

# RECHERCHE D'UNE LOI D'ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CROISSANCE DES FRUITS DU BANANIER

J. GANRY et J.P. MEYER

RECHERCHE D'UNE LOI D'ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CROISSANCE DES FRUITS DU BANANIER

J. GANRY et J.P. MEYER (IFAC)

*Fruits*, juin 1975, vol. 30, n°6, p. 375-392.

**RÉSUMÉ** - La température apparaît avoir une action prépondérante sur la vitesse de croissance en grade des fruits du bananier. Deux méthodes d'analyse sont utilisées pour mettre en évidence cette action.

Dans une première partie, on utilise une méthode analytique par ajustement polynomial. Une analyse jusqu'au 6<sup>e</sup> degré montre que l'ajustement linéaire est acceptable dans la gamme thermique prospectée (18 - 29°C) et met en évidence un infléchissement de la courbe d'action vers 28 - 30°C. Le coefficient thermique de croissance  $\alpha_{\theta}$  est de  $8,1 \cdot 10^{-4}$  mm/degré.heure.

Dans une deuxième partie, on analyse la croissance globale des fruits en fonction des sommes de températures hebdomadaires cumulées depuis la première mesure. On aboutit à un coefficient thermique de croissance  $\alpha_{\theta}$  de  $8,3 \cdot 10^{-4}$  mm/degré.heure.

Le facteur hydrique semble intervenir en facteur limitant.

On met en évidence l'influence du potentiel végétatif du bananier sur  $\alpha_{\theta}$ .

La loi d'action de la température ainsi obtenue pourra être utilisée comme base fiable d'une méthode de prévision de la date de récolte du bananier.

## INTRODUCTION

La production bananière aux Antilles connaît des fluctuations saisonnières très importantes.

Les planteurs doivent pourtant être en mesure de prévoir leur production afin que les compagnies de transport puissent établir un planning de fret.

Pour effectuer ces prévisions, ils ne disposent que d'éléments très empiriques, basés sur des normales saisonnières. Les risques d'erreurs sont importants car les fluctuations climatiques saisonnières sont très irrégulières aux Antilles.

Au cours des dernières années, de nombreux exemples

ont pu illustrer ces erreurs de prévision. Elles se traduisent en certains cas, par un excès de production par rapport au fret prévu, aboutissant à la perte nette du tonnage non exporté, en d'autres cas par l'impossibilité d'assurer un bon remplissage des navires.

Il apparaissait donc nécessaire d'envisager de mettre à la disposition de la profession un moyen de mieux prévoir sa récolte, afin de pouvoir modifier assez tôt le planning du fret.

Les variations d'intervalle fleur-coupe étant surtout dues à des variations climatiques, nous avons essayé d'analyser le plus précisément possible l'action du climat sur la croissance des fruits.

L'intervalle fleur-coupe peut être considéré comme l'intervalle séparant deux stades de développement, l'émission de l'inflorescence et le point de coupe défini assez approxi-

\* - J. GANRY, Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC), Station de Neufchâteau, 97135 SAINTE MARIE, Guadeloupe.  
J.P. MEYER - Institut français de Recherches fruitières Outre-Mer (IFAC), B.P. 153 - FORT DE FRANCE, Martinique.

mativement par un indice de plénitude. Le point de coupe correspond à un stade défini pour des raisons d'exploitation et de normes commerciales. Le véritable stade final, non observé, est la fin du grossissement marquée par un éclatement du péricarpe ou un début de pourriture.

Or, dans la mesure où certaines actions spécifiques de la température ou de la photopériode ne viennent pas modifier le rythme de développement, la température apparaît avoir une action prépondérante sur la vitesse de développement. (DURAND, 1967).

Il est donc logique de penser que la température aura une action déterminante sur l'intervalle fleur-coupe - (IFC).

Certaines constatations mettent en évidence cette action. Ainsi en zones d'altitude, plus fraîches, l'IFC est beaucoup plus long qu'en zones basses (IFC variant de 80 à 140 jours). Les variations saisonnières sont également importantes avec des IFC plus longs durant la saison fraîche (de décembre à mai).

Divers auteurs ont montré également l'action prépondérante de la température sur l'intervalle fleur-coupe. En Afrique du sud, KUHNE et KRUGER (6) utilisent les sommes thermiques (avec seuil de 11° C) des trois mois suivant l'émission de l'inflorescence. Au Honduras, HORD et SPELL (5) ont montré qu'il existait une très bonne corrélation entre l'IFC et la température moyenne durant cette période. Ces mêmes auteurs indiquent que l'insolation n'a qu'une faible action par rapport à la température et montrent le rôle limitant du facteur hydrique en période sèche.

Il semble en effet que les facteurs climatiques autres que thermiques (hydriques en particulier) ou édaphiques agissent beaucoup plus comme facteurs limitants ou comme agents modificateurs de la température (rayonnement, insolation).

Nous avons déjà signalé le caractère assez approximatif de l'intervalle fleur-coupe dû à l'imprécision du point de coupe.

On remarque que cette phase de développement est intimement liée au processus de croissance en épaisseur (grade) du fruit.

On peut donc penser que tout facteur agissant sur l'IFC, la température en particulier, aura une action sur la vitesse de croissance en grade.

Nous avons donc étudié l'action de la température sur la vitesse de croissance en épaisseur, qui, moyennant certaines transformations et dans certaines conditions, peut pratiquement être assimilée à une vitesse de développement.

Dans une première partie, nous avons essayé d'analyser le plus finement possible l'action de la température sur la vitesse de croissance des fruits afin de mettre en évidence la loi d'action de la température et l'existence éventuelle d'un optimum thermique.

Dans une deuxième partie, nous avons essayé d'analyser l'action du facteur thermique sur la croissance globale du fruit afin de mettre en évidence l'action limitante d'autres facteurs et de se rapprocher de l'objectif de prévision de récolte.

## ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CROISSANCE DES FRUITS A L'ÉCHELLE HEBDOMADAIRE

A priori, il n'est pas possible de savoir quel est le mode d'action de la température sur la croissance des fruits du bananier. En particulier, nous ne savons pas quel est l'optimum thermique de croissance et dans quelle gamme de températures il est possible de considérer l'action thermique comme linéaire.

Une première analyse doit donc consister à voir si les gammes de températures rencontrées aux Antilles (15-32°C représentant les minimales et maximales absolues) correspondent à une action linéaire sur la croissance des fruits. Il est nécessaire pour cela d'explorer une gamme de température suffisamment large en considérant des unités de temps relativement courtes.

Un problème se pose également au niveau de l'allure de la courbe de croissance des fruits.

Comme nous le montrent des études antérieures [LAS-SOUDIÈRE (7), TURNER (13), SIMMONDS (12)] et comme nous le confirment nos observations, la courbe de croissance en grade du fruit (figure 1) présente un aspect curviligne (grade = diamètre pris perpendiculairement au plan de courbure du fruit et à mi-longueur).

A moins d'essayer de faire un ajustement qui transformerait cette courbe en droite, il apparaît audacieux de relier un accroissement limité dans le temps (hebdomadaire dans notre cas) à la température, car il n'est pas possible de savoir quelle est la part «allure de la courbe» et la part «action de la température». La croissance  $y(t)$  en épaisseur du fruit n'étant pas linéaire  $y(t) \neq at + b$  en conditions climatiques constantes, la vitesse de croissance  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$  n'a pas une valeur constante au cours du temps. En  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$  conditions thermiques variables,  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$  varie, comme précédemment, de par la non-linéarité de  $\frac{\Delta y}{\Delta t}$  la courbe de croissance (part «allure de la courbe») et varie aussi en fonction de la température (part «action de la température»).

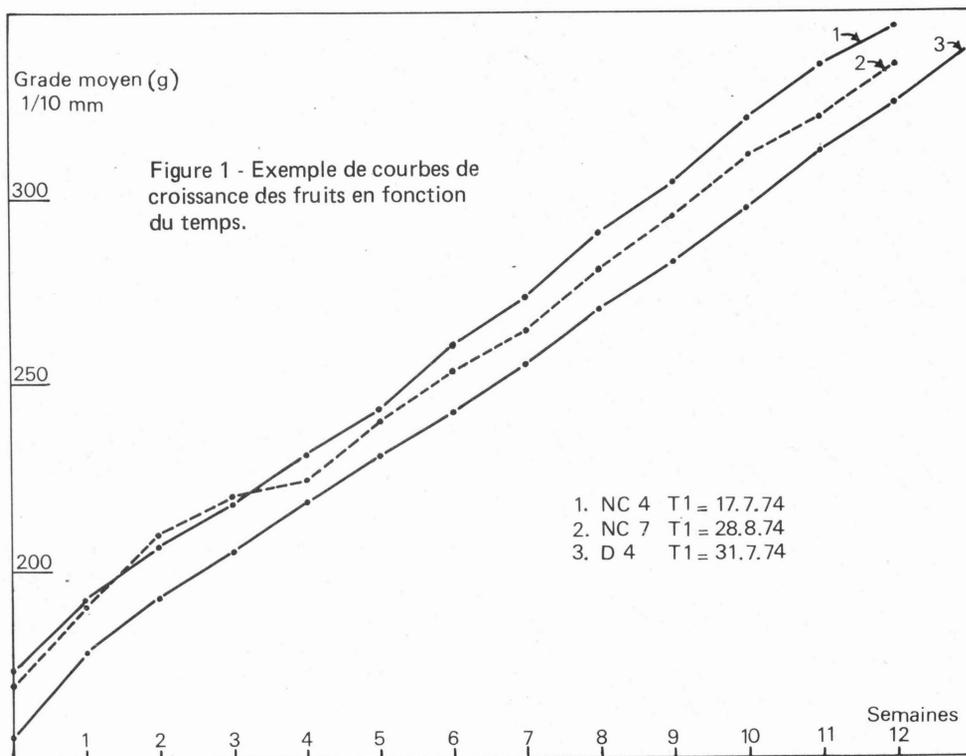
Le choix des méthodes d'observation et d'interprétation des données a, dans un premier temps, été guidé par ces deux contraintes :

- la loi d'action de la température n'est pas a priori linéaire dans la gamme de température étudiée
- la courbe de croissance des fruits n'est pas une droite.

### Méthode expérimentale.

Des mesures de fruits (cultivar Poyo) ont été réalisées de février 1972 à décembre 1973 dans six plantations situées dans des sites écologiques les plus divers de la zone bananière de la Guadeloupe (île de la Basse Terre) :

- Trois-Rivières (Grand-Maison) - 400 m d'altitude au sud-est de la Basse-Terre,
- Capesterre (Dumanoir) - 250 m d'altitude à l'est-sud-est de la Basse-Terre,
- Capesterre (Blondinière) - 50 m d'altitude à l'est-sud-est de la Basse-Terre,



- Goyave (Moreau) - 200 m d'altitude au centre-est de la Basse-Terre,
- Petit-Bourg (Vernou) - 300 m d'altitude à l'est-nord-est de la Basse-Terre,
- Baillif (Grand Marigot) - 600 m d'altitude au sud-ouest de la Basse-Terre.

Le dispositif de mesure a été établi de telle sorte que des fruits d'âges différents (avec décalages de une semaine) soient mesurés chaque semaine, afin de pouvoir intégrer au mieux l'action des éléments climatiques d'une semaine sur l'ensemble des stades de croissance des fruits. On annule ainsi théoriquement le facteur «allure de la courbe».

Dans ce but, l'apparition des inflorescences au «stade pointant» est notée chaque semaine dans des parcelles en premier cycle de l'ordre de 500 pieds, et dont les plantations sont échelonnées dans le temps.

Parmi tous les fruits apparus au cours d'une semaine, deux régimes sont retenus pour mensurations, les critères de choix étant :

- le nombre de mains (7 à 8 mains), celles-ci sont numérotées de haut en bas,
- la hauteur et la circonférence (à 100 cm) du bananier (relatif à la parcelle considérée)
- le nombre de feuilles vivantes (14 à 18 feuilles vivantes) à la floraison.

Lorsque le fruit a atteint le stade «retournement complet des doigts», on procède à l'ablation de la dernière main et du bourgeon mâle (techniques courantes aux Antilles).

On procède préalablement à l'ablation des fausses mains. Est considérée comme fausse première main, toute main dont le nombre de doigts est inférieur au nombre de doigts de chacune des autres mains. Est considérée comme fausse dernière main, toute main dont le nombre de doigts décroît d'au moins cinq par rapport à la main précédente.

Le grade des deux doigts médians externes de chaque main est mesuré chaque semaine à l'aide d'un pied à coulisse (avec précision de  $2/10^e$  mm). Les mesures commencent au stade «retournement complet de tous les doigts». Elles sont arrêtées lorsque le grade moyen d'un régime atteint la valeur 32-33 mm (stades 3/4 plein léger à 3/4 plein standard). Le régime est alors coupé.

#### Exploitation des résultats.

##### Accroissements moyens globaux hebdomadaires $\overline{\Delta Gh}$

Les mesures effectuées chaque semaine permettent d'établir des moyennes de croissance hebdomadaire pour les régimes de même âge (croissance moyenne des diverses mains du régime, puis moyenne des croissances des deux régimes).

A partir de ces accroissements moyens par classe d'âge, on calcule une moyenne globale pour la semaine, qui intègre les variations dues à l'allure de la courbe de croissance (cette moyenne correspond à 20-25 régimes). Un exemple de calcul, en représentation graphique, permet d'illustrer le processus suivi (figure 2).

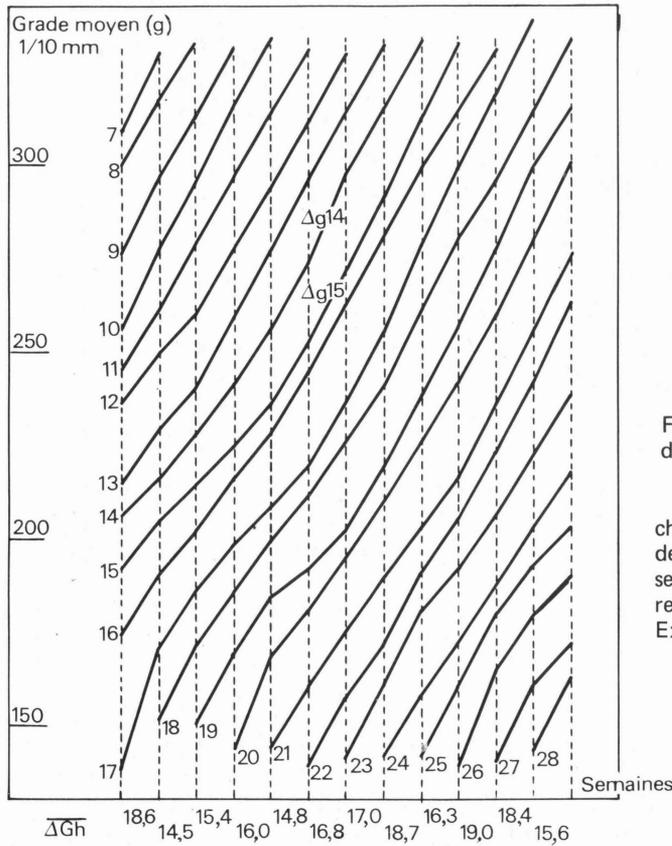


Figure 2 - Exemple de calcul de la moyenne d'accroissement global hebdomadaire  $\overline{\Delta Gh}$ .

chaque série de fruits (croissance moyenne sur deux bananiers) est repérée par le numéro de la semaine d'émission de l'inflorescence (stade retournement complet de tous les doigts).

Exemple de calcul de  $\overline{\Delta Gh}$  pour la semaine n°23 :

$$\overline{\Delta Gh} = \frac{g_{22} + g_{21} + g_{20} \dots + g_{12}}{11} = 16,8 \text{ mm} \cdot 10^{-1}$$

*Analyse de la relation température - croissance par ajustement polynomial.*

Cette analyse a été réalisée avec la collaboration étroite de l'INRA, Station de Bioclimatologie de Versailles (R. DURAND).

Le but de cette analyse est de voir quel est le mode d'action de la température dans la gamme prospectée (16 - 31°C).

La loi d'action de la température sur la croissance des fruits peut être exprimée par un développement polynomial du type :

$$V = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2 + a_3\theta^3 \dots + a_n\theta^n \quad (1)$$

V représentant la vitesse de croissance horaire. (DURAND 1967, 1 et 2).

A l'échelle hebdomadaire, l'expression devient :

$$\Sigma V = \overline{\Delta Gh} = Na_0 + a_1 \Sigma \theta + a_2 \Sigma \theta^2 + a_3 \Sigma \theta^3 \dots + a_n \Sigma \theta^n \quad (2)$$

$\Sigma V$  représente l'accroissement hebdomadaire, soit  $\overline{\Delta Gh}$

N = 168 heures

$\Sigma \theta$  = somme des températures

$\Sigma \theta^2$  = somme des carrés des températures

$\Sigma \theta^n$  = somme des puissances n<sup>e</sup> des températures.

On détermine les paramètres  $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$  par les méthodes statistiques en partant de plusieurs relations expérimentales du type de la relation (2) (DURANT 1974, 3) (détails de la méthode en annexe 1).

Cette analyse a été appliquée à 321 couples «  $\Delta Gh$  - températures correspondantes » (réparties en classes de température) en prenant pour n des valeurs allant de 1 à 6.

95 p. cent des températures prospectées se situent entre 17,9 et 29,3°C.

Les coefficients  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  et  $a_6$  figurent dans le tableau 1.

Les vitesses de croissance horaire calculées à partir de ces équations sont portées sur la figure 3.

TABLEAU 1 - Résultats de l'analyse en régressions polynomiales entre les données de croissance  $\overline{\Delta Gh}$  et les températures.

n	DL	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	variance résiduelle	F
1	319	0,955	0,810.10 <sup>-1</sup>						0,2698.10 <sup>-3</sup>	480,98**
2	318	0,968	0,682.10 <sup>-1</sup>	0,397.10 <sup>-2</sup>					0,2666.10 <sup>-3</sup>	245,79**
3	317	0,979	0,718.10 <sup>-1</sup>	0,639.10 <sup>-2</sup>	0,476.10 <sup>-3</sup>				0,2671.10 <sup>-3</sup>	163,76**
4	316	0,981	0,819.10 <sup>-1</sup>	0,509.10 <sup>-2</sup>	0,1126.10 <sup>-2</sup>	0,114.10 <sup>-3</sup>			0,2677.10 <sup>-3</sup>	122,59**
5	315	0,945	0,876.10 <sup>-1</sup>	0,1203.10 <sup>-1</sup>	0,147.10 <sup>-3</sup>	0,907.10 <sup>-3</sup>	0,954.10 <sup>-4</sup>		0,2668.10 <sup>-3</sup>	98,78**
6	314	0,949	0,954.10 <sup>-1</sup>	0,1125.10 <sup>-1</sup>	0,1344.10 <sup>-2</sup>	0,987.10 <sup>-3</sup>	0,441.10 <sup>-4</sup>	0,524.10 <sup>-5</sup>	0,2677.10 <sup>-3</sup>	82,08**

\*\* - Test F hautement significatif

- Les accroissements  $\overline{\Delta Gh}$  sont exprimés en 1/100 mm

- La température est exprimée en °C avec origine de 25,5°C

$$V = a_0 + a_1 (\theta - 25,5) + a_2 (\theta - 25,5)^2 + \dots + a_n (\theta - 25,5)^n$$

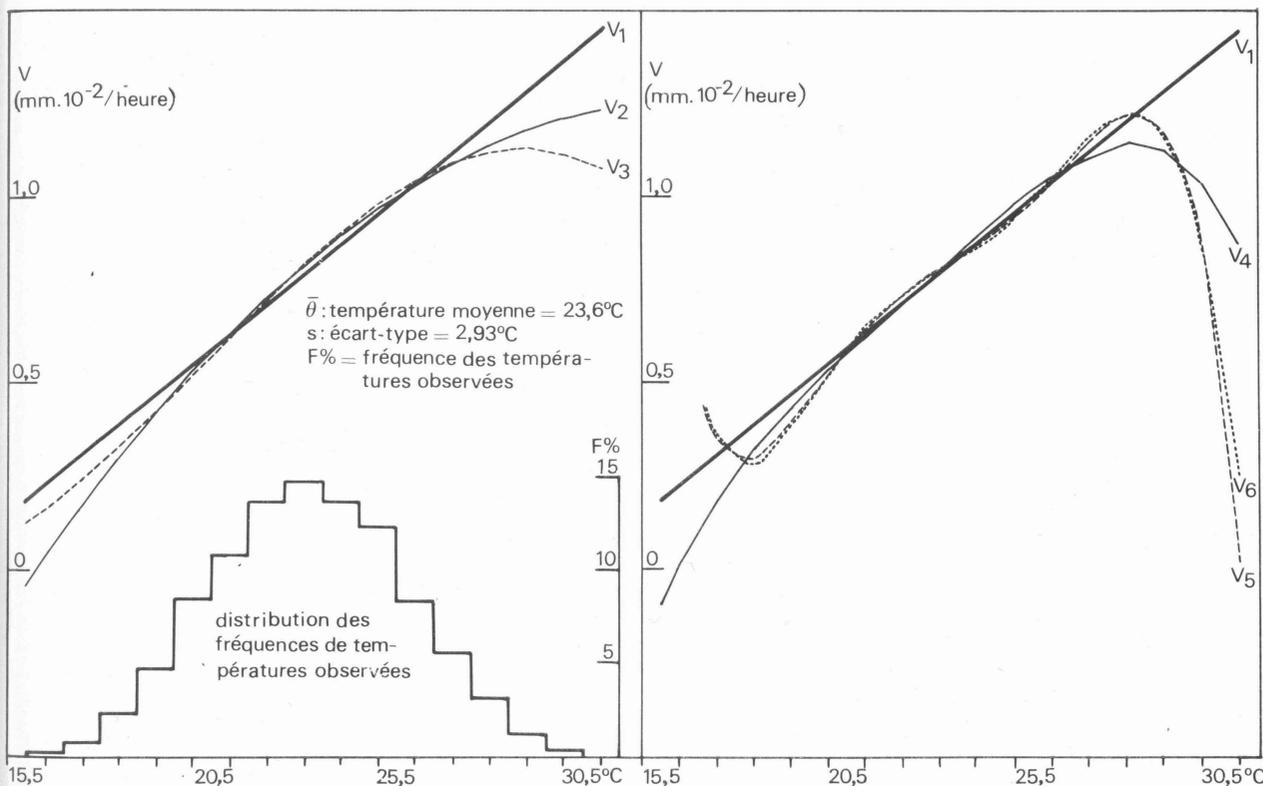


Figure 3 - Courbes d'ajustement des vitesses de croissance des fruits en fonction de la température.

$$V_n = f_n(\theta)$$

$$f_n = \text{polynôme de degré } n \quad 1 \leq n \leq 6$$

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Validité de l'ajustement linéaire.

Les résultats obtenus montrent tout d'abord que, dans la gamme thermique prospectée (16 - 31°C), la loi d'action de la température sur la croissance des fruits, peut très bien s'ajuster à une fonction linéaire. Le test F (rapport de la variance due à la régression à la variance résiduelle) est hautement significatif et ne s'améliore pas lorsqu'on passe

à un degré supérieur.

L'équation de la droite de régression est la suivante :

$$V = 0,955 + 0,0810 (\theta - 25,5^\circ\text{C}) = 0,064 + 0,081 (\theta - 14,5^\circ\text{C})$$

V = accroissement horaire en mm 10<sup>-2</sup>

$$\sigma_{\alpha\theta} \quad (P 0,05) = 0,072 \text{ d'où } 0,738 \angle \alpha_\theta \angle 0,882$$

( $\alpha_\theta = a_1$ ) avec  $\sigma_{\alpha_\theta}$  = écart type de  $\alpha_\theta$

En revenant à l'échelle hebdomadaire, l'équation devient :

$$\overline{\Delta Gh} = y = \Sigma V = 1,075 + 81,0 \cdot 10^{-4} T$$

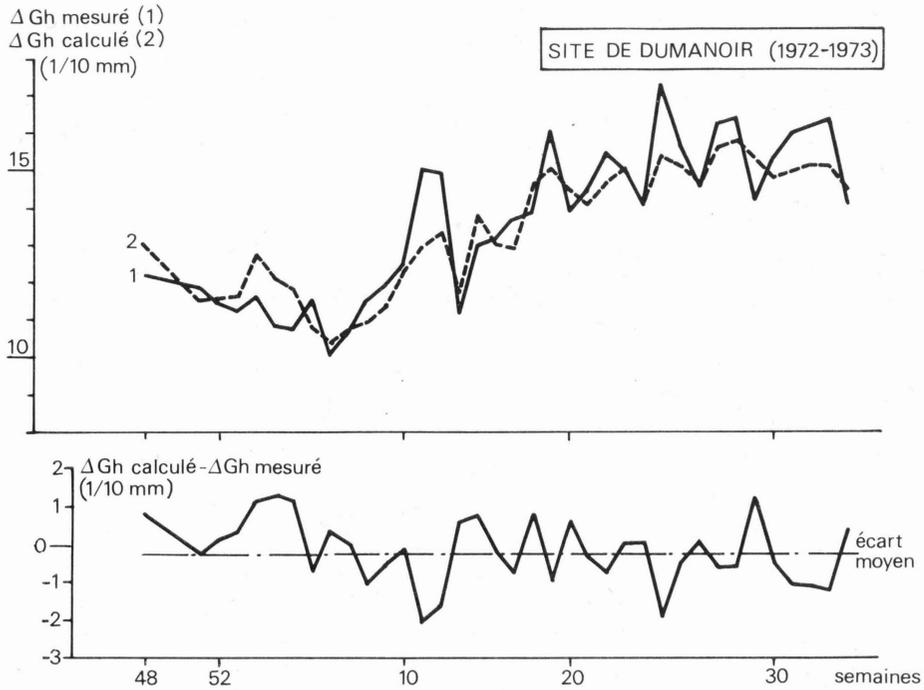


Figure 4 a - Exemple de comparaison entre  $\overline{\Delta Gh}$  mesuré et  $\overline{\Delta Gh}$  calculé d'après la formule  $\Delta Gh = 1,075 + 0,0081 T$  avec  $T$  = somme thermique hebdomadaire avec seuil de  $14,5^{\circ}C$   $\Delta Gh$  en 1/10 mm

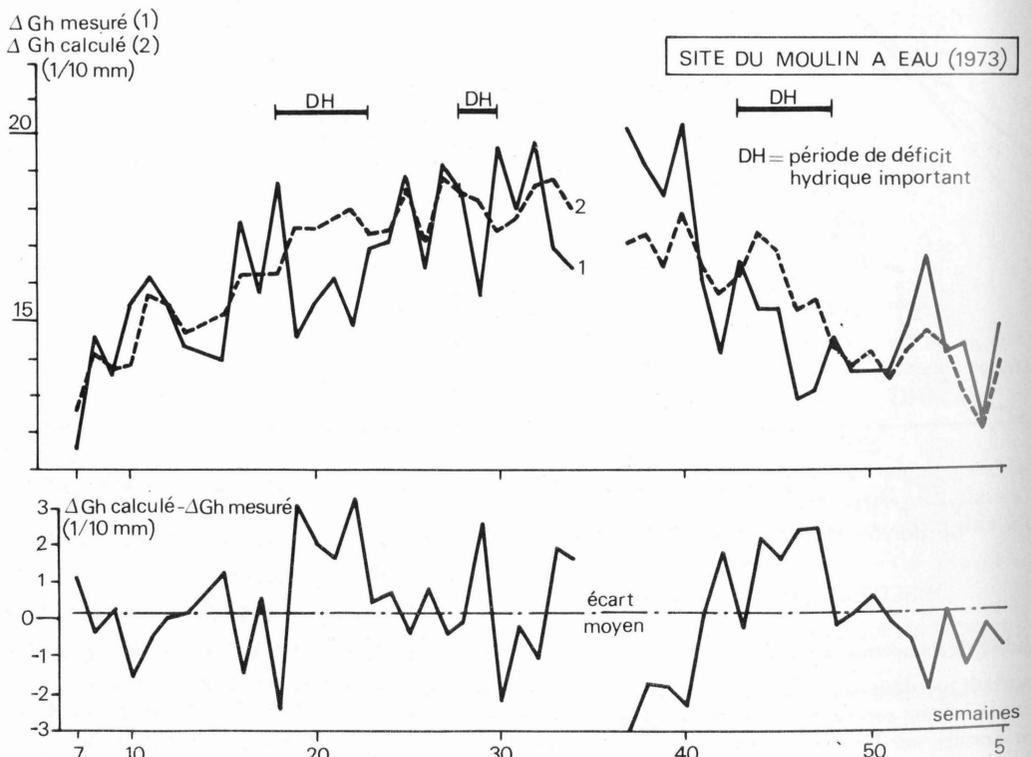


Figure 4 b - Exemple de comparaison entre  $\overline{\Delta Gh}$  mesuré et  $\overline{\Delta Gh}$  calculé d'après la formule ci-dessus.

avec  $y$  = accroissement hebdomadaire en mm  $10^{-1}$  et  $T$  = somme thermique hebdomadaire avec origine à  $14,5^{\circ}\text{C}$  (le seuil de  $14,5^{\circ}\text{C}$  est un seuil arbitraire de calcul, aucune température n'ayant été inférieure à cette valeur).

A titre d'exemple, la figure 4 montre l'écart existant entre  $\overline{\Delta Gh}$  mesuré et  $\overline{\Delta Gh}$  calculé.

#### Limites de l'ajustement linéaire.

Les ajustements à des équations de degré plus élevé ne donnent pas de résultats sensiblement meilleurs.

Ils indiquent toutefois qu'aux extrêmes de la gamme thermique prospectée les variations autour de l'ajustement linéaire sont importantes, mais ces variations ne sont sans doute pas significatives.

Pour les températures les plus basses ( $15-18^{\circ}\text{C}$ ), bien que chaque ajustement ne donne pas des variations identiques, il est probable que la loi d'action soit du type exponentiel (par analogie aux autres plantes).

Le «zéro végétatif» obtenu par extrapolation de l'ajustement linéaire est de  $13,7^{\circ}\text{C}$ .

Pour les températures les plus élevées de la gamme ( $26-31^{\circ}\text{C}$ ), les ajustements de degrés supérieurs font apparaître un ralentissement de la croissance, avec «optimum thermique» qui serait de l'ordre de  $29-30^{\circ}\text{C}$ , mais ce résultat doit être interprété avec beaucoup de réserve, d'autant qu'il correspond à des températures extrêmes de la gamme prospectée, donc à un nombre assez limité de données.

De plus, dans le cas de notre étude, les températures les plus élevées correspondent à des périodes de déficit hydrique prononcé.

Il se peut donc que le ralentissement de croissance observé soit imputable à un déficit en eau et non au facteur température.

Il n'empêche qu'il apparaît intéressant de prospecter cette zone de températures élevées pour voir si une augmentation de température, accélérant normalement la croissance, ne pourrait pas être mieux valorisée par une bonne alimentation en eau, ou si au contraire, on se situe vraiment au niveau de l'optimum thermique.

**Remarque 1.** Nous avons également essayé d'ajuster les données à une loi de  $Q_{10}$ .

$$V = aQ_{10}^{\frac{\theta}{10}}$$

Le  $Q_{10}$  optimum obtenu est égal à 2,58

$$\text{d'où } V = 0,0828 \cdot 2,58^{\frac{\theta}{10}}$$

L'ajustement à cette loi apparaît également acceptable dans la gamme thermique prospectée.

L'écart type de l'erreur entre valeurs mesurées et valeurs calculées est de 0,1675 mm en utilisant la loi du  $Q_{10}$  et de 0,1640 mm en utilisant l'ajustement linéaire. Donc le  $Q_{10}$  n'apporte pas d'amélioration et ne justifie pas un calcul plus complexe.

**Remarque 2.** Cette analyse a également été effectuée séparément pour chaque site climatique. Les résultats sont en général beaucoup moins significatifs que dans l'analyse globale, les gammes thermiques étant souvent trop étroites.

**Remarque 3.** Cette loi d'action de la température sur la vitesse de croissance en grade des fruits, s'ajuste bien à celle qui avait été mise en évidence sur la vitesse de développement des feuilles du bananier (GANRY 1973, 4), et ce pour des températures comprises entre  $18^{\circ}$  et  $28^{\circ}\text{C}$ . Pour s'en rendre compte il suffit de montrer que le rapport des vitesses à deux températures ( $\theta$  et  $\theta+1$ ) est le même.

C'est ce que montre le tableau suivant :

$\theta$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\frac{V_{\theta+1}}{V_{\theta}}$	$\frac{K_{\theta+1}}{K_{\theta}}$
18	1,23	1,22
19	1,19	1,22
20	1,16	1,16
21	1,13	1,15
22	1,12	1,16
23	1,11	1,15
24	1,10	1,10
25	1,09	1,10
26	1,09	1,07
27	1,07	1,06
moyenne	1,13	1,14

$\theta$  = température ( $^{\circ}\text{C}$ )

$V_{\theta}$  = vitesse de croissance en grade des fruits pour une température  $\theta$

$K_{\theta}$  = vitesse de développement des feuilles pour une température  $\theta$

Il resterait à voir si l'optimum thermique est le même.

Cette concordance entre lois d'action de la température sur la vitesse de développement de deux organes d'une même plante avait déjà été mise en évidence par DURAND (1967, 2) qui montrait que la loi d'action de la température sur la germination du lin était un bon ajustement de l'action de la température sur la vitesse de développement des tiges de cette plante.

#### Conclusion

Cette première phase d'étude nous a permis d'analyser le mode d'action de la température sur la croissance des fruits du bananier et de montrer qu'une loi d'action linéaire peut être adoptée dans les conditions des Antilles.

Il est probable que dans certaines conditions plus marginales, il ne soit pas possible d'utiliser l'ajustement linéaire.

Un ajustement à un  $Q_{10}$  pourrait être meilleur en zones plus froides. En zones plus chaudes, l'ajustement linéaire devra être manié avec beaucoup de précautions, de par l'existence d'un optimum thermique.

## ACTION DE LA TEMPÉRATURE SUR LA CROISSANCE GLOBALE DES FRUITS A L'ECHELLE PARCELLAIRE

La méthode précédente ne permet de suivre la courbe de croissance complète que d'un nombre très restreint de bananiers (deux au maximum), étant donné l'augmentation rapide du nombre de mesures par addition de nouveaux bananiers de semaine en semaine.

La méthode utilisée ci-après consiste à exploiter les mesures de croissance complète de groupes de bananiers sélectionnés à l'échelle d'une parcelle.

L'analyse de l'action de la température sur la croissance totale des fruits, depuis l'émission de l'inflorescence jusqu'à la coupe du régime, permet d'intégrer l'action du facteur thermique sur tout un cycle de croissance. Cette méthode complète la précédente, en assurant une meilleure représentativité de la croissance moyenne des fruits à l'échelle d'une parcelle.

### Collecte des données et méthodes d'exploitation.

Des mesures ont été réalisées tant en Martinique qu'en Guadeloupe, permettant d'analyser la croissance globale de lots homogènes de bananiers.

Les protocoles d'observations ont été sensiblement différents dans les deux cas.

#### Observations réalisées en Martinique.

- Caractéristiques et localisation des parcelles de mesure.

Nous avons retenu des parcelles d'au moins un hectare, plantées en variété Poyo. Les observations sont effectuées en premier cycle. Les façons culturales sont réalisées selon les techniques couramment employées dans chacune des zones climatiques (zone nord atlantique de basse et haute altitude).

Après un premier essai isolé en zone de basse altitude (VIVE 73), les observations ont été réalisées dans des parcelles situées dans deux localités d'altitude (secteur de Morne Rouge : Signardy et Longchamp) et dans deux localités de basse altitude (secteur de Basse Pointe : Fond Brûlé et Macouba).

Des parcelles étaient observées simultanément en zone de basse altitude et en zone d'altitude, leur succession d'une localité à l'autre assurant un recouvrement presque total des variations saisonnières observables au moins sur une année.

● Caractéristiques des sites et dénomination des parcelles de mesure.

. Zone de basse altitude :

- VIVE 73 habitation Vive - altitude 30 m, sol peu évolué sur cendre et régosol
- FdB A et B habitation Fond Brûlé - altitude 30 et 50 m, sol peu évolué sur cendre et régosol.
- MAC 7 A - habitation Macouba, altitude 100 m, sol peu évolué sur cendre et régosol

. Zone d'altitude :

- SIG 70 A et B - habitation Signardy, altitude 380 m, sol à

allophane sur cendre et ponce (sol sableux à limono-sableux, humifère à cohésion allophanique faible).

LC 7 A - habitation Longchamp, altitude 350 m, même type de sol que Signardy.

● Sélection des bananiers observés par parcelle.

Le processus de sélection des bananiers sur une parcelle arrivant en début de floraison est le suivant :

au fur et à mesure des floraisons, les pieds fleuris sont répertoriés et on mesure leur hauteur (H), leur circonférence à 1 m (C) et leur nombre de feuilles vivantes, à l'occasion d'un passage hebdomadaire (l'âge exact de la fleur est estimé entre 1 et 7 jours). On pourra retenir en général trois groupes de floraisons hebdomadaires, avec deux semaines d'intervalle entre chaque. Les séries de floraisons (SF) dont seront tirés les bananiers observés, sont sélectionnées à l'intérieur de chaque groupe selon deux premiers critères

- d'une part, la date exacte de floraison en ne retenant que les bananiers fleuris deux et trois jours avant le passage hebdomadaire,

- d'autre part, la hauteur et la circonférence dans la limite correspondant à la fourchette «plus ou moins la moitié de l'écart-type» des valeurs de hauteur et circonférence moyennes des pieds de l'ensemble du groupe ; (le nombre de feuilles n'intervient en général qu'en valeur de seuil, à savoir en dessous de 15 feuilles).

Ci-dessous le schéma de sélection des séries de floraisons :

SF1	(h <sub>1</sub> )	SF2	(h <sub>2</sub> )	SF3	(h <sub>3</sub> )
	(c <sub>1</sub> )		(c <sub>2</sub> )		(c <sub>3</sub> )
1	2	3	4	5	semaines
groupe 1	(H 1)	groupe 2	(H 2)	groupe 3	(H 3)
	(C 1)		(C 2)		(C 3)

$$\bar{H}_i - \frac{\sigma H_i}{2} \leq h_i \leq \bar{H}_i + \frac{\sigma H_i}{2}$$

$$\bar{C}_i - \frac{\sigma C_i}{2} \leq c_i \leq \bar{C}_i + \frac{\sigma C_i}{2} \quad (\sigma = \text{écart type})$$

Après découverture des mains, on procède au comptage du nombre de doigts. On retiendra finalement, parmi les séries de floraisons, les séries d'observations proprement dites, à savoir des bananiers ayant le même nombre de mains (correspondant au nombre de mains dominant) et un nombre de doigts compris dans la fourchette de la moitié de l'écart-type de N, nombre de doigts moyen des régimes de la série de floraisons.

Les régimes présentant un nombre de doigts plus élevé sur la deuxième main que sur la première sont également écartés.

Cette sélection permet de retenir de l'ordre de 5 à 10 bananiers par série d'observations (Si).

● Traitement des régimes observés et mesure de croissance.

La première mesure est effectuée lorsque les doigts de la dernière main conservée sont recourbés, soit entre 18 et 21 jours après floraison. On procède également lors de cette

première mesure à l'ablation du bourgeon mâle et de la fausse-main, ainsi qu'au gainage (le gainage est une opération qui consiste à recouvrir le régime d'une housse en polyéthylène perforée, afin d'assurer sa protection). Les mesures de grade sont effectuées au pied à coulisse (précision 0,2 mm) sur les deux doigts médians de chaque main, à une fréquence hebdomadaire dans la majorité des cas.

#### *Observations réalisées en Guadeloupe.*

##### ● Caractéristiques et localisation des parcelles de mesure.

Les parcelles de mesure sont les parcelles d'essais contrôlés, menés en divers sites écologiques, pour suivre le comportement du bananier en fonction des conditions climatiques. Les observations sont effectuées en premier cycle.

Les parcelles unitaires comportent 150 bananiers qui ont été sélectionnés dès la plantation.

Toutes les façons culturales ont été effectuées de manière contrôlée, selon un protocole de départ.

De tels essais ont été mis en place en cinq sites écologiques :

- . Zones de basse altitude
- Changy (CH 1 à CH 4), altitude 30 m, sur sol brun-rouille à halloysite, cultivar Poyo
- . Zones de moyenne altitude et d'altitude « au vent »
- Vernou (V1 à V6), altitude 400 m, sur sols ferrallitiques, cultivar Poyo
- Neufchâteau (NC1 à NC7), altitude 250 m, sur sols à allophanes, cultivar «901» (cultivar «Giant» du Honduras, introduction «901», du sous-groupe Cavendish, comme le Poyo.
- Quelques différences avec le Poyo : taille en général plus faible, «entrenoeds» plus courts. Risques d'engorgement en période de déficit hydrique ou d'excès d'eau.
- Dumanoir (D1 à D5), altitude 200 m, sur sols à allophanes à gibbsite, cultivar Poyo.
- . Zones d'altitude « sous le vent ».
- Grand Marigot (GM1 et GM2), altitude 600 m, sur sol brun, rouille à halloysite, cultivar Poyo.

##### ● Caractéristiques des divers lots de bananiers choisis.

Sur les parcelles d'essais, les floraisons de chaque bananier sont notées une fois par semaine, une première fois au stade pointant, une deuxième fois au stade fleurs découvertes.

Les séries de bananiers qui ont été retenues pour les mesures ont les caractéristiques indiquées dans le tableau 2.

Elles peuvent se résumer ainsi :

- même date de floraison (stade fleurs découvertes) à 2-3 jours près par estimation visuelle
- nombre de mains égal à 8.  
une exception pour CCA 1 qui a 7 mains
- bananiers d'un même lot homogènes en hauteur et circonférence :  
. écart type sur la hauteur  $\leq 20$  cm. Moyenne variant de 212 à 306 cm

. écart type sur la circonférence à  $1 \text{ m} \leq 3$  cm. Moyenne variant de 47 à 63 cm.

. écart type sur le nombre de doigts  $\leq 10$ . Moyenne variant de 123 à 157.

Comme dans l'essai précédent on procède à l'ablation du bourgeon mâle, de la dernière main et des fausses mains, lors du retournement complet des doigts.

Les régimes observés ne sont pas gainés.

Les mesures sont effectuées comme dans le précédent essai.

#### **Analyse des données d'observation et interprétation.**

##### *Analyse des données.*

Un dépouillement complet main par main d'un premier essai de ce type (VIVE 73) n'ayant pas fait ressortir de caractéristiques particulières entre mains, quant à l'évolution du grade, nous avons reporté l'analyse sur les seules données de moyenne générale pour l'ensemble des mains par série de bananiers observés.

Pour chaque série observée, nous avons établi la régression entre la somme thermique (avec seuil de  $14,5^\circ\text{C}$ ) cumulée depuis la date de la première mesure d'une part, et le grade moyen des fruits d'autre part, l'ajustement linéaire ayant été justifié précédemment.

Dans cette méthode d'analyse, où la croissance du fruit est considérée globalement depuis la « floraison » jusqu'à la récolte, nous avons admis qu'il était possible d'assimiler la courbe de croissance du fruit en fonction de la somme thermique cumulée, à une droite, les dissymétries d'évolution se compensant pendant toute la période de croissance.

Le tableau 2 indique les caractéristiques principales des diverses séries de mesures, ainsi que les équations de régression linéaire en fonction des sommes thermiques. A titre d'exemple, les figures 5a et b montrent l'évolution du grade moyen en fonction de la somme thermique, ainsi que la droite de régression calculée pour deux sites.

En annexe 2, nous avons fait figurer certaines caractéristiques supplémentaires de chaque lot (hauteur, circonférence, période de mesures, nombre de doigts).

Nous avons également fait figurer les graphiques de bilan hydrique pour chaque zone (l'ETP étant estimée à partir de la formule de Blaney-Criddle) afin de pouvoir évaluer le rôle du facteur eau en tant qu'élément limitant.

##### *Discussion des résultats.*

Une première analyse du tableau 2 fait apparaître que les droites calculées présentent toutes un coefficient de corrélation très élevé, justifiant l'approximation linéaire des courbes de croissance en fonction des sommes thermiques, dans le cadre d'une étude de prévision de récolte.

Il apparaît également que la plupart des valeurs de pente des droites obtenues sont très voisines (environ  $8 \cdot 10^{-3}$ ) avec seulement quelques valeurs extrêmes restant dans une fourchette de  $6$  à  $9,5 \cdot 10^{-3}$  ( $\text{mm } 10^{-1}/\text{degré.heure}$ )

TABLEAU 2. Caractéristiques des bananiers observés et résultats.

Lots et séries	NB	NM	n	Régression :	G <sub>0</sub>	B. 10 <sup>-3</sup>	r
<b>Guadeloupe</b>							
NC1	8	7	14	$Y = 181,15 + 8,454 \cdot 10^{-3} x$	181	0,260	0,998
NC2	4	8	13	$Y = 180,71 + 8,026 \cdot 10^{-3} x$	179	0,506	0,996
NC3	4	8	12	$Y = 179,12 + 8,402 \cdot 10^{-3} x$	175	0,417	0,997
NC4	6	8	13	$Y = 173,74 + 8,433 \cdot 10^{-3} x$	174	0,346	0,998
NC5	7	8	13	$Y = 171,83 + 8,397 \cdot 10^{-3} x$	171	0,392	0,997
NC6	6	8	14	$Y = 170,37 + 8,346 \cdot 10^{-3} x$	170	0,377	0,997
NC7	6	8	15	$Y = 162,85 + 8,610 \cdot 10^{-3} x$	156	0,179	0,999
CH1	4	8	12	$Y = 166,84 + 8,033 \cdot 10^{-3} x$	163	0,497	0,996
CH2	4	8	12	$Y = 155,59 + 7,403 \cdot 10^{-3} x$	160	0,486	0,998
CH3	4	8	11	$Y = 160,96 + 8,035 \cdot 10^{-3} x$	164	0,751	0,993
CH4	4	8	13	$Y = 142,51 + 8,419 \cdot 10^{-3} x$	151	0,726	0,999
GM1	4	8	12	$Y = 172,80 + 8,183 \cdot 10^{-3} x$	165	0,377	0,997
GM2	5	8	13	$Y = 188,93 + 7,377 \cdot 10^{-3} x$	184	0,216	0,999
D1	6	8	13	$Y = 169,09 + 9,390 \cdot 10^{-3} x$	170	0,427	0,998
D2	6	8	12	$Y = 168,09 + 9,532 \cdot 10^{-3} x$	164	0,352	0,998
D3	4	8	13	$Y = 171,14 + 9,159 \cdot 10^{-3} x$	170	0,282	0,999
D4	5	8	13	$Y = 175,56 + 8,437 \cdot 10^{-3} x$	170	0,449	0,996
D5	5	8	14	$Y = 174,26 + 8,166 \cdot 10^{-3} x$	170	0,246	0,999
V1	4	8	15	$Y = 162,19 + 8,004 \cdot 10^{-3} x$	158	0,326	0,997
V2	4	8	12	$Y = 171,00 + 7,819 \cdot 10^{-3} x$	170	0,606	0,996
V3	4	8	13	$Y = 168,28 + 8,275 \cdot 10^{-3} x$	171	0,453	0,996
V4	4	8	14	$Y = 161,52 + 8,130 \cdot 10^{-3} x$	170	0,399	0,996
V5	4	8	15	$Y = 161,22 + 8,356 \cdot 10^{-3} x$	164	0,244	0,999
<b>Martinique</b>							
VIVE 73							
S1	7	8	13	$Y = 154,57 + 6,168 \cdot 10^{-3} x$	149	0,260	0,998
S2	6	8	12	$Y = 154,35 + 7,275 \cdot 10^{-3} x$	154	0,211	0,999
S3	5	8	13	$Y = 146,56 + 7,630 \cdot 10^{-3} x$	150	0,487	0,995
S4	5	8	11	$Y = 149,35 + 7,422 \cdot 10^{-3} x$	153	0,806	0,990
S5	5	8	11	$Y = 148,66 + 7,910 \cdot 10^{-3} x$	154	0,913	0,989
FdB 71							
S1	7	7	12	$Y = 162,97 + 8,162 \cdot 10^{-3} x$	162	0,251	0,999
S2	7	8	11	$Y = 159,73 + 8,283 \cdot 10^{-3} x$	160	0,175	0,999
S3	7	8	12	$Y = 161,45 + 8,313 \cdot 10^{-3} x$	162	0,223	0,999
SIG 70 A							
S1	7	7	16	$Y = 166,54 + 8,187 \cdot 10^{-3} x$	166	0,117	0,999
S2	6	7	15	$Y = 158,95 + 8,200 \cdot 10^{-3} x$	154	0,384	0,999
S3	7	7	16	$Y = 164,76 + 8,148 \cdot 10^{-3} x$	162	0,235	0,999
FdB 71 B							
S1	5	7	13	$Y = 149,82 + 8,105 \cdot 10^{-3} x$	150	0,341	0,998
S3	6	8	12	$Y = 154,90 + 8,260 \cdot 10^{-3} x$	156	0,264	0,999
SIG 70 B							
S1	6	6	14	$Y = 168,68 + 8,775 \cdot 10^{-3} x$	159	0,506	0,996
S2	6	7	16	$Y = 165,66 + 8,679 \cdot 10^{-3} x$	153	0,181	0,997
MAC 7 A	10	7	13	$Y = 163,59 + 7,770 \cdot 10^{-3} x$	168	0,467	0,996
LC 7 A	8	7	16	$Y = 162,14 + 8,864 \cdot 10^{-3} x$	159	0,303	0,998

NB - nombre de bananiers par série

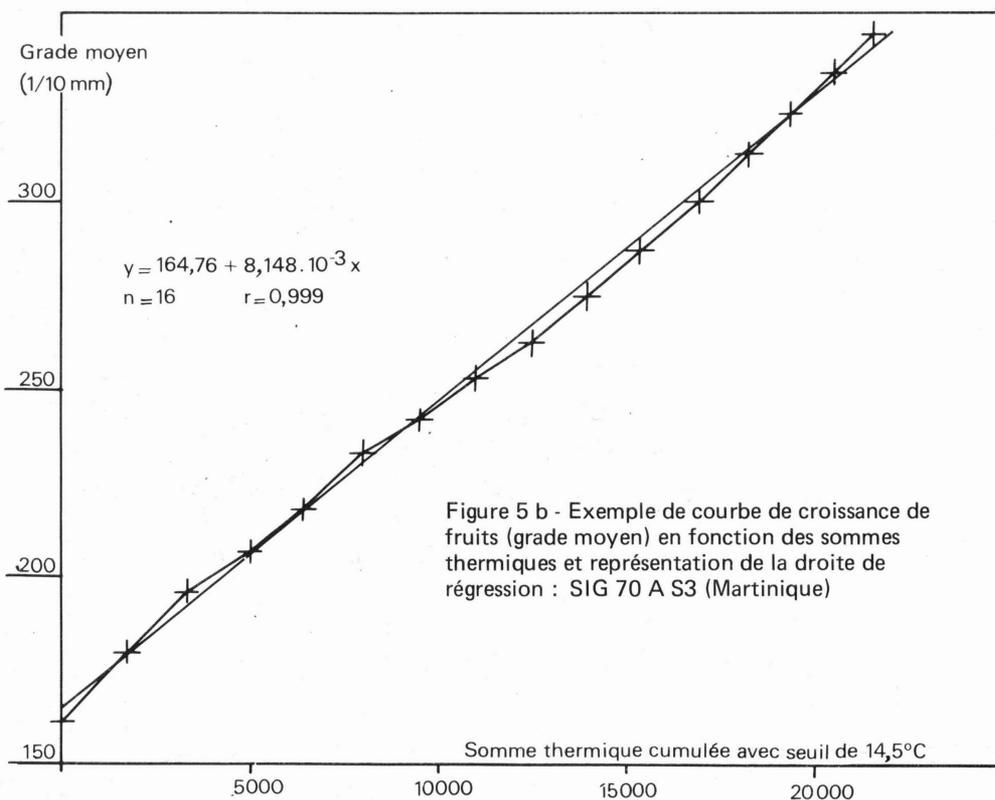
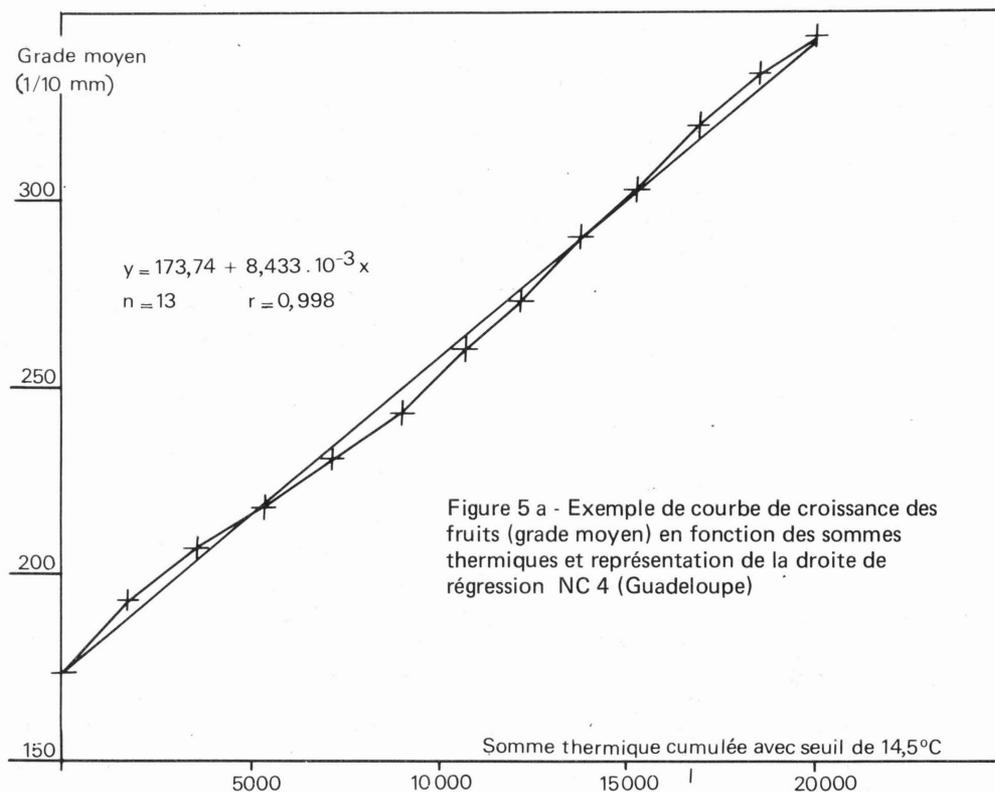
NM - nombre de mains

n - nombre de couples de données

Y - grade moyen calculé en 1/10 de mm, avec x - somme thermique cumulée avec seuil de 14,5°C

G<sub>0</sub> - grade moyen initial (première observation) en 1/10 mm (mesuré au stade retournement complet des doigts)B - intervalle de confiance de  $\alpha_{\theta}$  (coefficient de régression)

r - coefficient de corrélation



L'action de la température sur la croissance apparaît donc comme largement prédominante, sur la majorité des lots, malgré la diversité de caractéristiques que ceux-ci présentent (conditions climatiques et édaphiques des sites, caractéristiques biométriques).

Les variations des coefficients de régression obtenus (coefficients thermiques de croissance  $\alpha_{\theta}$ ) peuvent s'expliquer par l'intervention de facteurs édaphiques et climatiques, autres que thermiques.

Il en est ainsi du **facteur hydrique**. Son action est apparue de façon nette pour quelques lots, au cours de la période d'observation. Les graphiques de bilans hydriques joints en annexe (Annexe 3 a à j) montrent en effet que plusieurs lots ont subi une sécheresse prononcée. Il s'agit des séries VIVE 73 (déficits hebdomadaires moyens pendant les essais allant de 17,1 à 28,9 mm) et GM 1 et 2 (déficit hebdomadaire moyen de 14,9 mm dans le premier cas et bilan de + 3,3 mm dans le second cas, avec déficit marqué en fin de croissance).

On observe dans ces cas les valeurs des pentes les plus faibles avec, pour certaines séries, des intervalles de confiance élevés, ce qui peut facilement s'expliquer par l'action de la sécheresse (croissance irrégulière dans le temps ou rendue très hétérogène d'un bananier à l'autre selon la situation topographique).

Pour la zone de Changy, le graphique en annexe fait apparaître également un déficit hydrique important pour la série CH1 (-22,2 mm) et la série CH2 (déficit de 7,3 mm masqué par de fortes pluies en fin de croissance). Mais cette zone a été temporairement irriguée, ce qui explique l'incidence réduite de la sécheresse sur la croissance.

Sur les séries observées, on peut remarquer que l'action limitante du facteur hydrique devient sensible pour des déficits théoriques hebdomadaires supérieurs à 10 mm. Ce seuil n'est qu'indicatif car il serait nécessaire de considérer la répartition du bilan hydrique au cours de la période de croissance, et de tenir compte des autres composants du bilan hydrique (réserves en eau du sol, drainage, etc.).

En éliminant les séries de VIVE 73, GM 1 et 2, les valeurs restantes de  $\alpha_{\theta}$  présentent une moyenne très voisine pour les lots observés en Guadeloupe (cultivar Poyo) et ceux de Martinique (8,37 et 8,31  $\cdot 10^{-3}$ ).

Ainsi, malgré des processus expérimentaux différents, on observe une bonne concordance dans les résultats. Ceci est probablement dû au fait que les deux traitements effectués conduisent au même résultat.

En effet, dans le premier cas on a procédé à l'ablation de la dernière main et dans le second cas au gainage des régimes.

- Effet du gainage avec housse de polyéthylène.

La réduction de l'intervalle fleur-coupe introduite par le **gainage** semble être de l'ordre de 5-6 jours (MELIN et AUBERT 9, PERUMAL et ADAM 11).

Cette influence a également été estimée par la mesure du gain thermique moyen sous gaine de polyéthylène.

Des mesures comparatives de températures par thermocouples ont été effectuées sur un régime gainé et sur un régime non gainé, le thermocouple étant piqué dans le doigt médian interne de la troisième main (représentant assez bien la température moyenne de l'ensemble des doigts).

Les résultats de 85 jours de mesure montrent que l'écart thermique entre régime gainé et régime non gainé est de l'ordre de 0,5°C.

En appliquant un coefficient thermique  $\alpha_{\theta} = 8 \cdot 10^{-3}$  on obtient une réduction de cinq jours environ sur l'intervalle fleur-coupe (calcul en annexe 4), ce qui est bien en accord avec les observations de MELIN et AUBERT.

- Effet de l'ablation de la dernière main.

Il est plus difficile à estimer, mais des observations antérieures montrent qu'il correspond à une réduction de l'ordre de trois jours environ (MEYER, rapport essai ablation de main) (10).

Les valeurs moyennes des coefficients thermiques observées en Guadeloupe et en Martinique sont donc bien concordantes.

**Remarque :** le coefficient de régression moyen obtenu pour les séries du cultivar «901» (NC 1 à 7) est de  $8,38 \cdot 10^{-3}$ , dont très voisin de ceux obtenus avec le cultivar Poyo.

Il subsiste cependant quelques fluctuations des valeurs individuelles par série et par lot que nous avons cherché à expliquer. On a vu que la taille des diverses séries est très variable (surtout entre lots différents). On peut penser qu'il existe une relation entre le potentiel végétatif du bananier et la vitesse de croissance des fruits [potentiel végétatif : aptitude de la plante à produire. Cette aptitude peut être appréciée par des critères de vigueur végétative, tels que masse foliaire, hauteur ou circonférence du pseudo-tronc. On montre, par exemple, que le rendement est en étroite corrélation avec la circonférence du pseudo-tronc à la floraison (8)]. Nous avons donc recherché s'il existe une corrélation entre le coefficient thermique de croissance  $\alpha_{\theta}$  et le potentiel végétatif exprimé par une approximation du volume du pseudo-tronc  $HC^2$  (H = hauteur, C = circonférence à 1 m).

Cette corrélation a été calculée sur le groupe de 14 séries de 8 mains (cultivar Poyo) observées en Guadeloupe et n'ayant pas subi de déficit hydrique (les séries observées en Martinique n'ont pas été retenues pour ce calcul, étant donné les différences de conditions expérimentales, ablation et gainage). Pour les 14 couples de valeurs étudiées, on trouve une corrélation de 0,901, très significative (test F hautement significatif) et une équation de régression.

$$Y = 6,416 \cdot 10^{-3} + 2,63 \cdot 10^{-9} X$$

$$\text{avec } y = \alpha_{\theta} \text{ (mm} \cdot 10^{-1} / \text{degré} \cdot \text{heure)}$$

$$\text{et } X = HC^2 \text{ (cm}^3\text{)}$$

(figure 6).

On peut donc admettre l'existence d'une relation directe entre le potentiel végétatif du bananier et  $\alpha_{\theta}$ .

Il en résulte que les facteurs climatiques et édaphiques

agissant sur le développement végétatif du bananier, depuis la sortie du rejet jusqu'à l'émission de l'inflorescence, auront une incidence sur la vitesse de croissance en grade de fruits et l'intervalle fleur-coupe.

**Remarque :** en intégrant les six séries de huit mains du cultivar «901» à la régression, on obtient une corrélation très significative et une équation de régression très voisine de la précédente.

**Conclusion :** Cette deuxième méthode a permis d'observer la croissance complète des fruits sur un nombre important de séries (38) dans des conditions très diversifiées. La concordance des résultats, considérés dans leur ensemble, traduit sans équivoque une action prédominante de la température sur la vitesse de croissance des fruits. L'analyse individuelle des résultats de chaque série a permis également de mettre en évidence l'action limitante de l'alimentation hydrique ainsi que l'influence du potentiel végétatif des bananiers. Le potentiel végétatif peut être estimé par des mesures simples (hauteur, circonférence). Il n'en est pas de même pour l'alimentation hydrique qui reste difficile à chiffrer et qui nécessitera des études spécialisées (programme d'étude d'irrigation en cours).

### CONCLUSION GÉNÉRALE

La méthode utilisée dans la première partie de cette étude, par une recherche analytique de la loi d'action de la température sur la croissance des fruits, nous a permis de justifier l'emploi d'un ajustement linéaire utilisé dans une seconde partie et applicable à une analyse simple des courbes complètes de croissance, se rapprochant plus d'un modèle théorique de prévision de récolte.

Il faut noter que les deux méthodes conduisent à des résultats très voisins : la première aboutit à un coefficient thermique moyen de  $8,1 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 10^{-1} / \text{degré} \cdot \text{heure}$ , la seconde à un coefficient thermique moyen de  $8,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 10^{-1} / \text{degré} \cdot \text{heure}$ , la différence, bien que non signifi-

cative, pouvant s'expliquer par des périodes passagères de déficit hydrique, difficile à éliminer, dans la première analyse.

On peut donc admettre la valeur de  $8,3 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 10^{-1} / \text{degré} \cdot \text{heure}$  comme une base fiable de la valeur du coefficient thermique, applicable dans un système de prévision de récolte, les observations ayant porté sur plus de 860 bananiers, couvrant une période supérieure à deux années.

Outre l'application des résultats comme base d'une méthode de prévision de la date de récolte, la mise en évidence d'une action déterminante de la température, quantifiable par la relation obtenue, doit permettre de mieux comprendre et de mieux maîtriser certains aspects du développement du fruit et des techniques agronomiques utilisées. Pour ces dernières, certaines interviennent dans le bilan thermique au niveau des fruits. Tel est le cas pour le gainage et la densité de plantation. Toute intervention à leur niveau devra être entreprise avec le souci de maintenir un niveau thermique optimum. Ainsi l'emploi de gaines, à effet de serre positif, devrait permettre d'accroître la vitesse de croissance des fruits.

Nous avons également montré le rôle important que peut avoir le bilan hydrique en tant que facteur limitant. Cette action limitante est d'autant plus marquée qu'elle concorde avec des températures élevées, qui, en conditions normales, devraient permettre une croissance très rapide. Il conviendra donc d'essayer d'optimiser l'action de la température en alimentant convenablement la plante en eau.

La mise en évidence d'une relation entre le potentiel végétatif du bananier et la vitesse de croissance des fruits présente un intérêt agronomique certain, indiquant la nécessité d'accroître au maximum ce potentiel.

Ayant pu chiffrer cette action, il sera possible de préciser toute prévision au niveau parcellaire.

Nous nous proposons d'utiliser toutes ces données de base indispensable pour mettre au point une méthode pratique de prévision des récoltes utilisables par les professionnels.

### REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier vivement R. DURAND, Maître de Recherches à la Station centrale de Bioclimatologie (INRA, Versailles) pour sa fructueuse collaboration dans l'exécution des calculs, et pour tous les conseils et critiques qu'il a acceptés de formuler tout au long de cette étude.*

## ANNEXE 1 - Méthode d'analyse par ajustement polynomial.

En pratique, la méthode consiste à relever sur les thermogrammes hebdomadaires le nombre d'heures par classe de températures, soit pour le site et la semaine «i»

$X_{1i}$  heures pour la classe  $\theta_0$  à  $\theta_1$

$X_{2i}$  heures pour la classe  $\theta_1$  à  $\theta_2$

$X_{3i}$  heures pour la classe  $\theta_2$  à  $\theta_3$

⋮

$X_{qi}$  heures pour la classe  $\theta_{q-1}$  à  $\theta_q$

$q$  représentant le nombre de classes de températures considérées

Les expressions de  $\Sigma\theta, \Sigma\theta^2, \dots, \Sigma\theta^n$  sont les suivantes :

$$\Sigma\theta = X_{1i} \frac{(\theta_0 + \theta_1)}{2} + X_{2i} \frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2} + \dots + X_{qi} \frac{(\theta_{q-1} + \theta_q)}{2}$$

$$\Sigma\theta^2 = X_{1i} \frac{(\theta_0 + \theta_1)^2}{2} + X_{2i} \frac{(\theta_1 + \theta_2)^2}{2} + \dots + X_{qi} \frac{(\theta_{q-1} + \theta_q)^2}{2}$$

⋮

$$\Sigma\theta^n = X_{1i} \frac{(\theta_0 + \theta_1)^n}{2} + X_{2i} \frac{(\theta_1 + \theta_2)^n}{2} + \dots + X_{qi} \frac{(\theta_{q-1} + \theta_q)^n}{2}$$

On dispose des données d'observation suivantes pour  $p$  (sites x semaines)

$$\overline{\Delta G_{h1}} : X_{11} ; X_{21} ; X_{31} ; \dots ; X_{q1}$$

$$\overline{\Delta G_{h2}} : X_{12} ; X_{22} ; X_{32} ; \dots ; X_{q2}$$

$$\overline{\Delta G_{hi}} : X_{1i} ; X_{2i} ; X_{3i} ; \dots ; X_{qi}$$

⋮

$$\overline{\Delta G_{hp}} : X_{1p} ; X_{2p} ; X_{3p} ; \dots ; X_{qp}$$

Les équations (2) correspondantes sont :

$$\overline{\Delta G_{h1}} = a_0 N + a_1 (\Sigma\theta)_1 + a_2 (\Sigma\theta^2)_1 + \dots + a_n (\Sigma\theta^n)_1$$

$$\overline{\Delta G_{h2}} = a_0 N + a_1 (\Sigma\theta)_2 + a_2 (\Sigma\theta^2)_2 + \dots + a_n (\Sigma\theta^n)_2$$

⋮

$$\overline{\Delta G_{hi}} = a_0 N + a_1 (\Sigma\theta)_i + a_2 (\Sigma\theta^2)_i + \dots + a_n (\Sigma\theta^n)_i$$

⋮

$$\overline{\Delta G_{hp}} = a_0 N + a_1 (\Sigma\theta)_p + a_2 (\Sigma\theta^2)_p + \dots + a_n (\Sigma\theta^n)_p$$

Les  $p$  équations correspondant aux différents sites et semaines peuvent être transformées en un système de  $n+1$  équations par la méthode des moindres carrés.

On forme la quantité :

$$Q = \sum_{i=1}^p \left[ \overline{\Delta G_{hi}} - [a_0 N + a_1 (\Sigma\theta)_i + a_2 (\Sigma\theta^2)_i + \dots + a_n (\Sigma\theta^n)_i] \right]^2$$

On montre que  $Q$  présente une valeur minimum lorsque les dérivés partiels de  $Q$  par rapport aux coefficients  $a_0, a_1, \dots, a_n$  sont nuls, soit :

$$\frac{\delta Q}{\delta a_0} = 0 ; \frac{\delta Q}{\delta a_1} = 0 ; \frac{\delta Q}{\delta a_2} = 0 ; \dots ; \frac{\delta Q}{\delta a_n} = 0$$

On obtient donc  $n+1$  équation du type  $\frac{\delta Q}{\delta a_j} = 0$

Les solutions  $a_0, a_1 \dots a_n$  de ces  $n+1$  équations à  $n+1$  inconnues sont fournies par la résolution de la matrice symétrique suivante :

$$\begin{pmatrix} N^2 & & & & & \\ & N S_1 & & & & \\ & S_1^2 & & & & \\ & & N S_2 & \dots & N S_n & \\ & & S_1 S_2 & \dots & S_1 S_n & \\ & & & S_2^2 & \dots & S_2 S_n & \\ & & & & & & S_n^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y N \\ Y S_1 \\ Y S_2 \\ \vdots \\ Y S_n \end{pmatrix}$$

ou  $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$  représentent les sommes des puissances 1°, 2°, 3° ..... n° de la température ( $\Sigma\theta, \Sigma\theta^2, \Sigma\theta^3, \dots, \Sigma\theta^n$ ) et  $N = 168$  heures

$$S_1 = \frac{\sum_{i=1}^p P(\Sigma_i \theta)}{p}$$

$$S_2 = \frac{\sum_{i=1}^p P(\Sigma_i \theta^2)}{p}$$

$$S_n = \frac{\sum_{i=1}^p P(\Sigma_i \theta^n)}{p}$$

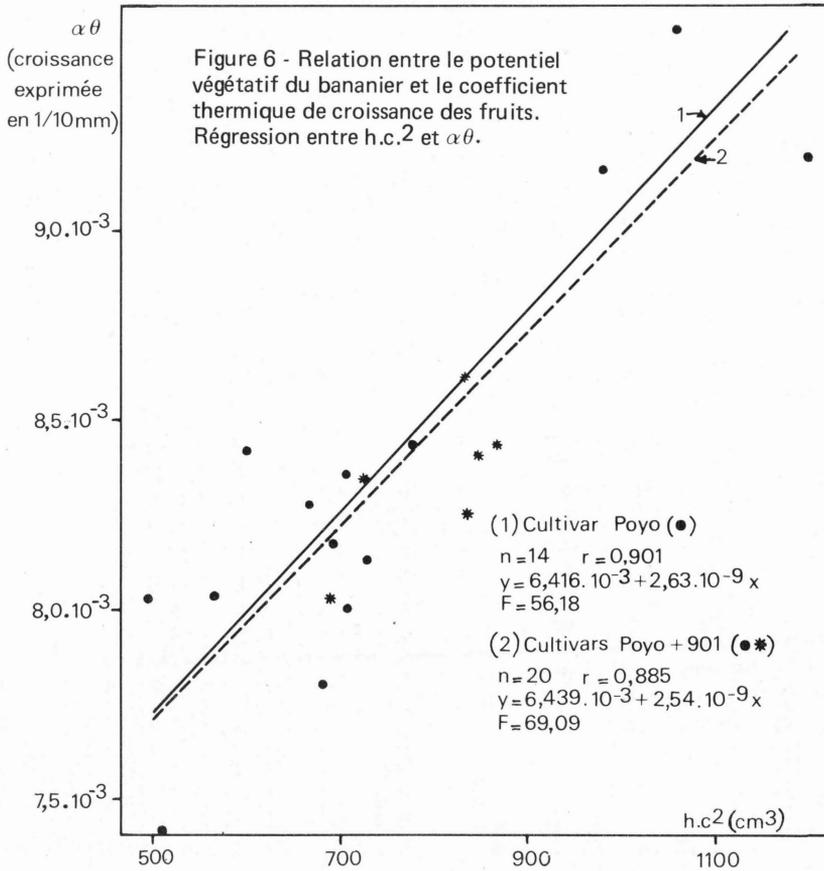
$$S_1 S_2 = \frac{\sum_{i=1}^p P(\Sigma_i \theta \Sigma_i \theta^2)}{p}$$

$$S_1 S_n = \frac{\sum_{i=1}^p P(\Sigma_i \theta \Sigma_i \theta^n)}{p}$$

$$Y N = \frac{\sum_{i=1}^p \overline{\Delta G h_i}}{p} \times 168$$

$$Y S_1 = \frac{\sum_{i=1}^p P(\overline{\Delta G h_i} \times \Sigma_i \theta)}{p}$$

$$Y S_n = \frac{\sum_{i=1}^p P(\overline{\Delta G h_i} \times \Sigma_i \theta^n)}{p}$$

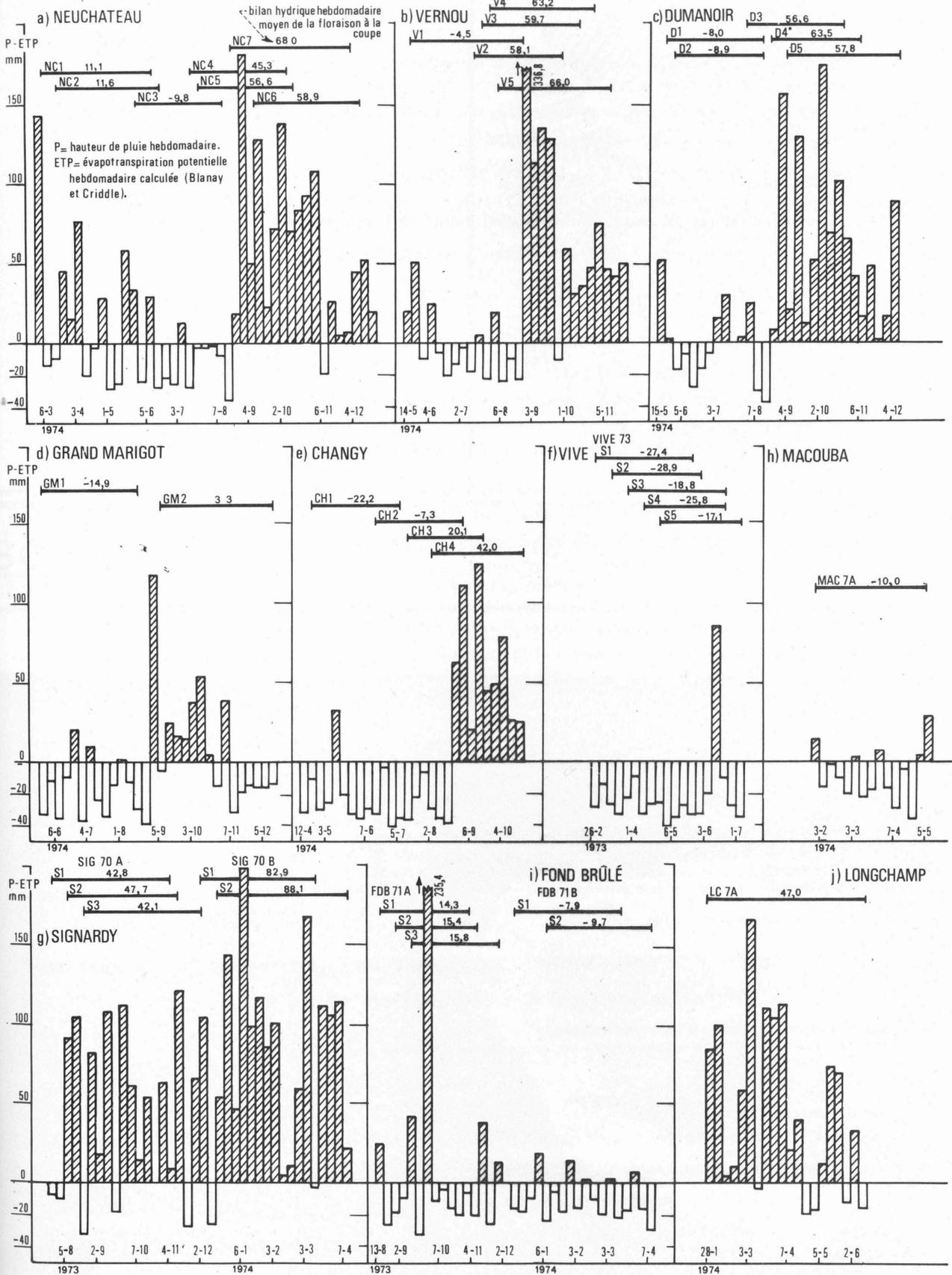


## ANNEXE 2 - Caractéristiques complémentaires des séries de mesure.

	ND	$\sigma_{ND}$	H	$\sigma_H$	C	$\sigma_C$	T1	T2
<b>Guadeloupe</b>								
NC 1	123	5,7	216	13,0	55	1,1	6/3	12/6
NC 2	140	7,0	212	12,3	57	1,0	20/3	19/6
NC 3	142	4,6	253	17,6	58	2,5	29/5	14/8
NC 4	137	5,5	250	11,0	59	1,8	17/7	9/10
NC 5	134	7,6	254	9,8	55	2,2	24/7	16/10
NC 6	127	3,6	258	13,0	53	2,1	11/9	11/12
NC 7	138	6,2	267	15,1	56	1,8	28/8	4/12
CH 1	140	8,5	233	8,5	52	3,3	23/4	9/7
CH 2	130	7,3	221	8,6	48	1,1	18/6	3/9
CH 3	146	8,0	221	6,3	47	0,5	16/7	20/9
CH 4	129	7,8	249	8,5	49	1,0	7/8	25/10
GMI	152	6,6	293	2,5	58	1,1	27/5	19/8
GM 2	136	5,6	264	11,4	56	1,2	9/9	16/12
D1	157	4,1	302	12,5	63	2,4	22/5	14/8
D2	152	4,5	306	8,2	59	2,0	29/5	14/8
D 3	140	1,7	250	8,2	55	1,9	31/7	23/10
D 4	142	6,4	268	19,3	54	1,8	21/8	6/11
D 5	135	5,8	266	12,5	51	1,6	4/9	4/12
V 1	139	3,9	253	6,3	53	3,0	22/5	28/8
V 2	128	6,1	253	4,8	52	2,5	16/7	1/10
V 3	127	3,8	247	18,8	52	1,7	23/7	15/10
V 4	130	7,8	251	6,3	54	3,1	30/7	29/10
V 5	133	5,9	252	9,6	53	2,6	7/8	12/11
<b>Martinique</b>								
VIVE 73 S1	139	2,4	274	6,2	54	0,9	1/3	25/5
S2	146	1,7	276	5,3	54	1,0	15/3	30/5
S3	140	0,8	276	9,7	52	1,2	29/3	21/6
S4	137	5,3	273	8,7	53	0,7	12/4	21/6
S5	128	5,0	279	6,6	52	1,0	26/4	5/7
FdB 71A S1	106	4,2	256	5,4	50	0,6	16/8	31/10
S2	133	5,5	262	3,0	51	1,4	30/8	7/11
S3	134	3,8	263	6,6	50	1,2	13/9	29/11
SIG 70A S1	114	2,7	268	2,7	53	0,8	25/7	6/11
S2	112	2,3	252	4,7	54	0,5	7/8	13/11
S3	115	1,9	269	3,4	53	0,8	22/8	4/12
FdB 71B S1	117	4,1	258	6,8	50	1,0	13/12	14/3
S3	134	4,2	262	3,8	51	1,0	10/1	11/4
SIG 70B S1	93	2,5	268	7,4	49	1,1	4/12	14/3
S2	106	8,8	276	8,3	51	1,1	19/12	11/4
MAC 7 A	119	3,9	290	9,8	56	1,4	31/1	6/5
LC 7 A	112	2,0	248	6,0	50	1,6	29/1	14/6

ND : nombre de doigts    H : hauteur cm    C : circonférence à 1 mètre en cm  
 $\sigma$  : écart-type correspondant    T1 : date de la première observation  
T2 : date de la dernière observation.

Annexe 3 a à j • BILAN HYDRIQUE THÉORIQUE DE DIFFÉRENTES STATIONS (P-ETP en mm)



ANNEXE 4 - Calcul d'estimation de la réduction de durée d'intervalle fleur-coupe sur régimes gagnés (gain thermique moyen de 0,5°C).

Les régressions exprimant le grade moyen en fonction des sommes thermiques cumulées sont de la forme :

$$Y_n = G_0 + \alpha_\theta X_n \text{ au jour } n \text{ à partir du grade initial } G_0$$

$$\text{avec } X_n = \sum_0^n [t_1(\theta_1 - 14,5) + t_2(\theta_2 - 14,5) + \dots + t_m(\theta_m - 14,5)]$$

en employant un seuil de température de 14,5°C et  $t_1+t_2+\dots+t_m=24$  heures en considérant un dépouillement horaire des températures. En relevant toutes les températures de 0,5°C, on aurait :

$$X'_n = \sum_0^n [t_1(\theta_1 + 0,5 - 14,5) + t_2(\theta_2 + 0,5 - 14,5) + \dots + t_m(\theta_m + 0,5 - 14,5)]$$

$$\text{soit } X'_n = \sum_0^n [t_1(\theta_1 - 14,5) + t_2(\theta_2 - 14,5) + \dots + t_m(\theta_m - 14,5)]$$

$$+ \sum_0^n [0,5(t_1 + t_2 + \dots + t_m)]$$

$$\text{soit } X'_n = X_n + n \times 0,5 \times 24 = X_n + 12n$$

Un accroissement égal sera obtenu à partir du même grade initial en des temps  $n$  et  $n'$  avec  $n > n'$

$$\text{soit : } Y'_n = Y_{n'}, \text{ si l'on a } X'_n = X_{n'}$$

$$\text{en posant } Z = t_1(\theta_1 - 14,5) + t_2(\theta_2 - 14,5) + \dots + t_m(\theta_m - 14,5)$$

$$\text{il vient : } 12n + \sum_0^n Z = \sum_0^{n'} Z \quad \text{soit } 12n = \sum_n^{n'} Z.$$

On peut raisonnablement admettre que la valeur journalière de  $Z$  reste constante entre les journées  $n$  et  $n'$ , puisque cette période est très brève ; on a alors :

$$12n = (n' - n)Z \quad \text{soit } n' - n = \frac{12n}{Z}$$

Par conséquent l'importance de la réduction dépendra de la durée de l'IFC au site considéré, soit  $n$ , et de la température moyenne journalière des dernières journées, soit  $\bar{\theta}$ .

Comme ordre de grandeur, en prenant  $n = 100$  jours et  $\bar{\theta} = 24^\circ\text{C}$ , on aura :  $Z = (24 - 14,5) \times 24 = 228$   
soit  $n' - n = 5,2$  jours.

## BIBLIOGRAPHIE

- DURAND (R.). 1967  
Action de la température et du rayonnement sur la croissance.  
*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.  
*Annales de Physiologie végétale*, 9, 1, 87-105.
- DURAND (R.).  
Courbe d'action de la température sur la croissance. Ajustement polynomial (résumé).  
*Physiol. végét.*, vol. 12, n°3, 1974, p. 526.
- GANRY (J.).  
Etude du développement du système foliaire du bananier en fonction de la température.  
*Fruits*, vol. 28, n°7-8, 1973, p. 499-516.
- HORD (H.H.V.) and SPELL (D.P.).  
Temperature as a basis for forecasting banana production.  
*Tropic. Agricult., Trin.*, vol. 39, n°3, juin 1962.
- KUHNE (F.A.) and KRUGER (J.J.). 1973.  
Phenological studies of the banana plant.  
*The Citrus and subtropical fruit journal*, Johannesburg, n°472, p. 12-16.
- LASSOUDIÈRE (A.) et MAUBERT (P.). 1971.  
Evolution des dimensions des bananes entre l'émission de l'inflorescence et la récolte du régime.  
*Fruits*, vol. 25, n°5, p. 321-331.
- LOSSOIS (P.).  
Recherche d'une méthode de prévision des récoltes en culture bananière.  
*Fruits*, vol. 18, n°6, 1963, p. 283-293.
- MELIN (Ph.) et AUBERT (B.). 1973.  
Observations sur un type de maturation anormale (pulpe jaune) de la banane avant récolte.  
*Fruits*, 1973, vol. 28, n°12.
- MEYER J.P.  
Rapport essai ablation de mains. 1974.  
*Document interne IFAC*.
- PERUMAL (A.) and ADAM (A.V.).  
Bagging of Giant Cavendish banana stems in Honduras. I - Effects of number of days from flower emergence to fruit harvest.  
*Tropic. Agricult. (Trinidad)*, 45, p. 109-112.
- SIMMONDS (N.W.).  
The development of the banana fruit.  
*Journal of Exp. Botany*, vol. 4, n°10, p. 87-105, Feb. 1953.
- TURNER (D.W.) and RIPPON (L.E.).  
Effect of bunch covers on fruit growth and maturity in bananas  
*Tropic. Agriculture (Trinidad)*, vol. 50, n°3, July 1973.