréhension de la suite du texte. Pour plus de détails, il est conseillé de se référer à l'ouvrage de CHAMPION : «Le bananier», ainsi qu'à certaines études de BARKER sur les processus morphologiques de développement du bananier.

Au début de sa vie, le bananier se présente sous forme d'un **rejet**, issu d'un pied parent. Ce rejet est coiffé d'écaillés turgescentes, pigmentées en rouge.

Il émet ensuite des **feuilles lancéolées**, correspondant à une inhibition plus ou moins poussée de la part du pied

* - Service de Bioclimatologie, Station IFAC de Neufchâteau, Guadeloupe.

parent. Puis apparaissent les premières **feuilles larges** correspondant à une phase active du développement, au cours de laquelle s'édifie le bananier adulte (bulbe - racines).

De ce stade, jusqu'à l'émission de l'inflorescence, aucune manifestation brutale ne peut être visuellement détectée ; l'évolution est progressive, se manifestant seulement par l'augmentation de la taille. De l'extérieur, on assiste à la sortie de feuilles successives, apparaissant à la partie supérieure du faux-tronc, sous la forme d'un limbe enroulé, appelé cigare.

En fait, toutes les feuilles sont émises depuis le bulbe (tige vraie) situé à la base de la plante. Chaque feuille comprend, à partir de la base : la gaine, le pétiole, la nervure centrale et le limbe.

Les gaines des feuilles successives (émises en double hélicoïde), sont fortement imbriquées les unes dans les autres pour former le pseudo-tronc.

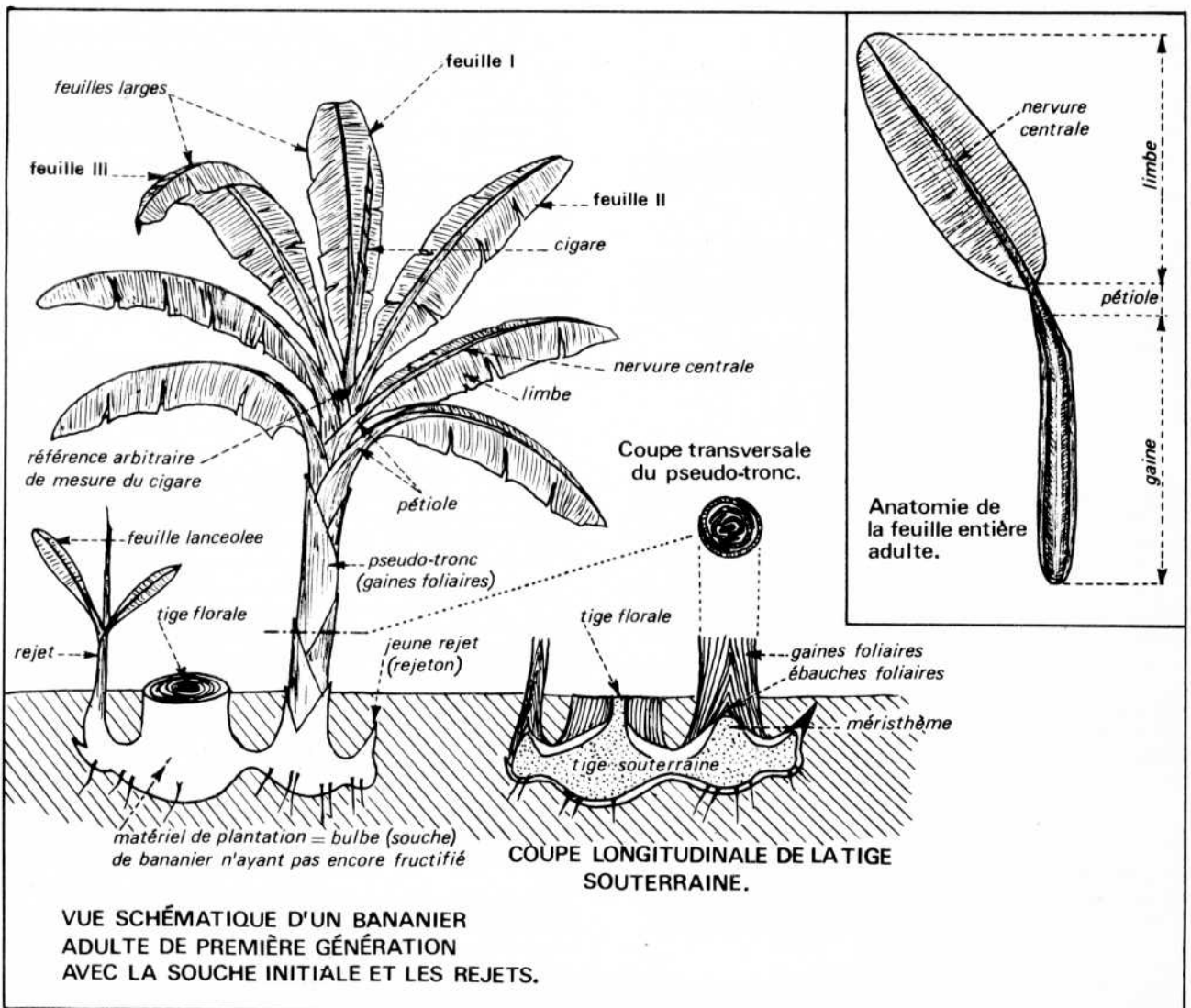
Quelques temps avant l'émission de l'inflorescence, la tige vraie subit une croissance très rapide à l'intérieur du faux-tronc correspondant à la montée de la fleur. Les dernières

feuilles émises n'ont donc plus une insertion située à la base du bananier, mais sur la tige montante, donc à divers niveaux du pseudo-tronc.

Ainsi, au cours de cette vie végétative apparente, longue de 8 à 10 mois dans les conditions de Neufchâteau (Station IFAC en Guadeloupe), le bananier est passé du stade initial, rejet de 10 cm de haut et de 5-6 cm de circonférence, au stade final, plante entière avec une trentaine de feuilles, et dont le pseudo-tronc a une hauteur de plus de 2 m, avec une circonférence basale d'environ 80 cm. Ces variations de tailles s'accompagneront inévitablement de variations dans le bilan thermique de la plante, et donc finalement de variations dans le régime thermique des zones de croissance situées au centre du pseudo-tronc.

Quelques données bibliographiques.

L'étude d'une relation entre température et développement peut être abordée de multiples manières. Plusieurs tentatives ont été faites, utilisant des méthodologies différentes :



TRELEASE (1923) avait déjà mis en évidence une relation entre conditions climatiques et vitesse de sortie de feuilles et noté des différences de rapidité entre croissance diurne et croissance nocturne.

D.W. TURNER (1970) aboutit à une bonne relation entre la température sous abri et le rythme d'émission des feuilles. Il lui attribue le rôle prédominant. Il note que l'émission des feuilles cesse à des températures inférieures à 10°C.

G.C. GREEN et F.A. KUHNE (1970), travaillant sur bananier nain, trouvent une nette relation entre températures sous abri et allongement des feuilles (déterminé par section journalière de la partie du cigare apparue et pesée). Ils mettent en évidence l'action limitante des températures hivernales, avec un arrêt de végétation vers 11°C.

BARKER (1969), travaillant sur cultivar «Gros Michel» en conditions tropicales, trouve que l'élongation maximum de la feuille coïncide bien avec les températures diurnes. Cependant il note un arrêt temporaire de croissance (correspondant à des températures élevées de l'ordre de 32-35°C), lorsque l'humidité est inférieure à 70 p. cent.

De nombreux auteurs ont signalé le ralentissement du développement à l'apparition de basses températures : variations saisonnières et variations avec l'altitude.

Dans toutes les études citées, les auteurs ont tenté de relier la température sous abri (moyennes journalières en général) avec le développement végétatif et plus souvent avec la croissance.

Or le bananier est une plante avec zone méristématique et zones d'élongation internes, isolées du milieu extérieur par les gaines foliaires successives sur une épaisseur, d'autant plus grande que la plante est âgée. Les températures «sous abri» ne donnent qu'une indication sur les températures agissant effectivement au niveau des zones de croissance.

De plus les critères végétatifs utilisés sont souvent des critères de croissance. Or la croissance d'une feuille n'est pas linéaire à température constante et on sait qu'elle dépend de nombreux éléments édaphiques, climatiques, génétiques, etc.

Ces deux remarques ont orienté le choix des méthodes utilisées dans cette première phase d'étude.

- Le développement végétatif sera déterminé à partir de la croissance de la feuille ;
- Les températures utilisées seront les températures agissant effectivement au niveau des zones de croissance.

Conditions expérimentales - Matériel et méthodes.

Matériel végétal :

Notre étude a porté sur des bananiers CV, 'Giant' du Honduras, introduction «901», du sous-groupe Cavendish, conduits en plantation échelonnée (tous les deux mois), sur la station de Neufchâteau (en annexe : les données écologiques globales).

Chaque parcelle comporte 50 bananiers - 10 plantes retenues d'après un test d'homogénéité (hauteur et circonférence du pseudo-tronc ; nombre de feuilles) sont observées par parcelle. La plantation est effectuée avec des souches issues de bananiers n'ayant pas fleuri (choisis de manière homogène d'après leur taille), avec départ sur bourgeon latéral.

L'intervalle de plantation est de 2 m x 2 m.

Observations phénologiques.

- Mensurations journalières sur 10 bananiers par lot et par tranches de 2, 4, 6 ou 14 heures sur 2 à 3 bananiers :

Longueur du cigare à partir d'une référence sur la feuille III (troisième feuille précédant le cigare et qui a pratiquement terminé sa croissance ; la feuille I étant la dernière déroulée).

Longueur de la feuille I (à 7 h).

- Mensurations hebdomadaires.

- feuilles II et III n'ayant pas achevé leur croissance,
- hauteur et circonférence (à 30 cm) du pseudo-tronc,
- longueur et largeur maximale des limbes,
- hauteurs des références de mensuration de feuilles.

(les hauteurs sont mesurées à partir d'une référence fixe sur le pseudo-tronc, située à 30 cm de la zone d'insertion des premières racines. Dans le texte nous donnerons des hauteurs totales = hauteurs mesurées + 30 cm).

Dispositif de mesure des températures.

Les températures du bananier sont mesurées au niveau des zones réelles d'élongation à l'aide de thermocouples en cuivre - Constantan, avec référence à 2 m dans le sol (ou dans la glace). Ces thermocouples sont fixés à l'extrémité de sondes piqueuses métalliques isolées électriquement.

Les diverses lignes de thermocouples sont reliées à un potentiomètre enregistreur à douze voies (précision de classe 1).

Les données climatologiques classiques sont relevées sur une station normalisée (météorologie nationale), située à 200 m de la zone d'observation.

ÉTUDE DE LA CROISSANCE DU CIGARE

La sortie du cigare (partie visible de la feuille en cours d'apparition), choisie comme critère de croissance, correspond en fait à l'allongement d'une partie invisible de la feuille (gaine foliaire, portion de pétiole et limbe non encore apparus).

BARKER conclut de ses études morphogénétiques sur le cultivar 'Gros Michel' que la croissance en largeur et en longueur du limbe, ainsi que la croissance de la gaine se réalisent indépendamment l'une de l'autre, mais selon un processus bien coordonné. Il indique que le limbe a atteint les trois quarts de sa taille huit jours avant l'apparition du cigare. Les deux-tiers de l'allongement de la gaine foliaire se déroulent durant la semaine correspondant à l'apparition du cigare.

Aux différences morphologiques de chaque partie de la feuille sont donc reliées des différences dans la chronologie de la croissance :

à la sortie du cigare, le limbe a presque atteint sa taille définitive, alors que la gaine subit un accroissement très rapide.

Signalons les observations de LASSOUDIÈRE et CHARPENTIER qui confirment les précédentes : sur cultivar 'Poyo', la partie du limbe située à moins de 60 cm du repère V a terminé son développement. (Le repère V correspond à l'intersection des ailes pétiolaires des feuilles II et III).

Analyse de la courbe de croissance du cigare.

La courbe de croissance d'une feuille présente, surtout sur des bananiers jeunes (moins de 10 feuilles) une allure sigmoïde (courbe en S), avec une première phase de croissance lente au départ, (peu nette), une deuxième phase de type linéaire, correspondant à une croissance active, et une troisième phase de ralentissement en fin de croissance.

La connaissance des deux dernières phases est très aisée (la taille finale est atteinte environ trois semaines après le déroulement complet du limbe, l'allongement au cours de la dernière semaine étant de l'ordre de 4 mm par jour).

Par contre, la première phase est difficilement discernable.

Afin de mieux la prospecter, nous avons étudié la phase «*précigare*» (précédant la sortie du cigare) :

Technique expérimentale : sur un bananier donné et à une distance connue au-dessous du niveau de référence (5 cm par exemple), un trou horizontal médian est percé à l'aide d'une aiguille fine, cette opération se répétant quotidiennement. Lorsque le cigare est complètement sorti, nous pouvons reconstituer la croissance qui a précédé son apparition. Cette manipulation a été réalisée sur des bananiers de diverses tailles et également à des niveaux différents (5, 30, 50, 60 cm au-dessous du niveau de référence), avec un seul niveau par bananier. Au-dessous d'un certain niveau, variable avec l'âge du bananier, cette pratique n'est plus valable, car le perçage s'effectue alors dans les zones de croissance active.

La figure 1 a, b, c, d, montre l'allure des courbes obtenues.

On constate que la première phase de croissance n'est pas du tout symétrique de la phase finale, comme elle l'est en général pour une courbe typique de croissance d'un organe.

La première phase de croissance plus lente, que l'on observe surtout sur les feuilles de jeunes bananiers, est très courte et précédée d'une phase de croissance très active, correspondant à la phase «*précigare*».

Compte tenu des travaux de BARKER, nous avons pensé que cette phase de croissance active devait être la résultante de deux phases de croissances distinctes :

- première phase de croissance de la gaine foliaire,
- troisième phase de croissance lente du limbe (des observations plus précises devraient permettre de situer la croissance du pétiole).

Point origine :

La connaissance du point origine de la courbe de croissance de la gaine est nécessaire pour l'exploitation des données d'allongement du cigare. Or il ne peut pas être déterminé par simple mensuration, de par le chevauchement présumé de deux courbes de croissance.

Il sera donc nécessairement déterminé théoriquement, par une méthode graphique, comme le montre l'exemple de la figure 2. Les mensurations du cigare permettent de disposer de la fin de la première phase, et de l'intégralité des deuxième et troisième phases. Le point médian (S) de la courbe sigmoïde sera le milieu de la partie linéaire de la courbe.

Le point origine théorique (P.O.) sera le symétrique de la taille finale (L) par rapport à S.

Signification du point origine (figure 1 e).

Ce point est difficilement repérable dans le temps. Il correspond au début de la croissance de la gaine foliaire ; or cette croissance commence très tôt et avec une vitesse infinitésimale (il en est de même pour le point d'arrêt de

croissance d'une feuille), alors que la croissance du limbe n'est pas terminée.

Dans l'espace, ce point correspond en réalité au point d'insertion de la gaine (point A). Dans la pratique des mesures, c'est un point fictif (P.O.), ne pouvant être déterminé qu'après connaissance de la taille finale de la feuille (L) et du point médian (S.).

Détermination rapide du point origine.

Le point origine, déterminé théoriquement, pour un grand nombre de feuilles de tailles différentes et appartenant à des bananiers à divers stades, varie autour du point de référence arbitraire choisi sur la feuille III, comme le montrent les quelques exemples du tableau 1.

TABLEAU 1 - Fluctuations du «point origine théorique» de croissance de la gaine, autour de la référence de mesure choisie sur la feuille III. Relation entre la hauteur du point origine et la longueur du limbe.

n° feuille	L cm	PO-REF cm	REF cm	P.O. cm	limbe cm
18	227	0	157	157	182
20	238	- 7	168	161	187
19	232	- 10	158	148	174
18	224	- 7	150	143	170
12	162	0	104	104	127
12	174	- 2	111	109	132
7	126	- 5	77	72	94
5	112	- 10	73	63	86
4	111	- 1	60	59	78
3	109	+ 8	49	57	74

Nous pensons qu'il peut exister une relation entre la longueur du limbe et la hauteur du point origine théorique. Par corrélation fonctionnelle, la croissance du limbe doit être freinée, puis stoppée, à partir du moment où l'extrémité apicale de celui-ci (filament précurseur) parvient à une certaine hauteur dans le pseudo-tronc.

L'observation montre en effet que la longueur du limbe croît assez régulièrement avec la hauteur du pseudo-tronc, jusqu'à la montée active de l'inflorescence (ce qui correspond en fait à un raccourcissement fictif du pseudo-tronc de par la montée des zones d'insertion des feuilles).

Selon LASSOUDIÈRE, il reste 2 à 3 feuilles immatures lorsque l'inflorescence commence son ascension rapide. Or le raccourcissement des limbes s'observe sur les 2 ou 3 dernières feuilles (figures 5 a, b, c).

En ce qui concerne un rôle possible du filament précurseur, nous devons citer l'observation de SKUTCH (1930) selon laquelle ce petit organe semblerait orienter le rythme interne du développement. BARKER n'y a décelé aucune structure cellulaire différenciée vers une fonction aussi spéciale. Mais rien n'a encore été démontré et son action possible sur la morphogénèse du limbe reste encore du domaine du possible. Il faut ajouter à ces quelques remarques que, comme l'indique le schéma théorique du graphique 1e, le point origine théorique correspond en fait au point méristématique A, auquel on fait subir une translation virtuelle AL, correspondant au palier final de la première courbe de croissance (P1).

Deux inconnues subsistent : d'une part le point A n'est pas repérable avec exactitude de l'extérieur, d'autre part nous ne savons pas quelle est la valeur de AL et en particulier si elle correspond à la longueur du limbe ; de plus la croissance du pétiole n'entre pas dans le schéma théorique,

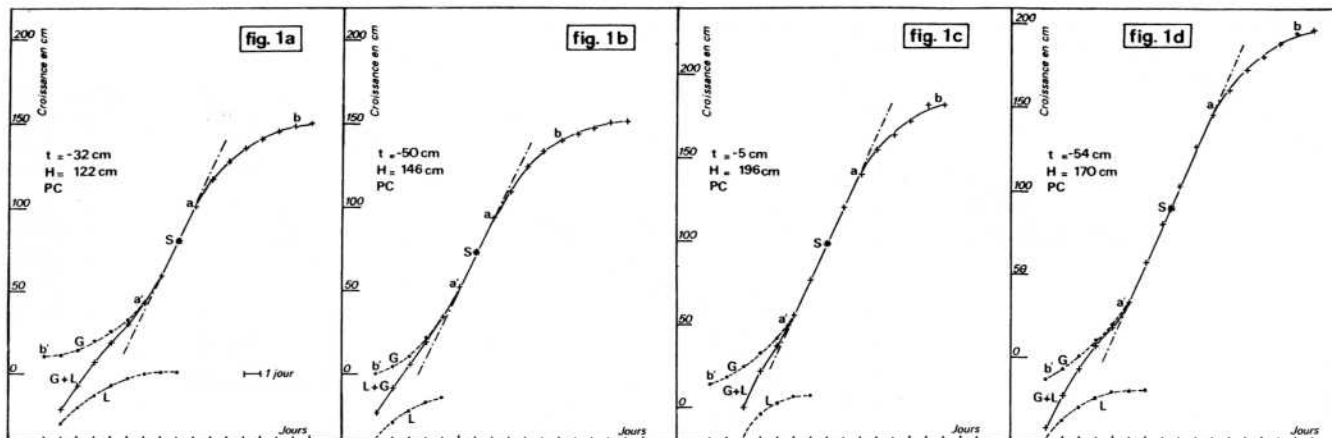


figure 1a.b.c.d. ÉTUDE DE LA PHASE PRÉCIGARE.
Essai de dissociation des croissances de la gaine et du limbe.

PC = phase précigare. Mesure de l'allongement du cigare (G+L) par l'intermédiaire de trous placés à une distance "t" de la référence sur la feuille III.
S = milieu de la phase de croissance linéaire.
ab = troisième phase de croissance de la gaine (ralentissement).
a'b' = première phase théorique de croissance de la gaine, symétrique de ab par rapport à a'b.
G+L = Croissance mesurée.
G = Croissance théorique de la gaine (a'b').
L = Croissance théorique du limbe (G+L - G).
H = Hauteur du bananier.
Échelle des ordonnées: 0 = référence arbitraire sur la feuille III.

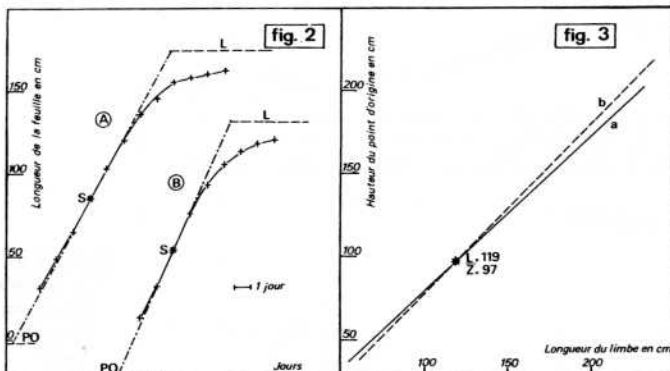


figure 2 Exemple de détermination graphique du point origine théorique de croissance de la gaine.

Bananier	A	B
Age du bananier (mois)	5	4
Nombre de feuilles	12	6
Longueur finale de la feuille (cm)	174	131
Hauteur du point médiant au-dessus de la référence (cm)	86	55
Hauteur du point origine au-dessus de la référence (cm)	-2	-20
Hauteur de référence (cm)	111	96
Longueur du limbe (cm)	129	101

figure 3 Relation entre la longueur du limbe d'une feuille et la hauteur du point origine théorique de croissance de la gaine.

Régression linéaire: $r = 0,97$, $N = 51$
 $b_L Z = 0,98$, $Z = 1,02 L - 24,5$ droite b
 $b_Z L = 0,94$, $Z = 0,94 L - 14,9$ droite a

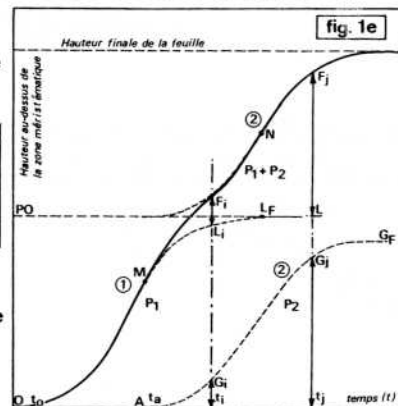


figure 1e Schéma théorique d'interprétation de la croissance du cigare.

Nous supposons que la croissance de la feuille entière se déroule en deux phases, ce qui n'est qu'une interprétation théorique, car d'autres phases de croissance peuvent s'y superposer en réalité.
 PHASE (1). Croissance d'une première partie de la feuille (P1) correspondant surtout à la croissance du limbe (courbe (1) O-LF).
 PHASE (2). Croissance d'une deuxième partie de la feuille (P2) correspondant surtout à la croissance de la gaine (courbe (2) A-GF).
 Nous n'avons pas envisagé la croissance du pétiole qui peut être indépendante ou bien incluse dans l'une des deux phases.
 Cette deuxième phase débute alors que la croissance de P1 n'est pas terminée d'où chevauchement des deux courbes de croissance, (partie MN de la courbe de croissance globale en trait plein).
 Au temps t_i , la longueur de P2 est G_i , celle de P1 est L_i , la longueur de la feuille entière est $F_i = G_i + L_i$.
 Lorsque P1 a terminé sa croissance (longueur finale L) la taille totale de la feuille entière est au temps t_j : $F_j = G_j + L$.
 Par extension, le point origine théorique correspond au point méristématique A, auquel on fait subir une translation virtuelle L, (pour $G_j \cdot O : F_j \cdot L$).

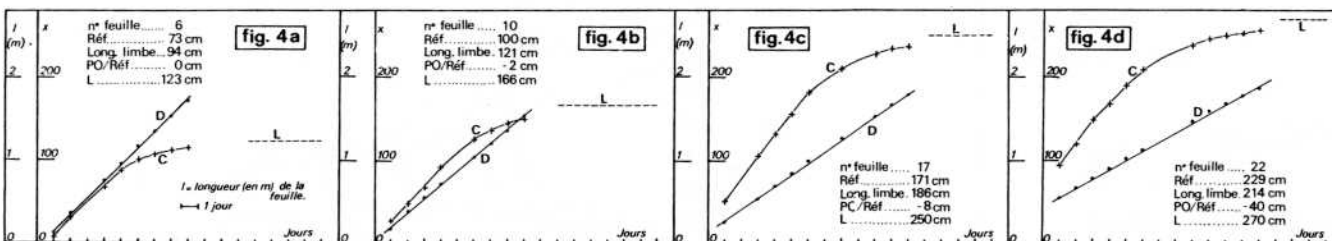


figure 4 a.b.c.d. Croissance de la feuille et critère de développement.

PASSAGE DE LA CROISSANCE AU DÉVELOPPEMENT.
 C = Courbe de croissance.
 D = Courbe de développement.
 Réf = Référence sur la feuille III pour la mesure du cigare.
 PO = Point origine théorique de croissance.
 $PO/Réf =$ Hauteur du PO - Hauteur de la Réf.
 $x =$ Critère de développement: $\left[x = \log_{10} \frac{l}{(L-l)^2} \right]$
 l = Longueur du cigare corrigée par la différence entre PO et Réf.
 L = Longueur finale de la feuille visible (cigare déroulé).

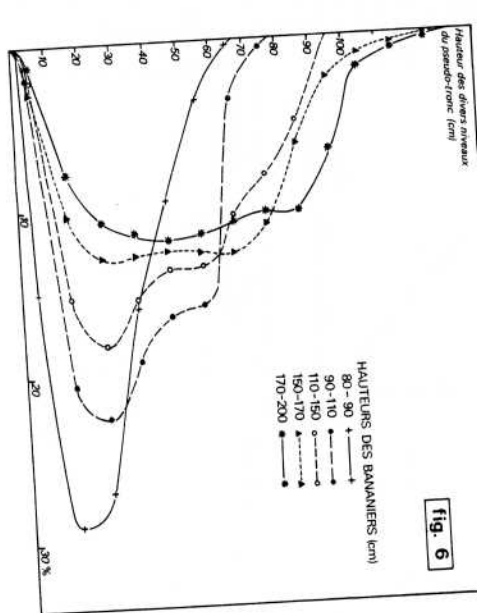
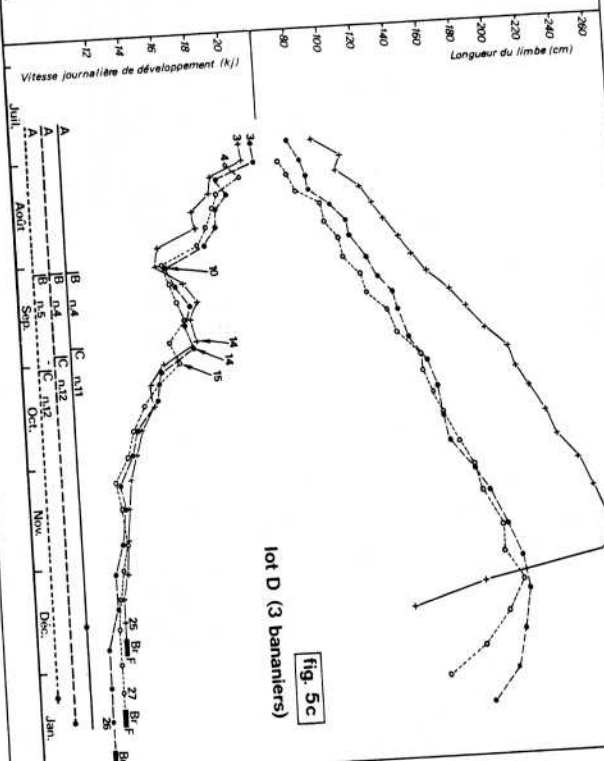
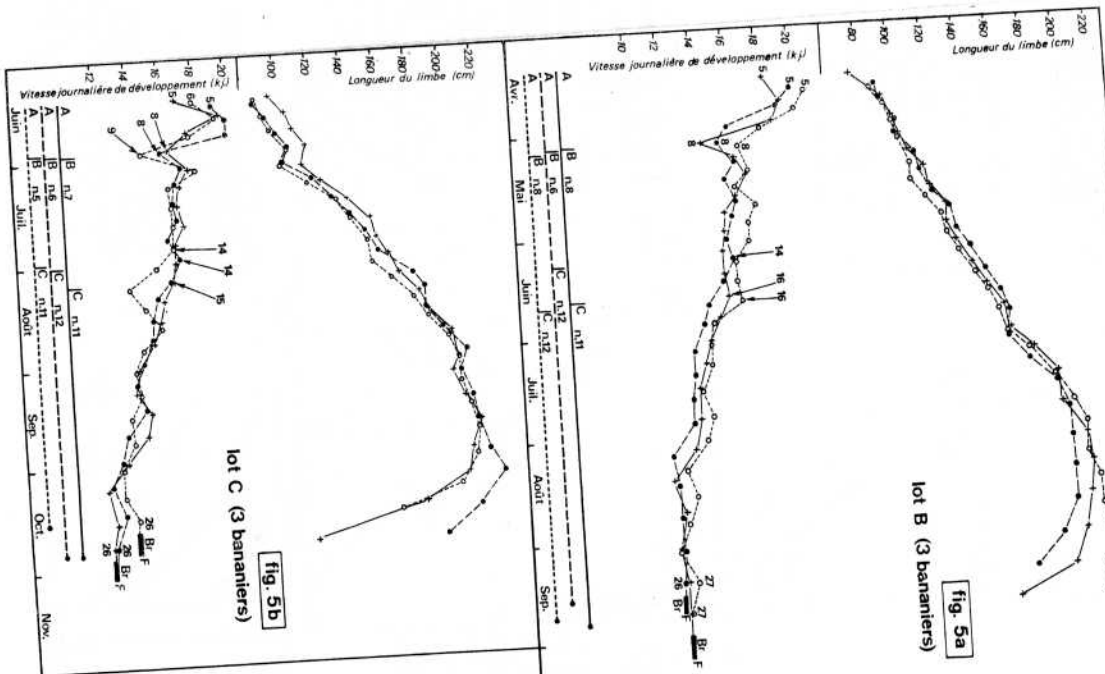


Figure 5a,b,c. Evolution de la vitesse journalière de développement au cours d'un cycle de première génération. Evolution comparée de la longueur du limbe.

A = Phase juvénile ou de formation.
B = Phase adulte.
C = Phase de différenciation florale.
D = Bractée.
E = Inflorescence.
5, 8, 14 numéros des feuilles.
n.8 n.6 nombre de feuilles.

Figure 6 Profil moyen d'élongation de la feuille au cours de la période de sortie du cigare. Variations des niveaux d'élongation avec la hauteur du bananier (âge).

HAUTEURS DES BANANIERS (cm): 80-90, 90-110, 110-150, 150-170, 170-200

HAUTEUR DES BANANIERS (cm) vs Vitesse journalière de développement (k/j)

11 = Allongement partiel par niveau.
Δ1 = Allongement total.

par manque d'information.

Malgré cela, il est permis de prévoir une relation directe entre la hauteur du point origine théorique et la longueur du limbe correspondant (c'est-à-dire entre P1 et le limbe).

La figure 3 montre que cette relation existe effectivement. Il sera donc possible, à l'aide de ce graphique de trouver la hauteur du point origine théorique par simple connaissance de la longueur du limbe.

Cette relation n'est cependant pas généralisable à tous les cas. En particulier, elle n'est plus valable lors de la phase de montée active de l'inflorescence (trois dernières feuilles), ainsi que dans tous les cas de raccourcissement anormal des limbes, consécutif à un accident de végétation.

PASSAGE DE LA CROISSANCE AU DÉVELOPPEMENT

Pour distinguer croissance et développement, reprenons les définitions qu'en donne DURAND :

«Par croissance, on désignera ce qui évolue d'une manière continue et peut se mesurer (longueur, surface, volume, masse)». Dans notre cas, l'allongement du cigare représente la **croissance de certaines parties de la feuille**.

«Par développement, on entendra toute modification qualitative dans la forme de la plante. Ces modifications sont jalonnées par des repères phénologiques ou stades de développement (germination, différenciation florale, floraison)».

L'étude directe de cet élément apparaît impossible durant le cycle végétatif du bananier, de par l'absence de modifications qualitatives visuelles.

La courbe représentative de la croissance d'un organe ou d'une plante entière est généralement du type sigmoïde. La vitesse de croissance est représentée graphiquement par la pente de la tangente à la courbe de croissance ($l(t)$) : c'est l'accroissement par unité de temps ($V = \frac{dl}{dt}$)

Notons dès à présent que, même en conditions climatiques constantes, la **vitesse de croissance varie au cours du temps**. De plus la croissance suit un rythme interne de développement qui rend l'accroissement potentiel dépendant de la taille de l'organe. Il apparaît donc difficile d'étudier l'action directe de la température, sur un élément soumis à une telle variation en conditions constantes.

L'évolution du développement peut aussi, de manière arbitraire se représenter graphiquement. Le développement se ramène à un temps séparant deux stades phénologiques. La vitesse moyenne de développement est la pente de la droite joignant les points relatifs à deux stades de développement ; en général elle s'exprime par l'inverse du temps nécessaire pour effectuer la phase de développement considéré ($\bar{V} = \frac{1}{t_2 - t_1}$)

soit x_1 l'état de la plante au temps t_1 et x_2 son état au temps t_2 , la vitesse devient $\bar{V} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

On peut alors définir une vitesse instantanée $V = \frac{dx}{dt}$

Certains auteurs, et en particulier, DURAND, ont montré que «dans la mesure où des actions spécifiques de la température et de la durée du jour ne viennent pas modifier profondément l'évolution physiologique des plantes, le **développement est**, dans les conditions naturelles, sous la **dépendance étroite** de la température. Les autres facteurs du milieu, aussi bien édaphiques que climatiques, qui ont une grande influence sur la croissance, semblent n'avoir qu'une

influence négligeable sur le rythme de développement». (Ann. Physiol. végét., 1967, 9, 1, p. 16).

Ce même auteur a montré qu'il était possible de passer de la croissance au développement en transformant la courbe sigmoïde en une droite et en éliminant le paramètre **taille finale** (qui est un terme de croissance), en tant que valeur absolue (même référence p. 20).

La courbe sigmoïde de croissance (après correction dans notre cas) peut être ajustée à plusieurs types de fonctions mathématiques.

ROBERTSON (1908) proposait un ajustement à une fonction tangente hyperbolique :

$$l = \frac{L}{1 + \exp[-k(t-t_0)]}$$

avec l = taille à l'instant t

L = taille finale

t_0 = moment où $l = \frac{L}{2}$

k = constante en conditions de milieu constant

D'autres ajustements ont été proposés (DURAND) : fonctions probabilité totale, sinus, arc - tangente, sinus arc-tangente. Pour notre étude, nous avons retenu une fonction combinant la fonction tangente hyperbolique et une fonction exponentielle :

$$l = L(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Cette dernière fonction n'est en fait admissible que pour la partie de la courbe située au-dessus du point de symétrie.

Dans le premier cas, la fonction tangente hyperbolique a pour inverse :

$$\langle x_1 \rangle = \text{Log} \frac{l}{L-l} = k_1(t-t_0)$$

et dans le second cas, la fonction exponentielle donne :

$$x_2 = \text{Log} \frac{L-l}{L-l} = k_2(t-t_0)$$

k_1 et k_2 représentent des vitesses instantanées de développement

x_1 et x_2 représentent des développements.

Le critère de développement finalement retenu est :

$$x = \text{Log} \frac{l}{L-l} + \text{Log} \frac{L-l}{L-l} = \text{Log} \frac{l}{(L-l)^2}$$

Nous voyons que dans cette expression de « x », l ne figure que dans le rapport $\frac{l}{L-l}$ exprimant une croissance relative. La valeur absolue de la taille finale ne figure plus dans ce terme de croissance relative, car l et L sont réduits dans le même rapport.

« x » sera donc indépendant de « L » en tant que valeur absolue.

La vitesse de développement « k » qui sera liée à la température est :

$$k = \frac{dx}{dt}$$

ou, sur des périodes assez courtes : $k \approx \frac{\Delta x}{\Delta t}$

Calcul pratique du développement :

- « l » est donné par des mensurations quotidiennes, ou horaires ;
- « L » est la longueur finale de la feuille ;
- le point origine de croissance est déterminé, connaissant la longueur du limbe, à partir de la figure 3 ;
- la différence entre hauteur du point origine et hauteur de la référence sur la feuille III permet de corriger « l ».

La figure 4 donne des exemples de transformation des courbes de croissance en courbes de développement.

Remarque : le critère de développement est un nombre sans dimension. La valeur pour notre étude est la suivante :

$$«x» = (\text{Log}_{10} \frac{L-l}{(L-1)2} + 1) \times 100$$

Dans la plupart des cas, dont quelques exemples figurent sur la figure 4, la relation proposée transforme la courbe de croissance observée en une droite (développement proportionnel au temps).

D'un point de vue strict, l'ajustement retenu n'est valable qu'en conditions de milieu constantes. Cette condition est pratiquement réalisée sous climat tropical en choisissant la journée comme échelle de temps.

En effet, sur des périodes assez courtes (de l'ordre de 10 jours) les moyennes thermiques journalières varient très peu. Il en résulte que, dans la mesure où les températures instantanées ne dépassent pas l'optimum thermique de développement, la vitesse journalière de développement est pratiquement constante pour une même feuille (période de 8 à 10 jours).

EVOLUTION DE LA VITESSE DE DÉVELOPPEMENT DURANT LE CYCLE VÉGÉTATIF DU BANANIER

$$«k» = \Delta \text{Log} \frac{L-l}{(L-1)2} / \Delta t$$

Données d'observation et de calcul.

La plantation échelonnée précédemment définie, nous a permis d'obtenir des «cycles végétatifs» complets sur trois lots de bananiers : B - C - D, dont les caractéristiques sont données dans le tableau 2.

(Il existait un lot A, pour lequel les premières mensurations ont débuté trop tardivement).

Deux remarques s'imposent, concernant la longueur du cycle végétatif et l'étalement de la floraison (*).

L'hétérogénéité du matériel de plantation peut être à l'origine de ces variations. Mais d'autres facteurs ont dû intervenir, concernant en particulier la durée respective des stades du «développement végétatif» (**).

Et on peut supposer qu'un facteur donné aura un poids différent selon qu'il agira, avec plus ou moins d'intensité, sur telle ou telle phase du développement.

On détermine, pour chaque feuille émise, une vitesse moyenne de développement « k_j », calculée depuis l'apparition du cigare jusqu'à l'apparition du cigare de la feuille suivante. La vitesse de développement d'une feuille est la moyenne des vitesses de développement journalier durant cette période.

Les résultats obtenus pour trois bananiers par lot, sont reportés sur la figure 5 représentant l'évolution de la vitesse de développement avec le temps, feuille par feuille (*).

L'examen du graphique permet de discerner trois phases distinctes :

- une première phase allant jusqu'à la septième-huitième feuille pour les lots B et C, jusqu'à la neuvième - dixième feuille pour le lot D ; on note une diminution sensible de la vitesse de développement à la fin de cette première phase.
- une deuxième phase débute alors et se termine vers les feuilles 15-16. Elle se caractérise par un palier au cours duquel la vitesse de développement varie peu.
- une troisième phase correspond à une décroissance assez constante de la vitesse de développement.

Remarques : Les valeurs de « k » attribuées aux trois dernières feuilles n'ont qu'une valeur approximative. Nos calculs ne s'appliquent pas rigoureusement dans ces cas là, comme nous l'avons déjà noté (montée de l'inflorescence).

Interprétation.

Par analogie aux travaux déjà effectués sur le développement du bananier (SUMMERVILLE 1944, DUMAS 1955, CHAMPION 1961, TURNER 1971, LASSOUDIÈRE et CHARPENTIER 1972), il apparaît possible d'assimiler ces trois phases aux phases juvéniles, adultes et postflorales, les deux premières seulement représentant le développement végétatif au sens strict.

La première phase juvénile ou de formation, correspond à une phase de développement parasite. Le rejet s'alimente au détriment du pied-mère. Il semble donc normal d'y noter un niveau élevé de développement. Cette phase correspond au stade de formation du rhizome et des racines.

La chute brutale de la vitesse de développement pourrait correspondre au «sevrage» de la jeune plante. La brutalité du phénomène pourrait s'expliquer par des modifications physiologiques. (hormones de croissance)

La deuxième phase ou phase adulte (ou stade préfloral), correspond à une période de développement assez constant. Elle représente en fait la vraie phase de développement végétatif autonome.

La troisième phase correspondrait à la **différenciation florale**, donc à une modification complète des processus de développement et à un changement morphologique au niveau de la zone méristématique (DUMAS, ALEXANDROWICZ, BARKER, CHAMPION).

Il est difficile de vérifier le point de départ de la phase de «différenciation florale» par des observations morphologi-

TABLEAU 2

Lots	Date de plantation	Emission de l'inflorescence	Longueur moyenne du cycle végétatif (en mois)	Etalement de la floraison (en jours)
A	15.12.71	2/8 au 6/9/72	7,5	34
B	15.2.72	20/9 au 2/10/72	7,5	12
C	15.4.72	20/10 au 8/11/72	6,5	19
D	15.6.72	23/12 au 20/2/73	7,5	plus de 50

* - par «floraison», il faut entendre émission de l'inflorescence correspondant en fait au stade de mise à fruit.

** - par «cycle végétatif» ou «développement végétatif», il faut entendre la période se situant entre la plantation et l'émission de l'inflorescence. Cette période n'est végétative qu'en apparence.

* - La feuille n°1 (chiffre arabe) est la première feuille large (limbe ayant une largeur au moins égale à 10 cm).
rappel : la feuille I est la dernière sortie.

ques, car il est impossible de faire des mensurations de cigare et des dissections sur un même bananier.

L'obtention d'un matériel homogène, dans des conditions identiques, pourrait permettre une telle vérification.

Nous avons seulement noté par des dissections que le «dôme méristématique», correspondant aux ébauches florales est inexistant chez des bananiers ayant moins de 14 feuilles et qu'il est souvent présent chez des bananiers ayant plus de 17-18 feuilles.

Certaines remarques intéressantes peuvent être dégagées de la figure 5 demandant à être vérifiées par des observations plus nombreuses :

- Le nombre de feuilles apparaissant durant la phase de différenciation florale semble être assez constant et de l'ordre de 11 à 12 pour le cultivar 'Poyo'. Cette observation est en accord avec les observations effectuées par divers auteurs dans de précédentes études.

- Un allongement de la première phase juvénile semble correspondre à un étalement de la «floraison». Dans le cas de notre étude cet allongement correspond à une période très pluvieuse (lot C : première phase en juillet (470 mm), août (388 mm)).

Cette pluviométrie élevée se traduit par un engorgement du sol et une asphyxie racinaire. Le jeune rejet ayant des difficultés à élaborer son système racinaire, demeure en état de parasitisme prolongé. Cet état a tendance à accentuer l'hétérogénéité de départ qui se repercutera sur les écarts de «floraison».

De plus un allongement de la première phase se traduit par un plus grand nombre de feuilles lors du sevrage présumé. Or certains auteurs (SUMMERVILLE ; CHAMPION, 1962) ont émis l'idée qu'une certaine surface foliaire minimum devait être nécessaire pour que la différenciation florale ait lieu. La phase adulte sera donc souvent plus courte dans le cas de phase juvénile prolongée (cas du lot C). Les répercussions sur la production finale (qualité et poids du régime) sont certainement importantes.

D'après ces quelques exemples, il apparaît possible de déterminer, assez précisément et assez facilement (par mesures d'allongement de cigares), les divers stades de développement du bananier entre la sortie du rejet et l'émission de l'inflorescence. Cette méthodologie pourra être utile pour étudier l'action du climat sur les diverses phases du développement, pour étudier les processus de développement en relation avec les substances de croissance et même dans la pratique pour déterminer le moment optimum d'application de substances de croissance.

LOCALISATION DES ZONES DE CROISSANCE MAXIMUM DANS LE PSEUDO-TRONC

L'objectif de la présente étude étant l'établissement d'une relation entre température effective au niveau des zones d'élongation et le développement du bananier, il nous fallait savoir à quels niveaux dans le pseudo-tronc nous devions mesurer la température. C'est dans ce but que nous avons tenté de localiser les zones d'élongation maximum.

Manipulations : Sur des bananiers de tailles différentes, correspondant aux diverses dates de plantations, des trous horizontaux médians distants de 10 cm sont percés dans le pseudo-tronc entre les niveaux 10 et 100-150 cm.

Deux jours après, on décortique le pseudo-tronc et on mesure les élongations partielles de la feuille (gaine - pétiole - limbe), qui seront exprimées en pourcentage de l'allongement total de la feuille.

Les résultats portés sur la figure 6 sont les élongations moyennes (en p. cent) par niveaux, obtenues avec quatre bananiers par lot. Dans chaque lot, nous avons choisi deux bananiers avec un cigare aux premiers stades de sortie (A - B), et deux bananiers avec un cigare aux stades de déroulement (C - D - E), afin de pouvoir intégrer les variations possibles dues à l'âge de la feuille.

Commentaires :

Élongations moyennes par lot (figure 6).

L'étendue des zones d'élongation significative est nettement liée à l'âge (et à la taille) du bananier.

L'élongation maximum ne se situe jamais à la partie basale, même pour les jeunes bananiers, mais toujours à une certaine hauteur dans le pseudo-tronc, variable avec l'âge du bananier.

Les zones d'allongement cellulaire maximum semblent donc se distinguer nettement des zones de multiplication cellulaire (méristème basal).

Variation des niveaux d'élongation maximum en fonction de l'âge de la feuille.

Les figures 7 a, b, c, d montrent les variations des niveaux d'élongation maximum en fonction de l'âge de la feuille. A l'apparition du cigare, on note une zone de croissance active correspondant à l'allongement de la gaine et une pointe de croissance résiduelle, située à un niveau plus élevé et correspondant à la phase de croissance finale du limbe.

Sur la figure 7 d où a été portée l'élongation d'une feuille avant sa sortie aérienne (phase précigare), la croissance du limbe est encore plus prononcée. A mesure que le cigare s'allonge et jusqu'au déroulement complet du limbe, l'élongation devient de plus en plus régulière dans le pseudo-tronc, toujours entre les mêmes niveaux limites.

Lorsque le limbe est complètement déployé, la croissance de la gaine, alors en phase de ralentissement, devient de plus en plus basale.

Dans l'étude du développement, nous considérons la croissance de la feuille entre la sortie du cigare et le déroulement complet du limbe (apparition du cigare suivant). Durant cette période, les niveaux d'élongation maximum varient relativement peu (hormis une pointe correspondant à la croissance résiduelle du limbe, lors de la sortie du cigare).

Nous utiliserons donc les valeurs moyennes des niveaux d'élongation pour situer les niveaux de mesure des températures (figure 6).

DYNAMIQUE DE LA TEMPÉRATURE DANS LE PSEUDO-TRONC ET VARIATIONS AVEC L'ÂGE DU BANANIER

Dynamique de la température dans le pseudo-tronc.

Tout comme il existe un gradient thermique du sol vers les différentes couches de la basse atmosphère, il existera un **gradient thermique vertical** dans le pseudo-tronc.

Tout échange de chaleur du pseudo-tronc avec le milieu extérieur se traduira par un **gradient thermique horizontal**, niveau par niveau.

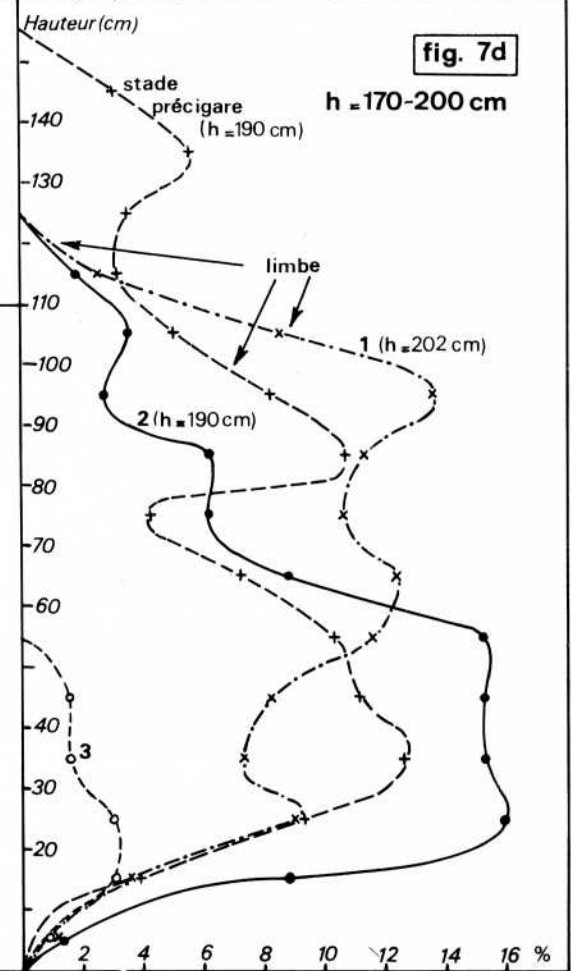
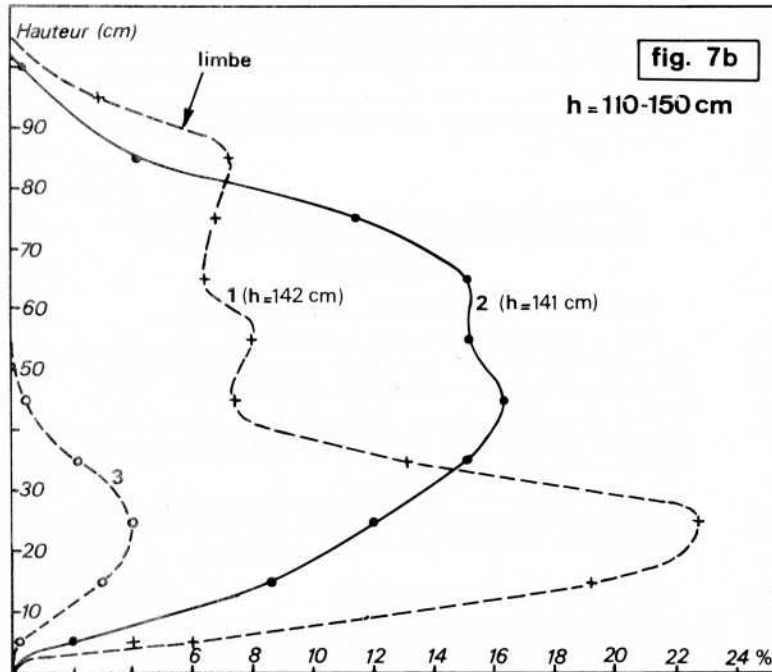
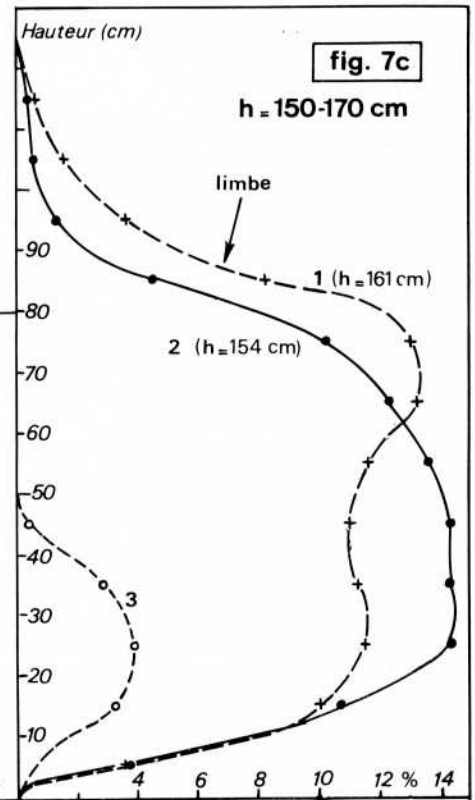
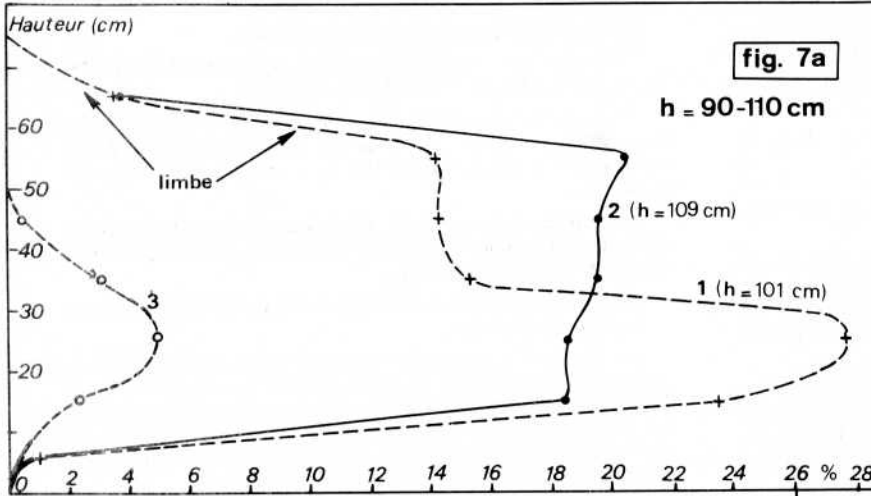
A cette propagation passive de la chaleur, peut se superposer une propagation active, par les flux de sève, mais nous n'avons pas pu mettre ce phénomène en évidence.

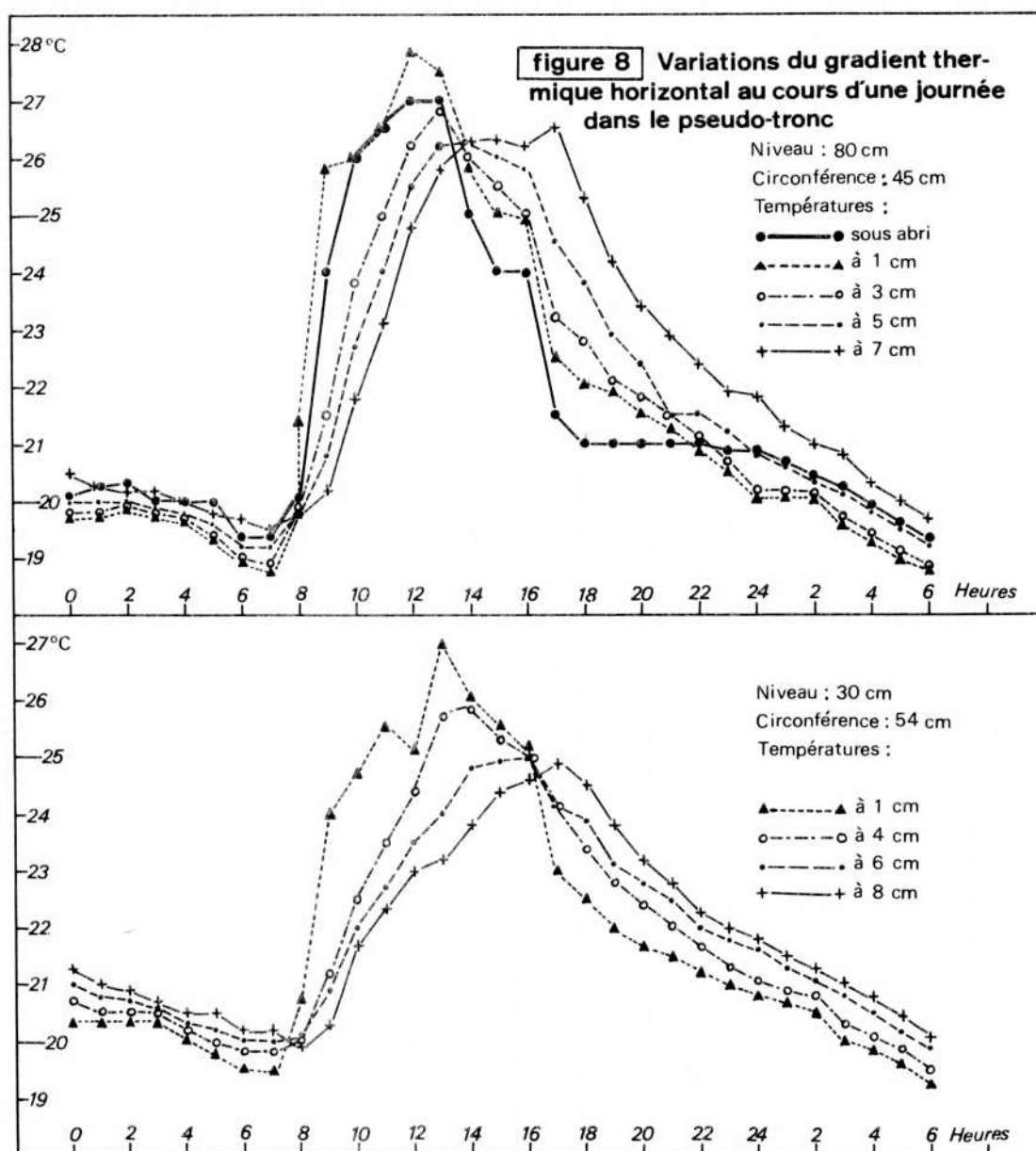
a) Gradient thermique horizontal.

La figure 8 représente l'évolution des températures prises à deux niveaux d'un même pseudo-tronc et à diverses pro-

figure 7 a.b.c.d. Profil d'élongation et âge de la feuille.

- 1 = Cigare jeune (stades A-B).
 - 2 = Cigare plus développé (stades C-E).
 - 3 = Feuille 1 ($\frac{\delta l}{\Delta l} \times 10$).
- h = hauteur du pseudo-tronc en cm.





fondeurs. Le gradient thermique horizontal est net et s'accompagne d'un déphasage des températures, avec réduction d'amplitude, ce processus s'accroissant de la surface vers le centre du pseudo-tronc.

On peut dès à présent présumer que le déphasage entre température ambiante et température au centre du pseudo-tronc sera d'autant plus important que le bananier sera âgé.

Remarque : En mesurant les températures au centre du pseudo-tronc, nous perturbons les zones de croissance active.

C'est la raison pour laquelle nous avons choisi de mesurer la température aux deux-tiers du rayon du pseudo-tronc, température qui se rapproche le plus des températures effectives au niveau des zones de croissance.

Gradient thermique vertical.

Les gradients thermiques verticaux, mesurés sur des

bananiers de diverses tailles sont mis en évidence par les figures 9 a, b, c, d (les températures ont été prises au centre du pseudo-tronc).

Pour un même bananier, les températures varient d'un niveau à l'autre par leur amplitude et par leur déphasage avec une température de référence mesurée sous abri météorologique.

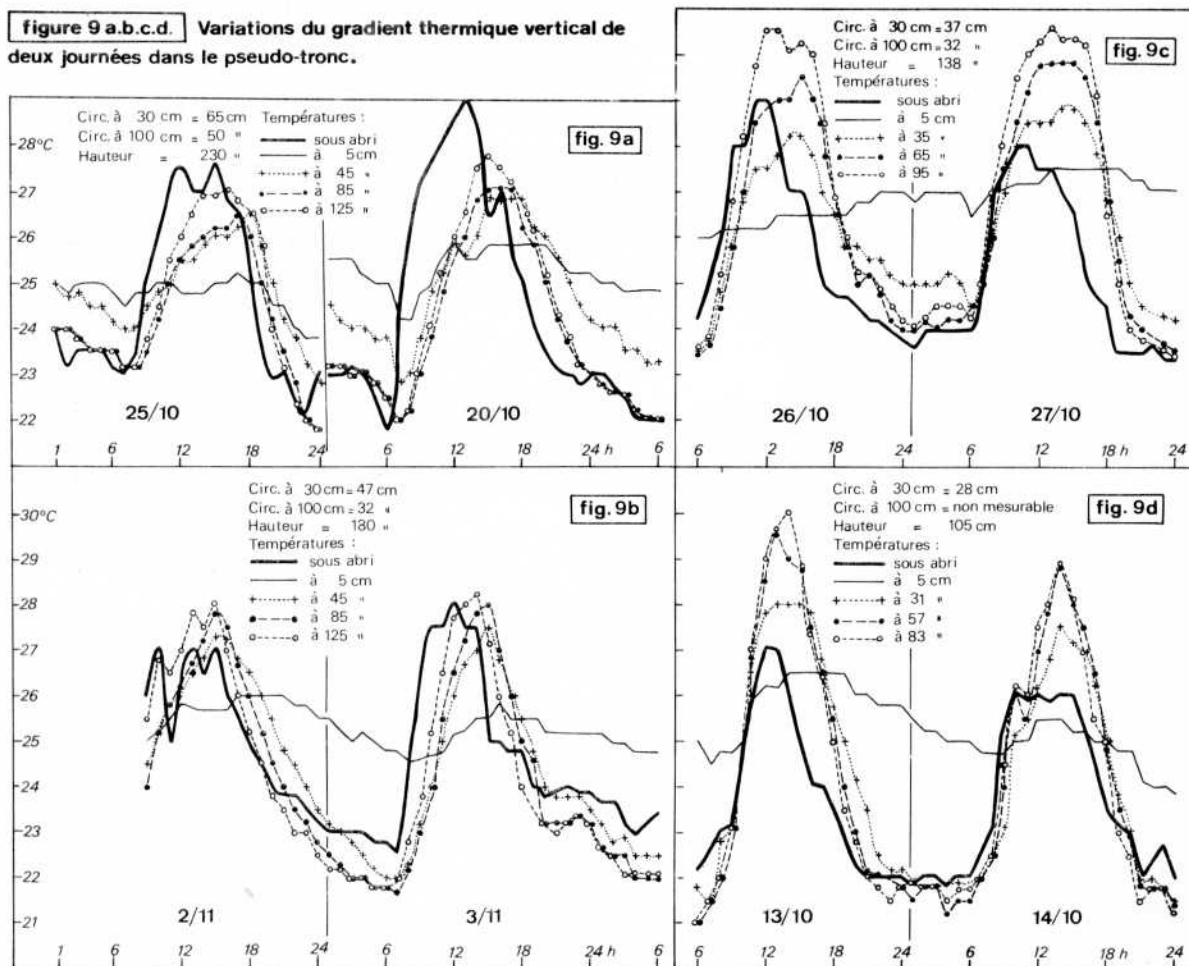
Le type de gradient varie avec la taille du bananier.

Pour des bananiers d'âges différents et pour un même niveau (figure 10), les températures varient par leur amplitude et leur déphasage en fonction de la taille du bananier (diamètre du pseudo-tronc).

Un schéma simplifié du déterminisme des températures à divers niveaux du pseudo-tronc pourrait être celui-ci :

Il existe des gradients thermiques, parfois importants, variables au cours de la journée, dans les premières couches de la basse atmosphère (0 - 2 m). Le type de culture, la

figure 9 a.b.c.d. Variations du gradient thermique vertical de deux journées dans le pseudo-tronc.



densité de plantation, l'enherbement, l'état hydrique du sol, sont autant de composantes de ces gradients.

Le sol a un effet «tampon» : il absorbe l'énergie pendant le jour, et la restitue la nuit. La nature des échanges sera variable avec le type de sol, son état hydrique et sa structure physique.

La surface du pseudo-tronc est soumise à l'action du rayonnement solaire (direct ou diffus), différemment selon la densité et l'âge de la plantation. Cette surface est à la fois réceptrice-émettrice de rayonnement.

Le pseudo-tronc du bananier, soumis à l'action de ces trois composantes, agissant parfois à contretemps, va être le siège de gradients thermiques parfois importants, dont la valeur sera fonction de la taille du bananier.

La figure 11 a, b, c, d, déduite de la figure 7 a, b, c, d, montre l'évolution des profils de température au cours de la journée. La figure 12 compare les profils thermiques du pseudo-tronc à ceux de son environnement proche.

Quelle que soit la taille du bananier, les températures varient très peu dans les parties du pseudo-tronc situées près du niveau du sol (effet tampon du sol).

Un gradient thermique important existe entre les niveaux 0-40 cm, l'importance diminuant avec l'âge du bananier.

Au-dessus de 40 cm, les gradients sont relativement faibles. Les jeunes bananiers, soumis plus directement aux varia-

tions thermiques de l'air ambiant, sont le siège de quelques gradients aux niveaux supérieurs.

Ces quelques observations indiquent qu'il sera difficile de relier directement les températures agissant effectivement au niveau des zones de croissance et les températures sous abri météorologique : amplitudes différentes, déphasages variables (même d'un niveau à l'autre d'un même pseudo-tronc); combinaison des températures de l'air, des températures du sol et du rayonnement émis ou reçu par la surface du pseudo-tronc ; rôle de tous les facteurs perturbateurs liés à la structure de la culture et à la taille de la plante.

L'obtention d'une relation ne semble possible qu'à une échelle de temps assez grande (journée).

RELATION ENTRE TEMPÉRATURE ET DÉVELOPPEMENT

Compte tenu des observations précédentes, nous avons essayé de relier les températures agissant effectivement au niveau des zones de croissance à la vitesse de développement précédemment définie.

Le développement du système foliaire.

Les bananiers retenus pour cette étude sont choisis en phase adulte (de 10 à 14 feuilles), c'est-à-dire durant une période de développement non perturbée correspondant à la phase végétative autonome.

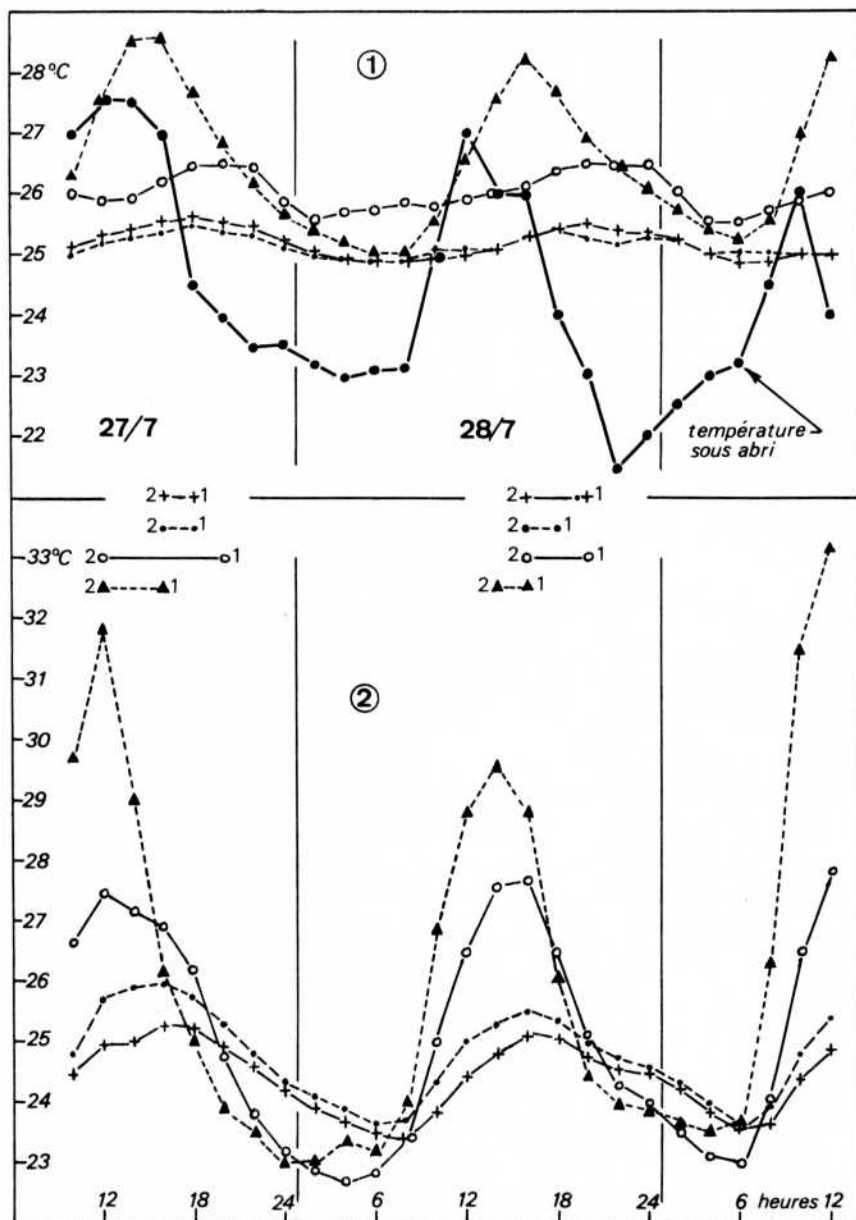


figure 10 Variations des températures (mesurées au 2/3 du rayon) avec l'âge du bananier.

- ① Niveau 5 cm
- ② Niveau 45 cm

Lot	Age (mois)	Circonf. (cm)	Hauteur (cm)
+—+—+	8	76	235
•—•—•	6	61	197
o—o—o	4	49	168
▲—▲—▲	2	24	83

Mise en évidence du déphasage de températures entre niveaux et bananiers d'âges différents :

2+—+1 ... 2•—•1

Les points 2 et 1 correspondent respectivement aux maximums de température dans les figures ② et ①.

Les tracés figurés entre 2 et 1 indiquent à quelles courbes appartiennent ces températures maximums.

La longueur des segments 2—1 représente le déphasage entre un maximum du niveau ② et un maximum du niveau ①.

La vitesse de développement sera exprimée par

$$k = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta \log_{10} \frac{Ll}{(L-l)^2}}{\Delta t}$$

avec Δt = heures

Les mesures sont effectuées par tranches de deux heures entre 7 h et 17 h, représentant le développement diurne. Le développement entre 17 h et 7 h représente le développement nocturne.

Gammes de températures étudiées.

Variations naturelles de températures.

Dans les conditions de Neufchâteau, les variations de températures moyennes journalières sont faibles au cours de

l'année.

Aussi n'est-il pas possible de compter sur de telles variations pour prospecter une gamme suffisamment étendue de températures. En effectuant des mesures par tranches de deux heures, nous tirons profit des amplitudes diurnes et nocturnes (la gamme de températures moyennes obtenues ainsi dans le pseudo-tronc va de 22 à 27°C).

Création de conditions thermiques artificielles.

Les variations naturelles ne nous fournissant pas une gamme de températures suffisamment large, nous avons essayé de placer le pseudo-tronc dans des ambiances artificielles, plus chaudes ou plus froides.

Les pseudo-troncs des bananiers choisis en phase adulte, ont une hauteur variant entre 90 et 110 cm. Les niveaux

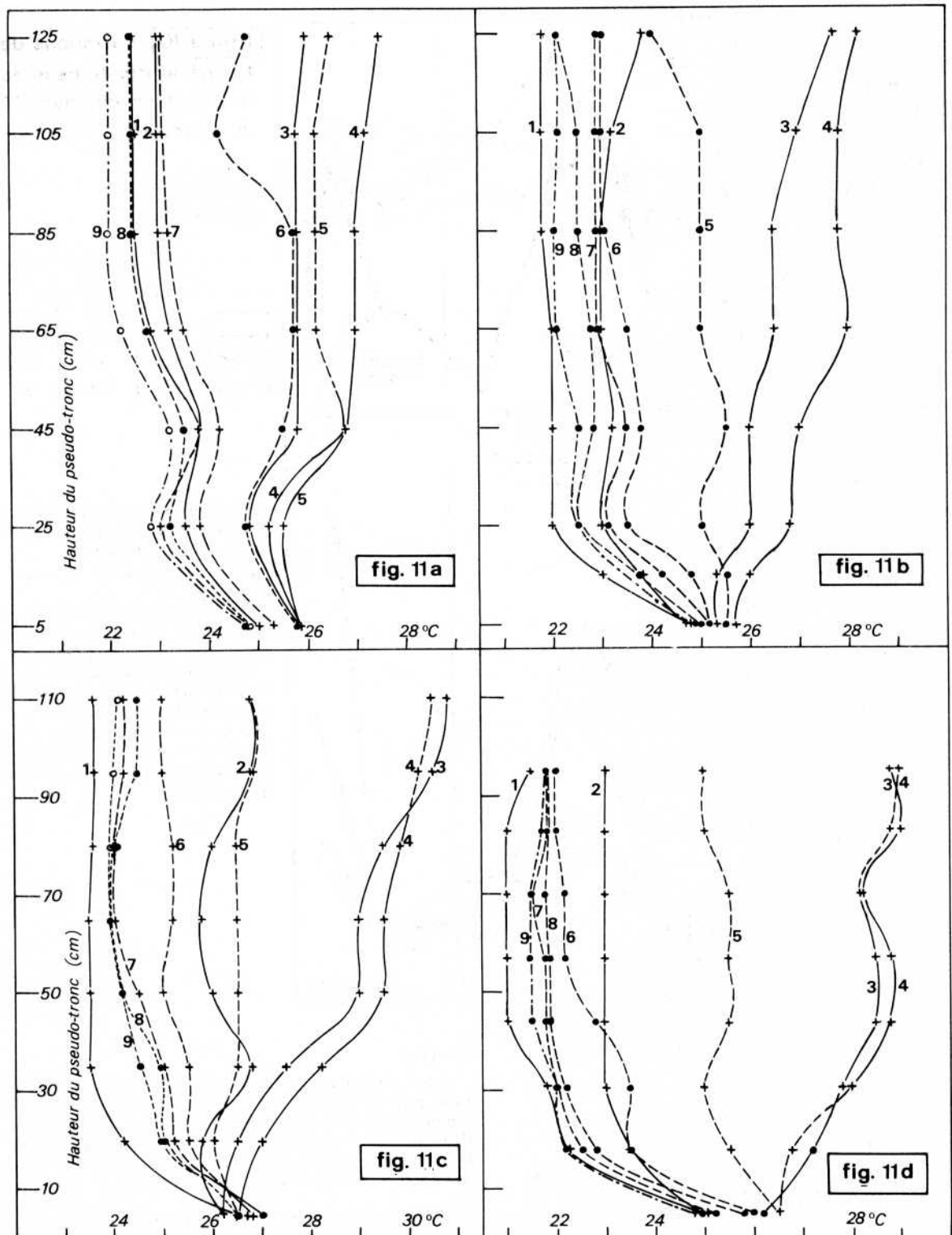


figure 11 a.b.c.d. Variations du profil thermique vertical dans le pseudo-tronc, au cours d'une journée et par tranche de trois heures.
 1 = 6h, 2 = 9h 8 = 3h, 9 = 6h (— = températures montantes, - - - = températures décroissantes).
 Les caractéristiques des bananiers (circonférence, hauteur) sont les mêmes que sur la figure 9 a.b.c.d.

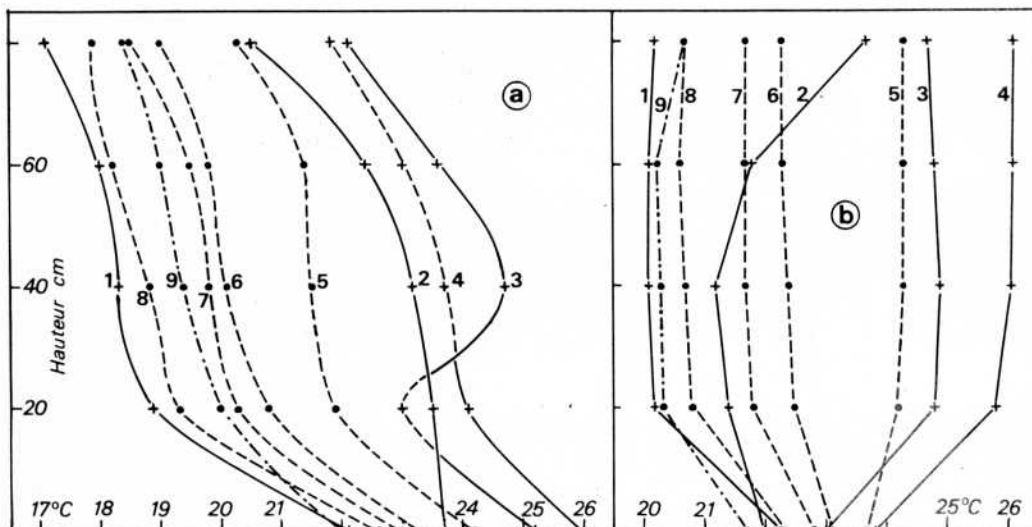


figure 12 Evolution comparée des profils thermiques verticaux au cours d'une journée.

- (a) Environnement proche (1m) du bananier : sol = 5 cm ; niveaux = 20-40-60-80 cm.
- (b) Pseudo-tronc du bananier : niveaux = 0-20-40-60-80 cm ; hauteur du bananier 154 cm ; circonférence : à 30 cm = 39 cm ; à 100 cm = 32 cm

1 = 6h, 2 = 9h, 8 = 3h.

d'élongation maximum se situent donc entre 5 et 70 cm, ce qui conditionne la taille minimum des enceintes utilisées.

Basses températures : une enceinte en polystyrène expansé à trois étages est placée autour du pseudo-tronc entre les niveaux 5 et 70 cm. Cette enceinte est remplie quotidiennement de glace. La température mesurée dans le pseudo-tronc sera fonction de la quantité de glace placée dans l'enceinte. La température moyenne la plus basse obtenue dans le pseudo-tronc a été de 8°C.

Hautes températures : une enceinte cubique en bois de 1 m³ entoure le pseudo-tronc. Deux séries de quatre lampes (de 20 à 100 W) permettent de faire varier la température à l'intérieur de l'enceinte.

La température moyenne la plus élevée obtenue dans le pseudo-tronc a été de 41°C.

Niveaux de mesure de la température et calcul de la température moyenne.

Les températures du pseudo-tronc sont mesurées aux deux tiers du rayon à cinq niveaux (10 - 25 - 40 - 55 - 70 cm), par l'intermédiaire de sondes piqueuses à thermocouples.

Dans le cas d'ambiances artificielles, les mesures de températures ne peuvent être effectuées que sur le bananier dont on mesure le développement. Par analogie, nous avons procédé de même en conditions naturelles.

La température moyenne utilisée a été calculée en tenant compte du graphique d'élongation dans le pseudo-tronc (figure 6). En effet, une température agissant au niveau d'élongation maximum, aura plus de poids que toute autre.

Compte tenu de ce graphique, nous avons affecté un coefficient par niveau à chaque température :

Niveau du pseudo-tronc (cm)	Coefficient d'élongation
10	17
25	32
40	25
55	23
70	3
Total	100

Exemple de calcul :

Température par niveau
 10 cm = 22°C
 25 cm = 23°C
 40 cm = 25,2°C
 55 cm = 25,5°C
 70 cm = 25,7°C

Température moyenne = $(22 \times 17) + (23 \times 32) + (25,2 \times 25) + (25,5 \times 23) + (25,7 \times 3) = 24^\circ\text{C}$.

Discussion de la méthode.

Les coefficients affectés à chaque température ne correspondent pas exactement au potentiel d'élongation du point de mesure. Ces coefficients sont des coefficients moyens et nous avons vu que, en fonction de l'âge de la feuille, les zones d'élongation pouvaient varier quelque peu.

Notre procédé de calcul suppose qu'entre deux points de mesures les variations de températures, ainsi que les variations de coefficient d'élongation soient linéaires. En fait les graphiques de gradient vertical de température et de profil d'élongation, montrent que cette supposition n'est pas toujours exacte.

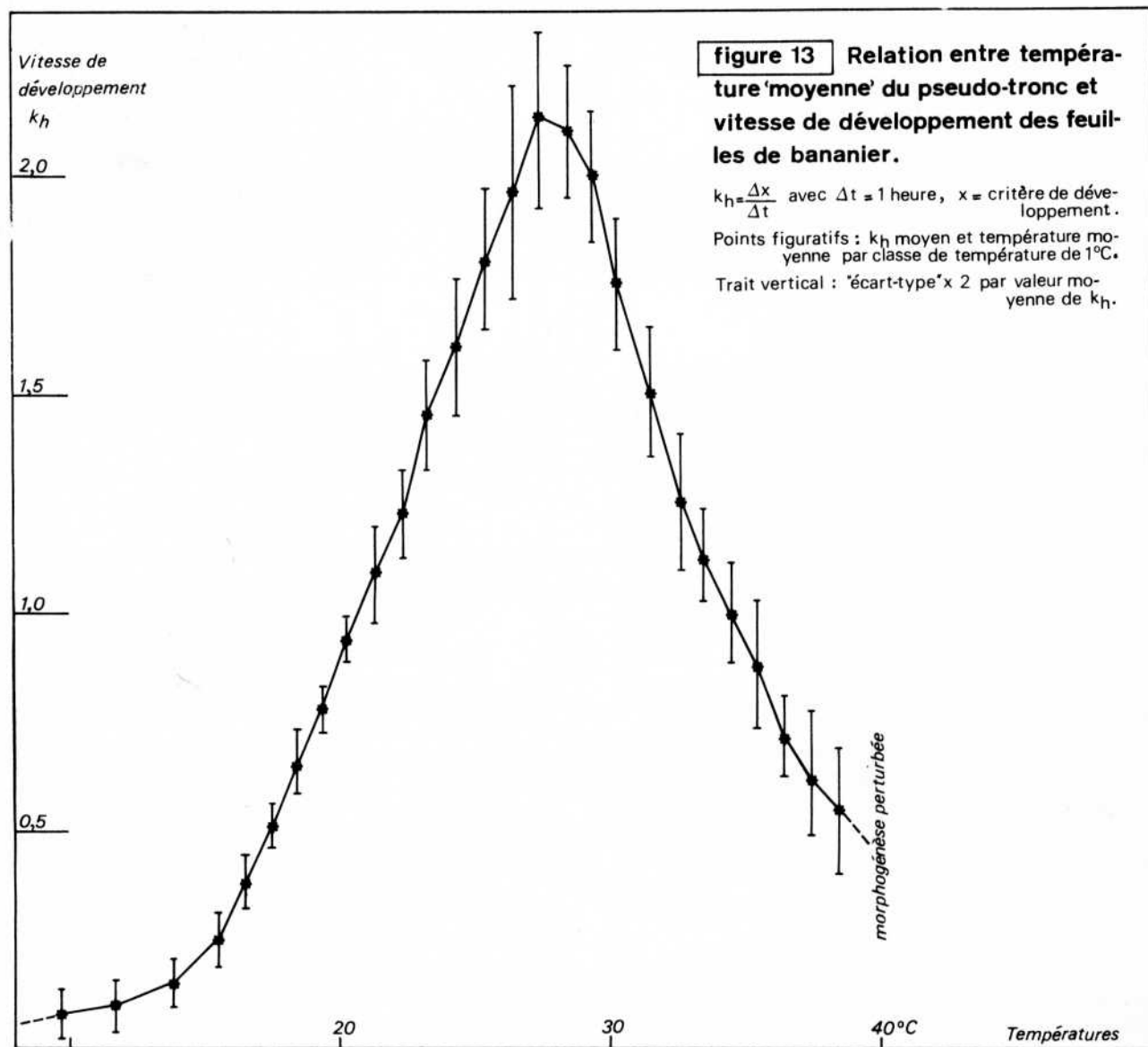
Un problème assez délicat se pose pour les températures du pseudo-tronc voisines de l'optimum thermique de développement. Si au cours du laps de temps entre deux mesures, certaines températures passent par l'optimum thermique, leur valeur sera faussée par le calcul de la moyenne.

Supposons par exemple que l'optimum thermique soit de 28°C. Si en deux heures la température d'un point du pseudo-tronc passe linéairement de 27 à 29°C, la moyenne de température sera de 28°C pour ce point ; mais le développement sera inférieur au développement qui aurait été obtenu avec une température optimum constante.

A priori nous ne connaissons pas cet optimum thermique. Aussi pour les températures supérieures à 24-25°C a-t-il été nécessaire de travailler sur de faibles variations thermiques dans le temps avec de faibles gradients dans l'espace. Cet inconvénient explique en partie la variation plus grande des résultats aux alentours de l'optimum thermique.

Résultats obtenus.

Les couples de valeurs «vitesse de développement -



température» ont été portés sur la figure 13. Les points expérimentaux s'ajustent assez bien à une courbe classique d'action de la température sur les végétaux.

Le développement s'annule pratiquement pour des températures de l'ordre de 9-10°C.

Entre 10 et 18°C, la variation est de type exponentiel. Elle devient linéaire entre 18 et 26°C. La vitesse de développement est maximale entre 26 et 29°C, l'optimum thermique se situant aux environs de 28°C.

La vitesse de développement décroît ensuite rapidement, devenant très faible vers 40°C. Les hautes températures ne manifestent pas seulement par un ralentissement de développement, mais par une modification morphologique du feuillage. Au-dessus de 38°C, les feuilles qui apparaissent sont très déformées, avec un limbe étroit et court, se réduisant souvent au pétiole.

Les basses températures n'affectent pratiquement pas la morphogénèse, lorsqu'elles se situent au-dessus de 13°C.

Les températures plus basses provoquent une réduction de taille des limbes en cours de croissance active (cigare non encore sorti).

Toute température inférieure à 9-10°C, outre un arrêt momentané, provoque un blocage définitif pour les feuilles en croissance active (probablement par «gel» cellulaire). Le bananier pourra émettre de nouvelles feuilles si la zone méristématique n'a pas été atteinte.

Remarque - Pour les températures voisines de l'optimum thermique, les points expérimentaux varient beaucoup autour de la moyenne (écarts-types élevés).

Ces variations peuvent en partie être imputées à la méthodologie employée.

Cependant, nous pensons qu'au voisinage de l'optimum thermique, la température n'étant plus facteur limitant, le poids de tous les autres paramètres du développement est très amplifié.

En conditions thermiques non optimales, l'effet de ces facteurs est «étouffé» par le rôle déterminant de la température, mais à l'optimum, ils peuvent s'exprimer avec une intensité accrue. En particulier, l'effet de l'hétérogénéité du matériel végétal est amplifié à l'optimum thermique.

Il serait donc très intéressant de disposer de bananiers au maximum de leur potentiel et pour lesquels le seul élément de variation serait d'ordre thermique.

Discussion des résultats.

Les résultats obtenus concernent l'action des températures effectives au niveau des zones de croissance sur la vitesse de développement végétatif du bananier («k»), durant la **phase adulte**.

Nous avons placé le pseudo-tronc dans des conditions thermiques artificielles. Mais toutes les autres parties du bananier, et en particulier les limbes, pétioles et racines, étaient soumises aux conditions naturelles.

Or ces organes réagissent aux conditions climatiques (photosynthèse, activité stomatique, respiration, transferts d'eau, etc.) et interviennent donc activement dans la croissance.

Les hautes températures, souvent liées à des déficits hydriques importants entraînent la fermeture des stomates, une réduction de la photosynthèse, un repliement de 2 demi-limbes, autant de phénomènes qui peuvent être liés à un arrêt momentané de l'allongement, d'où annulation de la vitesse de développement.

Les basses températures du sol provoquent un ralentissement de croissance des racines (avec arrêt à 10°C selon GOTTREICH) ainsi qu'un ralentissement de l'activité biologique des micro-organismes et des processus chimiques d'absorption autant de facteurs qui peuvent perturber le développement du bananier.

Il serait donc maintenant utile de compléter cette étude en plaçant la plante entière en conditions contrôlées afin d'aborder l'action des éléments du climat qui, intervenant directement sur la croissance, peuvent perturber le développement.

La vitesse de développement «k», ne représente qu'une approche du développement végétatif du bananier et non le développement réel.

Dans cette étude, nous n'avons considéré que la **phase adulte** de développement du bananier. Il n'est pas certain que l'action de la température soit la même durant les autres phases du développement. D'autres facteurs peuvent alors avoir un rôle important (Nous avons déjà attribué l'allongement de la phase juvénile à une forte pluviosité dans le cas du lot C). De plus, les bananiers ayant été choisis en première génération, il n'est pas certain que l'action de la température soit la même en deuxième et troisième génération.

Pour passer à l'application pratique de ces résultats il est indispensable de relier le développement aux températures mesurées sous abri météorologique.

Il s'agira donc de relier les températures du pseudo-tronc aux températures sous-abri, relation ne pouvant s'obtenir facilement qu'à l'échelle des moyennes journalières.

CONCLUSION

Les points les plus importants à retenir sont les suivants :

1) Il apparaît possible de suivre le développement du bananier entre la sortie du rejet et l'émission de l'inflorescence par simples mesures journalières (ou même tous les deux ou trois jours) de l'allongement du cigare et calcul d'une vitesse de développement (linéarisation et suppression du terme longueur finale).

2) Sur bananier de première génération, cette méthode permet de distinguer avec une assez bonne précision trois phases principales :

- une phase juvénile perturbée par la vie en parasite sur le pied-parent et se terminant par le «sevrage» de la jeune plante,

- une phase adulte correspondant à la phase végétative autotrophe,

- une phase de différenciation florale se terminant à l'émission de l'inflorescence.

Une phase, antérieure à la phase juvénile, existe. Elle correspond à la période d'inhibition de développement du rejet par le pied-parent, caractérisée par l'émission de feuilles lancéolées.

La durée respective de chacune de ces phases est assez variable et doit dépendre de divers facteurs édaphiques et climatiques.

3) L'action de la température n'a, dans un premier temps, été étudiée que sur la phase adulte qui correspond à une période de développement relativement stable.

4) Compte tenu des profils d'élongation des diverses parties de la feuille dans le pseudo-tronc et des gradients thermiques de ce dernier, nous avons essayé de relier la vitesse de développement avec une température moyenne du même organe.

L'arrêt du développement se situe vers 9-10°C pour les basses températures et vers 38-40°C pour les hautes températures. Toute température se situant en dehors de la gamme 10-40°C se manifeste par un arrêt irréversible du développement des feuilles en cours de croissance (mort cellulaire).

L'optimum thermique se situe autour de 28 °C. A l'optimum nous remarquons que la température n'intervient plus seule sur le développement, mais que d'autres facteurs (génétiques, édaphiques et climatiques) «étouffés» par l'action dominante de la température en dehors de l'optimum, s'expriment alors plus intensément.

Reste à connaître la nature de ces facteurs et par là même les composantes principales du **potentiel du bananier**.

Les applications pratiques des résultats obtenus peuvent être de deux ordres :

- Il apparaît possible de suivre le développement végétatif du bananier par simple mensuration du cigare. La longueur finale de la feuille nécessaire au calcul de la vitesse de développement ne peut être connue qu'a posteriori. Pour suivre le développement au jour le jour, il sera possible d'utiliser une valeur estimée de la longueur finale (par extrapolation à partir des longueurs des feuilles précédentes).

- La connaissance du mode d'action de la température sur le développement, ainsi que des niveaux d'action dans le pseudo-tronc, pourra permettre de déterminer plus rigoureusement les limites écologiques et géographiques de développement normal du bananier, ainsi que les techniques agronomiques à prévoir en zones thermiquement marginales

(gainage des pseudo-troncs, paillage, buttage, plantation plus ou moins dense, etc.).

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. R. DURAND, Maître de Recherche à la Station centrale de bioclimatologie (CNRA - Versailles) pour sa fructueuse collaboration et en particulier pour tous les conseils et critiques qu'il a accepté de formuler tout au long de cette étude.

Notre gratitude va également à nos collaborateurs de la Station de Neufchateau, et en particulier à M. D. SIOUSSA-RAM, pour leur participation et la confiance que nous avons pu leur accorder.

ANNEXES

Situation climatique de la Station de Neufchateau (Guadeloupe).

Climat tropical insulaire. Régime d'alizés d'est.
Altitude : 250 m.
Distance à la mer : 4 km.

Normes climatiques (1956 à 1970).

Pluviométrie :

Hauteur de pluie par année : 3833 mm
Nombre moyen de jours de pluie : 285 jours
Mois les plus pluvieux : juillet (366 mm) ; août (365) ; septembre (402) ; octobre (419) ; novembre (424)
Mois les moins pluvieux : janvier (214 mm) ; février (154) ; mars (173).
Saisons intermédiaires : avril (284) ; mai (379) ; juin (329) ; décembre (330).

Températures : variations relativement faibles au cours de l'année :

moyenne annuelle : 23°C
moyenne du mois le plus froid : 22°C (janvier - février)
minimales moyennes du mois le plus froid : 17,8°C (février)
moyenne du mois le plus chaud : 24,4°C (août)
maximales moyennes du mois le plus chaud : 28,4°C

Hygrométrie nocturne souvent voisines de la saturation

Insolation : variations très faibles au cours de l'année
annuelle : 2406 heures
mois le plus ensoleillé : 200 heures (mars et août)
mois le moins ensoleillé : 176 heures (février et juillet).

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDROWICZ (L.). 1955.
Etude de l'inflorescence du bananier nain.
IFAC, Annales 9, 1.
- BARKER (W.G.) et STEWARD (F.G.). 1962.
Growth and development of the banana plant. (Parts 1 and 2).
Annals of Botany, N.S., vol. 26, n°103, 1962.
- BARKER (W.G.). 1969.
Growth and development of the banana plant (Part 3) : Gross leaf emergence.
Annals of Botany, 33, 523-35, 1969.
- CHAMPION (J.). 1961.
Indications préliminaires sur la croissance du bananier 'Poyo'.
Fruits, vol. 16, n°4, 1961.
- CHAMPION (J.). 1963.
Le bananier.
Maisonnette et Larose, Paris.
- DUMAS (J.).
Contribution à l'étude du développement du bananier nain. (Les étapes du développement).
Fruits, vol. 10, n°8, 1955.
- DURAND (R.).
Action de la température et du rayonnement sur la croissance (1967).
Annales de Physiologie végétale, INRA, 1967, 9, 1, 5-27.
- DURAND (R.), de PARCEVAUX (S.) et ROCHE (P.). 1967.
Action de la température sur la croissance et le développement du lin.
Ann. Physiol. végét., 9, 1, 87-105.
- GESLIN (H.). 1944.
Etude des lois de croissance d'une plante en fonction des facteurs du climat.
Thèse Fac. Sci. Paris.
- GREEN (G.C.) and KUHNE (F.A.). 1970.
The response of banana foliar growth to widely fluctuating air temperatures.
Agroplantae, 2, 105-107, 1970.
- LASSOUDIÈRE (A.) et CHARPENTIER (J.M.).
La vitesse de sortie des feuilles du bananier cultivar 'Poyo'.
Fruits, vol. 26, n°6, 1971.
- LASSOUDIÈRE (A.).
Evolution des caractéristiques des inflorescences avant leur sortie du faux-tronc du bananier.
Fruits, vol. 27, n°1, 1972.
- ROBERTSON. 1908.
Archiv für Entwicklungsmech. Org., 25, 581.
(cité par R. DURAND).
- SUMMERVILLE (W.A.). 1944.
Studies on nutrition as qualified by development in *Musa cavendishii* LAMB.
Queensland Journal of Agriculture Science, 1, 1.
(cité par plusieurs auteurs).
- TRELEASE (S.F.). 1923.
Night and day rates of elongation of banana leaves.
Philippine Journal of Science, 23, 85.
(cité par plusieurs auteurs).
- TURNER (D.W.). 1971.
Gross morphology of banana plant growth (1 and 2).
Australian Journal of experimental Agriculture and Animal Husbandry, vol. 12, 1972.
- TURNER (D.W.). 1971.
Effects of climate on rate of banana leaf production.
Trop. Agriculture (Trinidad), vol. 28, n°3.