

Calcul des "sommées de vitesses de développement" et des températures moyennes journalières à partir du minimum et du maximum journaliers de température, sous climats tropical et équatorial.

J. GANRY

CALCUL DES «SOMMES DE VITESSES DE DÉVELOPPEMENT»
ET DES TEMPÉRATURES MOYENNES JOURNALIÈRES
A PARTIR DU MINIMUM ET DU MAXIMUM JOURNALIERS
DE TEMPÉRATURE, SOUS CLIMATS TROPICAL ET ÉQUATORIAL

J. GANRY (IRFA)

Fruits, avril 1978, vol. 33, n°4, p. 221-236.

RESUME - La température T_h d'une certaine heure d'une journée peut être exprimée par la formule : $T_h = m + R_h A$

m = température minimum journalière

A = amplitude de température journalière,

R_h = coefficient horaire dépendant de la durée du jour.

On étudie la distribution de R_h au cours d'une journée. On montre ainsi que cette distribution varie avec la longueur du jour ; il en est de même pour la moyenne R_h .

La moyenne annuelle de R_h est voisine de 0,40. La méthode exposée permet de calculer simplement «des sommées de vitesses de développement» à partir des températures maximum et minimum journalières. En particulier la température moyenne journalière est donnée par la formule $\bar{T}_j = m + R_h A$

On montre ainsi que dans les conditions de l'étude (climats tropicaux et équatoriaux) la formule $0,5 (m + M)$, bien que couramment utilisée, n'exprime pas la température moyenne journalière, qui, en première approximation, est égale à $m + 0,4 (M - m)$.

On décrit en particulier une méthode de détermination des sommées de vitesses de développement de *Cercospora musae* à partir des températures minimum et maximum journalières en utilisant des abaques.

REMARQUE PRÉLIMINAIRE :

La tendance actuelle de l'IRFA à s'orienter vers un programme d'avertissements généralisés dans plusieurs domaines nous amène à devoir préciser les méthodes d'utilisation de la température.

Or il apparaît que des méthodes couramment utilisées sous climats tempérés ne sont pas toujours généralisables sous climats tropicaux ou équatoriaux. Il s'agit des méthodes des sommées de températures et des sommées de coefficients de température (Q10). De plus la littérature est très pauvre en ce qui concerne les méthodes d'utilisation de la température sous climat chaud.

Nous sommes donc amenés à rechercher une méthode pratique et fiable sans pouvoir cependant pousser l'étude trop loin, nos moyens et notre vocation ne nous le permettant pas.

La méthode développée ci-après doit donc être considérée comme un préliminaire à des études plus poussées, tout en étant dès lors suffisante pour les applications qui en seront faites au sein de l'IRFA.

INTRODUCTION

La vitesse de développement des végétaux (plantes, champignons, etc.) est en relation étroite avec la température.

Les lois d'action sont en général, pour les végétaux supérieurs et les champignons, représentées par des courbes «en cloche» du type de celles présentées sur la figure 1. La température passe par un optimum pour lequel la vitesse de développement est maximum.

On calcule des «sommés de vitesses de développement», chaque vitesse élémentaire V_i correspondant à une température T_i .

A partir du calcul de ces sommés de vitesses de développement on peut suivre et prévoir l'apparition de tel ou tel stade de développement (floraison, fructification, stade récolte, etc.).

On passe alors au stade des avertissements agricoles, permettant d'intervenir à titre préventif sur les maladies, de prévoir la date de récolte, etc.) (DURAND, 1967, 1969 ; BIDABE, 1967 ; NIQUEUX et ARNAUD, 1967 ; GUYOT et CUILLE, 1958 ; HORD et SPELL, 1962 ; GANRY et MEYER, 1972, 1975).

On a souvent l'habitude de ramener tous les problèmes concernant l'action de la température à des relations entre la somme de températures ou la somme de coefficients de température Q_{10} , et le développement des plantes. En fait il faut bien garder à l'esprit que ces relations ne sont utilisables que lorsque les températures se situent dans la partie exponentielle (pour le Q_{10}) ou dans la partie linéaire (pour la somme des températures) de la courbe d'action de la température sur le végétal considéré.

Tel est souvent le cas sous climats froids ou tempérés.

La probabilité d'une telle éventualité diminue d'autant que l'on se déplace vers les basses latitudes (climats chauds).

Il est nécessaire de connaître la loi d'action de la température sur la plante considérée ou tout au moins d'en connaître les éléments principaux : limites de la partie exponentielle, limites de la partie linéaire, température optimum.

Trois cas peuvent se présenter :

1. si les températures de la zone considérée se situent dans la gamme correspondant à la partie linéaire de la loi d'action, on pourra utiliser la **méthode des «sommés de températures»**.

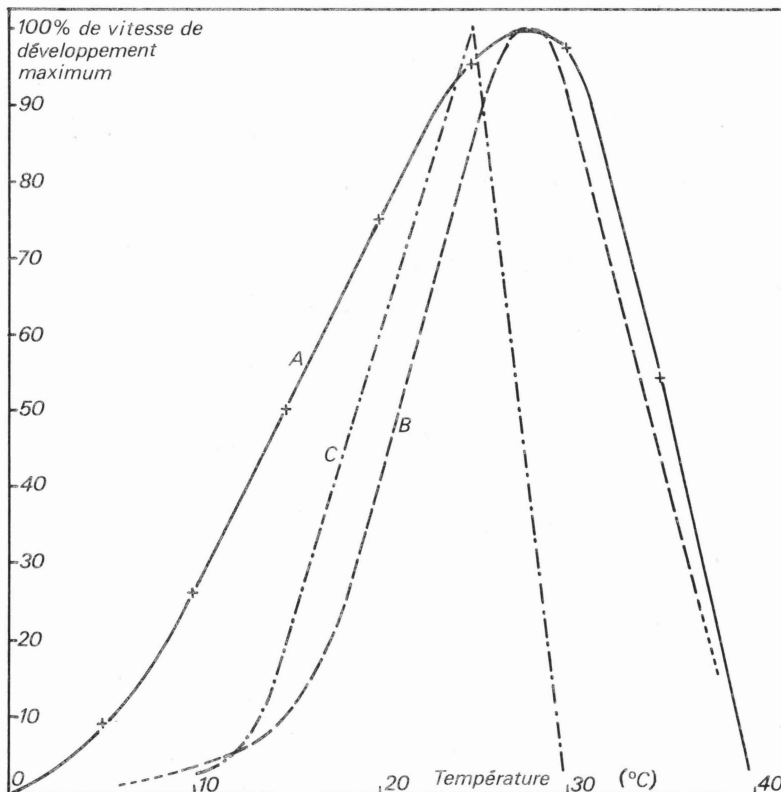


Figure 1
EXEMPLES DE LOIS D'ACTION DE LA TEMPERATURE SUR LA VITESSE DE CROISSANCE OU DE DEVELOPPEMENT DES VEGETAUX.

Courbe A - Action de la température sur la vitesse de germination des graines de lin. La vitesse de germination est exprimée en pourcentage de la vitesse maximum (d'après R. DURAND, S. DE PARCEVAUX, P. ROCHE).

Courbe B - Action de la température interne du pseudo-tronc sur le coefficient de vitesse de croissance des feuilles du bananier, exprimé en pourcentage du coefficient maximum (d'après J. GANRY).

Courbe C - Action de la température sur le développement d'une culture de mycélium de *Cercospora musae*. (courbe établie par H. GUYOT et J. CUILLE à partir des travaux de CALPOUZOS).

La vitesse de développement varie linéairement avec la température.

$$V = \alpha (T - T_0)$$

$$\text{soit } \Sigma V = \alpha \sum_{t_i}^{t_f} (\bar{T}_j - T_0). \text{ (DURAND, 1967, 1969)}$$

\bar{T}_j étant la température moyenne du jour j

T_0 étant la température pour laquelle

$$V = 0 \text{ (zéro végétatif)}$$

2. si les températures de la zone considérée se situent dans la gamme correspondant à la partie exponentielle de la loi d'action (c'est un cas très peu fréquent sous climats chauds) on pourra utiliser la méthode des sommes des coefficients de température (Q10).

Nous ne la détaillerons pas, vu sa rareté d'emploi sous climats chauds. Signalons seulement qu'afin d'atteindre une certaine précision dans les calculs il est préférable d'appliquer la loi du Q10 à des températures horaires plutôt qu'à des moyennes journalières. Il apparaît donc nécessaire de connaître la distribution horaire des températures.

3. si les températures de la zone considérée comprennent l'optimum thermique, on sera obligé d'effectuer la somme des vitesses de développement V_i , calculées à partir des températures instantanées T_i (méthode thermophysique de LIVINGSTONE, 1916).

La relation entre T_i et V_i dépendra de la loi d'action considérée. Dans ce cas-là deux éléments doivent être connus :

- la loi d'action de la température sur la vitesse de développement du végétal considéré (obtenue expérimentalement point par point ou par ajustement polynomial (GANRY, MEYER, 1975).

- la fréquence des températures instantanées (ou horaires) sur une certaine période (semaine ou mois) pour pouvoir calculer la somme des vitesses de développement sur cette période.

L'application d'une de ces trois méthodes nécessite l'acquisition d'un certain nombre de données de températures.

- la méthode des sommes de températures n'utilise que les températures moyennes journalières.

On a l'habitude de les estimer par la relation

$$\bar{T}_j = 0,5 (M + m)$$

HALLAIRE (1950) justifie cette pratique courante pour les latitudes élevées (plus de 40° de latitude Nord).

En est-il de même pour les basses latitudes et ne commet-on pas une erreur appréciable en utilisant «mini plus maxi

sur deux» ?

- la méthode des coefficients de température et la méthode thermophysique nécessitent la connaissance de la distribution des températures au cours de la journée : ou bien températures moyennes horaires ou bien nombre d'heures par classe de températures.

H. GUYOT et J. CUILLE (1958) avaient employé une telle technique pour calculer la «somme de vitesses de développement» utilisée dans l'étude de la Cercosporiose du bananier, en partant des coefficients de croissance établis par CALPOUZOS. J. GANRY et J.P. MEYER ont repris cette technique en 1972 pour l'étude de la Cercosporiose et en 1975 pour l'étude de l'action de la température sur la vitesse de croissance des fruits du bananier.

Pratiquement, on détermine, sur les thermogrammes, le nombre d'heures par classe de températures (classes de 1°C).

A chaque classe de températures, représentée par la température moyenne \bar{T}_i , on fait correspondre une vitesse de développement V_i .

La somme de vitesses de développement à pour valeur $\Sigma V_i = \Sigma N_i \bar{V}_i$,

N_i étant le nombre d'heures correspondant à la classe i.

Ce mode de calcul, utilisé jusqu'à présent est très fastidieux et oblige de plus à enregistrer les températures. Le dépouillement sur diagramme est également une source d'erreur non négligeable.

Nous avons donc recherché une méthode de calcul qui soit à la fois simple et fiable, en s'inspirant des travaux de HALLAIRE (1950), et qui consiste à estimer la distribution horaire des températures à partir du maximum et du minimum journaliers.

MÉTHODES ET CONDITIONS DE L'ÉTUDE

Méthodologie.

HALLAIRE (1950) montre que la température T_h d'une certaine heure d'une journée donnée peut être exprimée avec une approximation suffisante par la formule.

$$T_h = m + R_h A \text{ relation (1)}$$

où m désigne le minimum de température du jour considéré,

A l'amplitude,

R_h un coefficient horaire qui ne dépend que de l'heure et de la durée du jour.

Comme nous l'avons déjà signalé, cette étude a été réalisée pour des latitudes relativement élevées (Versailles, Moscou, Upsala, De Bilt). Dans ces conditions, HALLAIRE montre que le coefficient R moyen journalier est peu différent de 0,5.

La température moyenne journalière peut donc être exprimée par la formule

$$\bar{T} = m + 0,5 (M - m)$$

d'où $\bar{T} = 0,5 (M + m)$.

Il s'agit maintenant de voir dans quelle mesure ces résultats peuvent être utilisés pour les basses latitudes (inférieures à 30°).

On se propose d'étudier la variation de R_h au cours d'une journée pour un lieu donné et pour les différents mois de l'année.

Connaissant cette distribution de R_h et les températures extrêmes journalières, il sera donc possible de connaître la distribution de T_h au cours de la journée.

A partir de ces données on pourra, d'une part calculer les températures moyennes journalières :

$$\bar{T}_j = m + \bar{R} A$$

débouchant sur le calcul des sommes de températures ;

et d'autre part calculer des sommes de vitesses de développement, soit pour une journée :

$$SD = \Sigma V = \Sigma_{24} V_h$$

V_h étant la vitesse de développement pour la température

$$T_h = m + R_h A.$$

Dans un second temps, on se propose de montrer que les relations obtenues en un lieu, sont applicables en d'autres lieux géographiquement et écologiquement différents.

Lieu et période étudiées.

La première phase de l'étude a été réalisée sur la Station IRFA de Neufchâteau en Guadeloupe à partir des données des années 1973, 1974 et 1975. La Station de Neufchâteau est située à 16°4 de latitude Nord, dans une zone caractérisée par un climat tropical insulaire ; l'altitude est de 250 m ; la température moyenne annuelle de 23,4°C.

La seconde phase de l'étude consistera à valider les résultats obtenus pour d'autres stations de Guadeloupe, de Martinique, du Cameroun et de Côte d'Ivoire.

Exploitation des données.

Dans chaque mois de chacune des années on choisit dix journées également réparties au cours du mois et pour lesquelles l'enregistrement des températures a été normal (sans accident de mesure et sans variations climatiques).

Pour chacune des journées, on dispose des températures extrêmes M et m , et on relève par pointage, les températures horaires sur le diagramme.

$$\text{Pour chaque heure de la journée on calcule } R_h = \frac{T_h - m}{A}$$

On dispose ainsi, pour chaque journée, de la distribution de R_h qui permet le calcul de \bar{R}_h .

RÉSULTATS

Le tableau 1 donne pour chaque mois les valeurs moyennes des coefficients R_h exprimés en fonction de l'heure locale h .

La variation des moyennes mensuelles de R_h au cours de l'année est significative.

On montre, dans le cas de la présente étude, que les moyennes journalières à l'échelle mensuelle de R_h , soit \bar{R} , sont en très bonne corrélation avec la durée du jour DJ , la relation entre les deux paramètres étant sensiblement linéaire (figure 2).

Calcul d'une température moyenne journalière.

A partir des résultats obtenus, on peut calculer la température moyenne journalière

$$\text{soit } \bar{T} = m + \bar{R} A$$

\bar{R} étant déterminé à partir de la durée du jour

Pour les latitudes élevées, HALLAIRE trouvait $\bar{R} \approx 0,50$

Pour les basses latitudes, on trouve $\bar{R} \approx 0,40$, d'où en première approximation $T_j = m + 0,4 A$.

Il est donc inexact de penser que l'expression $\frac{M+m}{2}$ représente la température moyenne journalière (pratique courante jusqu'à présent).

Distribution de R_h au cours de la journée.

On a montré que \bar{R} variait au cours de l'année en fonction de la durée du jour. Il doit en être de même de la distribution de R_h au cours de la journée.

Il serait bien sûr possible, de rechercher une relation générale qui permettrait de calculer chaque valeur de R_h à partir de h et de DJ .

Nous avons préféré une solution plus simple qui consiste à diviser l'année en trois classes de durée du jour et de déterminer pour chacune de ces classes une distribution moyenne de R_h .

Les trois classes comprennent un nombre entier de mois, chaque mois étant caractérisé par une durée du jour moyenne :

- classe HIVER avec DJ inférieure à 11,5 heures couvrant janvier, février, novembre, décembre.

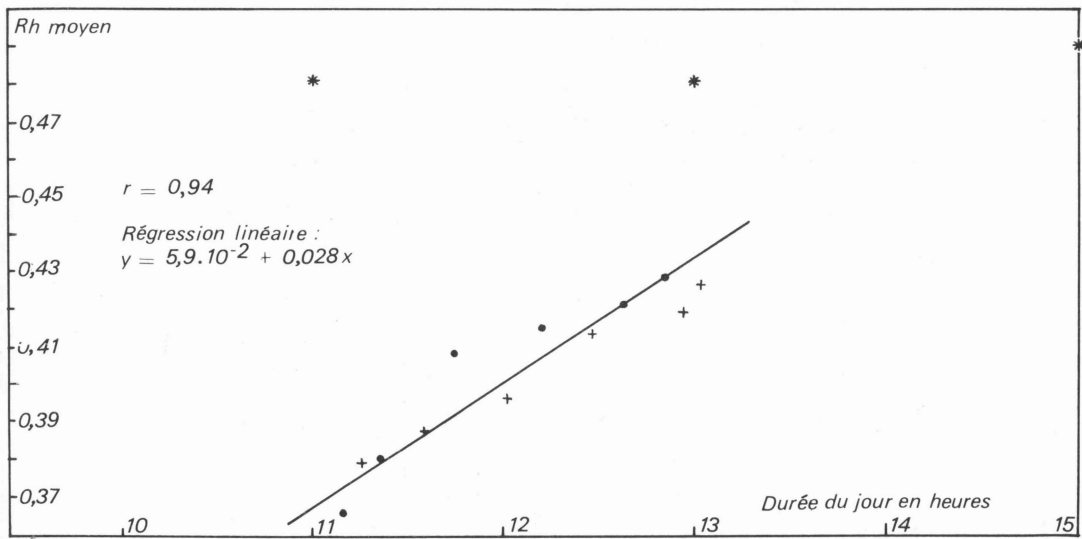


Figure 2
 RELATION ENTRE LA DURÉE DU JOUR ET LES VALEURS DE Rh MOYEN

+ jours croissants
 ● jours décroissants
 * valeurs trouvées par Hallaire

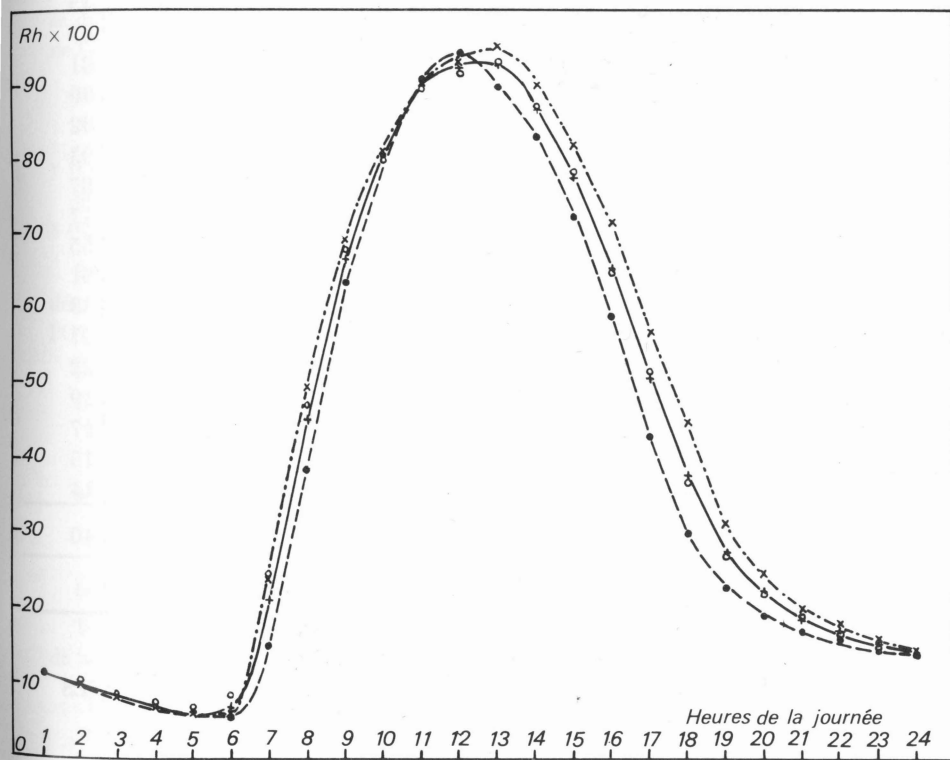


Figure 3
 VARIATIONS DE Rh AU COURS D'UNE JOURNÉE

+ —+ moyennes annuelles
 ● —● moyennes hiver
 x —x moyennes été
 o —o moyennes inter

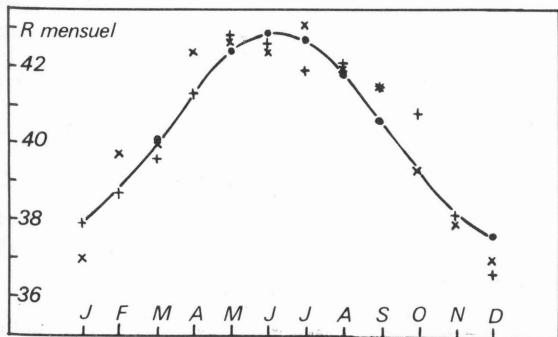


Figure 4
 VARIATIONS DU COEFFICIENT MOYEN R MENSUEL AU COURS DE L'ANNÉE

- Courbe en traits pleins : valeurs de R calculées à partir de la régression (R, DJ) de la figure 2.
 - Points + : valeurs obtenues à Neufchâteau en 1973-1974-1975 et tirées du tableau 1.
 - Points x : valeurs moyennes de VERNOU, BOIS-DEBOUT, NEUFCHATEAU et GRAND MARIGOT pour l'année 1975 et tirées du tableau 2.

TABLEAU 1 - Distribution horaire des valeurs de R_h (x 100).

- pour chaque mois de l'année,
- pour la série Hiver : janvier - février - novembre - décembre,
- pour la série INTER : mars - avril - septembre - octobre,
- pour la série ÉTÉ : mai - juin - juillet - août
- pour l'année

Mois :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	HIVER	INTER	ÉTÉ	ANNÉE
Heure																
1	13	11	12	12	11	10	12	12	11	10	11	9	11	11	11	11
2	11	11	11	10	9	10	9	10	10	10	9	8	10	10	9	10
3	8	9	8	8	7	9	7	9	9	8	7	6	8	8	8	8
4	7	8	7	7	6	7	7	8	7	8	7	4	6	7	7	7
5	8	5	8	4	4	6	7	5	6	10	7	4	6	7	6	6
6	7	5	10	4	6	9	6	5	7	13	6	4	5	9	6	7
7	14	10	21	23	27	31	22	15	22	33	23	14	15	25	24	21
8	37	34	44	47	54	57	47	39	44	54	47	36	39	47	49	45
9	60	59	67	67	73	75	67	61	66	72	72	62	63	68	69	67
10	79	75	81	78	84	86	78	77	80	85	85	78	80	81	81	81
11	91	90	87	89	92	93	87	87	89	93	89	92	91	89	90	90
12	95	93	92	91	93	94	94	92	91	92	93	96	94	91	93	92
13	90	94	95	94	93	96	96	96	94	90	83	92	90	93	95	93
14	83	88	89	89	89	87	91	93	88	83	77	83	83	87	90	87
15	72	77	77	83	78	80	83	85	80	72	69	72	72	78	82	77
16	58	65	64	69	69	67	74	75	67	58	57	56	59	64	71	65
17	42	50	49	54	56	51	58	62	56	46	39	40	43	51	57	51
18	29	35	33	41	44	40	45	50	42	32	29	28	30	37	45	38
19	24	23	22	29	31	29	30	35	32	26	24	20	23	27	31	27
20	21	20	19	24	25	23	23	26	26	21	19	17	19	22	24	22
21	18	18	17	19	22	19	18	21	20	19	17	16	17	19	20	19
22	14	18	15	18	19	18	17	18	18	16	17	15	16	17	18	17
23	13	16	12	16	18	15	15	16	16	15	15	14	14	15	16	15
24	15	15	12	15	17	13	13	15	15	15	12	13	14	14	14	14
Moy.	38	39	40	41	43	43	42	42	41	41	38	37	38	41	42	40
DJ	11,25	11,58	12,02	12,47	12,85	13,04	12,95	12,63	12,20	11,74	11,35	11,15	11,33	12,11	12,87	

- classe INTER avec DJ comprise entre 11,5 et 12,5 heures couvrant mars, avril, septembre, octobre

- classe ÉTÉ avec DJ supérieure à 12,5 heures couvrant mai, juin, juillet, août.

La figure 3 montre les variations de R_h au cours de la journée pour chacune des séries considérées. Elles sont comparées à la courbe moyenne annuelle de distribution journalière de R_h .

Un allongement de DJ se traduit par un évasement de la courbe ; une diminution de DJ se traduit par un resserrement de la courbe.

La courbe moyenne annuelle est très voisine de la courbe correspondant à la série INTER.

MODE DE CALCUL D'UNE SOMME DE VITESSES DE DÉVELOPPEMENT

Il faut signaler pour mémoire, l'analyseur de températures proposé par HALLAIRE en 1950. Il permettait de déterminer graphiquement les températures horaires à partir du minimum et du maximum journaliers.

Cette méthode d'analyse a été assez peu utilisée pour deux raisons essentielles :

- sous climats tempérés et septentrionaux, la température moyenne journalière est bien estimée à partir de $0,5 (M+m)$ (HALLAIRE, 1950).

- dans ces conditions, les gammes de températures se

situent en-deçà de l'optimum thermique, ce qui permet d'utiliser ou bien une loi du Q 10 ou bien une loi linéaire.

Il n'en est pas du tout de même sous climats tropicaux ou équatoriaux. Nous décrivons deux modes de détermination des sommes de vitesses de développement, l'un utilisant directement le calcul, l'autre utilisant des abaques.

Méthode de calcul sur calculatrice programmable.

Cette méthode nécessite l'utilisation d'une petite calculatrice programmable. On l'utilisera pour des calculs précis.

Programme.

Le programme utilisé comprend le registre des valeurs de R_h .

La loi d'action de la température sur la vitesse de développement de l'organisme étudié (par exemple Cercosporiose du bananier) est ajustée à deux droites articulées autour de l'optimum thermique.

Droite A : $y = a x + b$ avec $a > 0$.

Droite B : $y = a' x + b'$ avec $a' < 0$.

y représente la vitesse de développement (ou un coefficient de développement)

x représente la température.

Par exemple la loi d'action de la température sur le développement de la Cercosporiose du bananier, selon CALPOUZOS peut être ajustée aux deux droites :

Droite A : $y = 8x - 100$ pour $T < 25^\circ\text{C}$

Droite B : $y = -20x + 600$ pour $25^\circ \leq T \leq 30^\circ$
pour $T \geq 30^\circ$, $V = 0$

• Fonctionnement du programme

- Introduction des données.

Les données introduites sont :

Températures maximum et minimum de chaque journée de la semaine.

- Utilisation des données dans le cas de la loi de CALPOUZOS

Pour chaque journée :

Le programme établit le registre T_h à partir du registre R_h , de m et $A = M - m$.

Le programme teste les valeurs de T_h obtenues :

. Si $T_h < 25^\circ$, il calcule $V_h = 8 T_h - 100$

. Si $T_h = 25^\circ$, $V_h = 100$

. Si $25^\circ < T_h < 30^\circ$, il calcule $V_h = -20x + 600$

. Si $T_h > 30^\circ$, $V_h = 0$

Pour chaque heure de la journée, V_h est cumulée en

mémoire.

Pour chaque journée, le programme peut donner la «somme de vitesses de développement journalier». Pour la semaine, après avoir analysé les données de chaque journée, le programme donne la «somme de vitesses de développement» hebdomadaire.

- Le programme peut être, selon les capacités de la machine, utilisé pour le calcul simultané de plusieurs «sommes de développement», correspondant à diverses lois d'action de la température.

En particulier, il peut calculer simultanément la somme thermique linéaire avec divers seuils d'action.

Méthodes simplifiées utilisant des abaques.

La vitesse de développement est une fonction univoque de la température et on montre que la température de chaque heure est une fonction univoque du maxi et du mini journaliers. On peut donc établir des tableaux à double entrée où à un couple «maxi-mini» correspond une vitesse de développement journalière. On peut en tirer des abaques permettant une détermination graphique directe.

On a ainsi établi des abaques permettant la détermination des vitesses journalières de développement de la Cercosporiose du bananier (à partir des données de CALPOUZOS) (figure 5 a, b, c).

Il est possible d'établir des abaques correspondant à n'importe quelle loi d'action de la température.

Remarque :

Pour le calcul des sommes de températures, on utilisera le mode de calcul direct qui reste le plus simple et le plus précis ($\bar{T}_j = m + \bar{R} \cdot A$).

EXTENSION DES RÉSULTATS A D'AUTRES SITES CLIMATIQUES

Validité de la moyenne journalière de R_h .

Les moyennes journalières de R_h utilisées précédemment ont été calculées d'après la méthode exposée, à partir de 10 journées par mois pendant trois ans.

On se propose de comparer ces valeurs aux valeurs moyennes mensuelles calculées à partir des données de toutes les journées de l'année, en utilisant une méthode différente :

On dispose des dépouillements journaliers des thermogrammes, donnant le nombre d'heures par classe de températures. On peut ainsi calculer, pour chaque journée, une température moyenne :

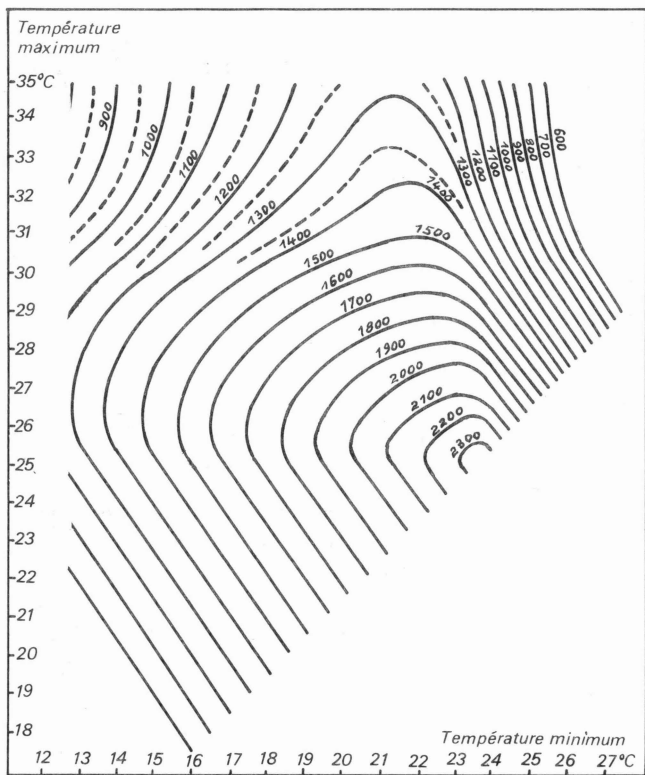


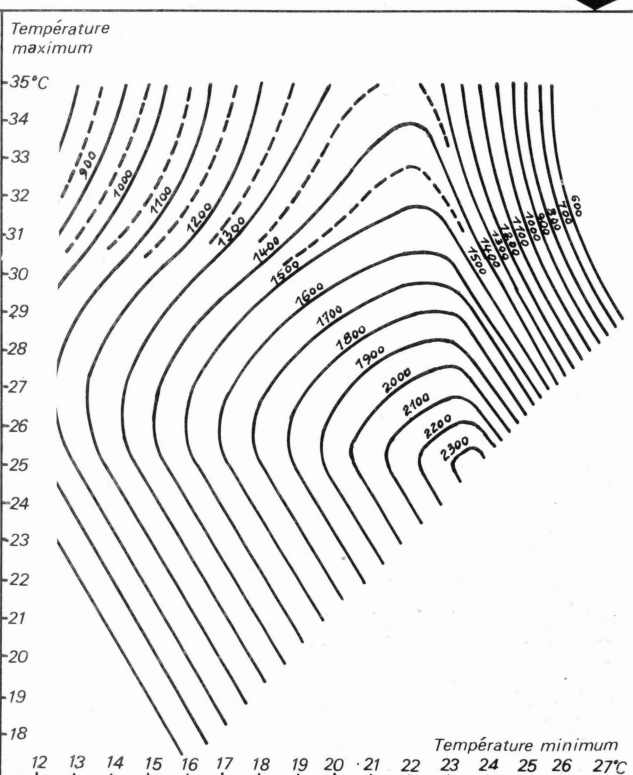
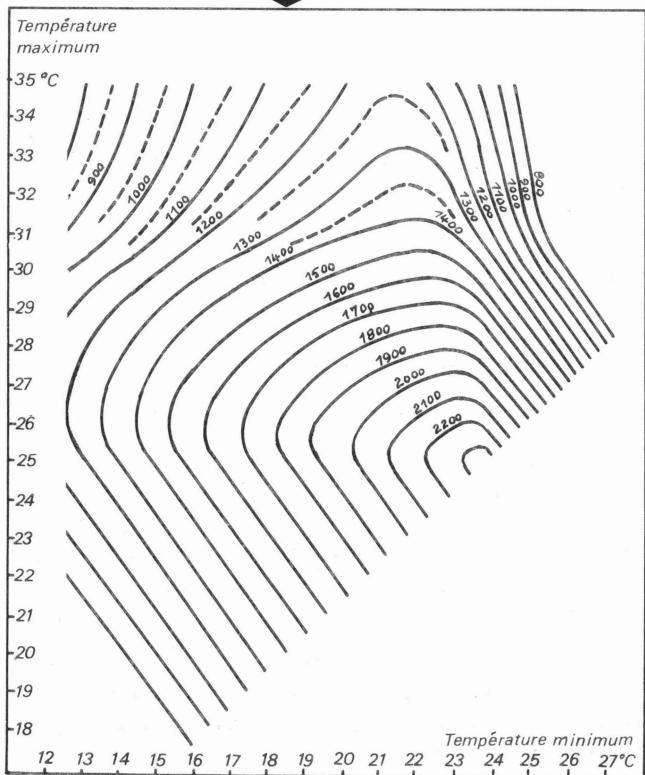
Figure 5 a-b-c

ABAQUES DONNANT LA VITESSE JOURNALIERE DE CROISSANCE DE CERCOSPORA MUSAE (COEFFICIENTS DE CALPOUZOS EXPRIMES EN P. CENT DE LA VITESSE MAXIMUM) A PARTIR DU MAXIMUM ET DU MINIMUM DE TEMPERATURE MESURES SOUS ABRI METEOROLOGIQUE, POUR LES MOIS DE :

Fig. 5a • INTER OU ANNEE
mars-avril-septembre-octobre

Fig. 5b • ETE
mai-juin-juillet-août

Fig. 5c • HIVER
novembre-décembre-janvier-février



$$\bar{T}_j = (\sum T_i \times N_i) / 24$$

avec T_i = température moyenne d'une classe i

N_i = nombre d'heures pour la classe de température i

Pour chacune de ces journées on dispose également des températures maximum et minimum (M_j et m_j).

On peut donc calculer pour chaque jour :

$$\bar{R}_j = \frac{\bar{T}_j - m_j}{A_j}; A_j = M_j - m_j, \text{ étant l'amplitude thermique journalière}$$

Ces calculs ont été effectués pour

- 4 stations de Guadeloupe pour l'année 1975 :

Neufchâteau, station déjà étudiée précédemment

Une station de basse altitude située à 90 mètres d'altitude sur la côte Est «au vent» (Bois Debout)

Une station d'altitude située à 300 mètres d'altitude sur la côte Est «au vent» (Vernou)

Une station d'altitude située à 600 mètres d'altitude sur la côte Ouest «sous le vent» (Grand Marigot).

- Une station de Martinique :

Station de Chalvet, située à 60 mètres d'altitude et par 14°05 de latitude Nord

- Deux stations de Côte d'Ivoire :

Anguédédou (années 1974 et 1976) située à 60 mètres d'altitude par 5°2 de latitude Nord.

Azaguié (année 1976), située à 35 mètres d'altitude par 5°3 de latitude Nord

On compare les valeurs moyennes mensuelles de R_h , ainsi obtenues, entre stations d'une part, et aux valeurs moyennes mensuelles obtenues à Neufchâteau précédemment (années 1973, 1974, 1975). C'est ce qu'indique le tableau 2 (a et b). Dans tous les cas on trouve une moyenne annuelle de R_h voisine de 0,40. Les moyennes mensuelles sont affectées d'un écart-type souvent assez important traduisant les variations imputables à la méthode de calcul, moins précise que celle utilisée précédemment.

Malgré cela on a recherché la corrélation entre R mensuel et DJ pour les quatre stations de Guadeloupe. Elle est hautement significative. La régression pour l'ensemble des quatre stations n'est pas significativement différente de celle obtenue précédemment (tableau 3).

Pour les stations de Côte d'Ivoire, la durée du jour ne variant pratiquement pas, les variations de \bar{R}_h au cours de l'année ne sont pas imputables à ce paramètre. De toute manière, les différences observées entre valeurs mensuelles ne sont pas significativement différentes entre elles.

Validité des résultats obtenus pour le calcul de sommes de vitesses de développement et de températures moyennes journalières.

Le dépouillement des thermogrammes par classe de tem-

pératures a permis de calculer, pour diverses stations climatologiques :

- les températures moyennes hebdomadaires,
- les «sommes de vitesses de développement» hebdomadaires de la Cercosporiose.

Les stations et périodes étudiées sont les mêmes que précédemment avec en complément une station du Cameroun : Lysoka, située à 573 mètres d'altitude et par 4°10 de latitude Nord.

On compare les valeurs ainsi obtenues aux valeurs calculées à partir de M et m (utilisation d'une calculatrice programmable, ou des abaques).

Pour les stations de Guadeloupe et de Martinique voisines en latitude, on tient compte de la longueur du jour en scindant l'année en trois périodes : ÉTÉ, INTER, HIVER.

Pour les stations du Cameroun et de Côte d'Ivoire (proches de l'Équateur), on utilise les distributions moyennes annuelles de température. La corrélation entre les diverses valeurs est très étroite, comme l'indique le tableau 4.

Dans chacun des cas, l'écart-type des écarts entre valeurs est inférieur aux erreurs pouvant être dues au dépouillement.

En effet les températures dépouillées sur thermogramme et ensuite rangées en classes de températures peuvent être affectées d'une erreur plus ou moins grande (manque de précision de l'enregistrement, imprécision du dépouillement, imprécision liée à la méthode de rangement en classes de températures).

Pour les stations bien suivies, pour lesquelles un contrôle permanent des appareils est effectué avec correction d'amplitude (cf. note technique de G. GUYOT), on peut estimer que dans 70 p. 100 des cas, cette erreur est inférieure à 0,5°C, que dans 25 p. 100 des cas elle est comprise entre 0,5 et 1°C et que dans 5 p. 100 des cas elle est supérieure à 1°C.

Une erreur systématique de 0,5°C sur une semaine se traduit par une erreur de l'ordre de 600 à 700 pour la somme de vitesses de développement de la Cercosporiose.

La méthode proposée permet donc de calculer les sommes de vitesses de développement et les températures moyennes journalières avec une précision au moins égale à celle obtenue par dépouillements en classes de températures.

Pour les zones équatoriales (latitude inférieure à 10°) on utilisera la moyenne annuelle de \bar{R} ($R_h = 0,40$) ainsi que la distribution moyenne annuelle des R_h au cours de la journée (très voisine de la distribution de la période INTER).

Pour les zones voisines de 16° de latitude Nord ou Sud, on utilisera les distributions de R_h ÉTÉ, INTER et HIVER obtenues à Neufchâteau ainsi que les valeurs de \bar{R} correspondantes.

TABLEAU 2 a - Valeurs moyennes mensuelles de \bar{R} pour trois stations climatiques de Guadeloupe en 1975, calculées par la formule $\bar{R} = \frac{\bar{T} - m}{A}$

Comparaison avec les valeurs calculées à Neufchâteau en 1973-1974-1975, à partir des pointages horaires des thermogrammes, avec les valeurs calculées à partir de la régression entre DJ et R.

Mois	GRAND MARIGOT 1975		VERNOU 1975		BOIS DEBOUT 1975		NEUFCHA-TEAU 1975		Guadeloupe Moy. 1975		NEUFCHA-TEAU 1973-74-75 autre méthode		Régression avec DJ	
	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET de l'erreur sur une estimation de \bar{R}_m
janvier	0,38	0,11	0,36	0,08	0,37	0,11	0,36	0,12	0,37	0,11	0,38	0,05	0,38	0,005
février	0,40	0,07	0,39	0,07	0,41	0,08	0,39	0,08	0,40	0,08	0,39	0,04	0,39	0,004
mars	0,40	0,09	0,38	0,08	0,43	0,09	0,39	0,07	0,40	0,08	0,40	0,04	0,40	0,002
avril	0,40	0,07	0,42	0,08	0,43	0,09	0,43	0,09	0,42	0,08	0,41	0,04	0,41	0,003
mai	0,43	0,08	0,42	0,05	0,43	0,10	0,43	0,09	0,43	0,08	0,43	0,04	0,42	0,005
juin	0,41	0,09	0,42	0,06	0,42	0,06	0,43	0,08	0,42	0,07	0,43	0,04	0,43	0,006
juillet	0,42	0,08	0,43	0,06	0,44	0,06	0,42	0,07	0,43	0,06	0,42	0,04	0,43	0,005
août	0,42	0,09	0,42	0,09	0,43	0,08	0,43	0,08	0,42	0,08	0,42	0,04	0,42	0,004
septembre	0,43	0,08	0,41	0,09	0,42	0,06	0,42	0,09	0,42	0,08	0,41	0,04	0,41	0,002
octobre	0,40	0,09	0,38	0,08	0,40	0,09	0,39	0,10	0,39	0,09	0,41	0,04	0,39	0,003
novembre	0,40	0,09	0,38	0,06	0,38	0,12	0,36	0,10	0,38	0,11	0,38	0,03	0,38	0,005
décembre	0,37	0,10	0,36	0,06	0,38	0,13	0,37	0,07	0,37	0,09	0,37	0,04	0,38	0,006
	0,40		0,39		0,41		0,40		0,40		0,40		0,40	

TABLEAU 2 b - Valeurs moyennes mensuelles de R pour des stations de Martinique et Côte d'Ivoire, calculées par la formule $R = \frac{\bar{T} - m}{A}$

	MARTINIQUE		COTE D'IVOIRE					
	CHALVET		AZAGUIÉ		ANGUÉDEDOU		ANGUÉDÉDOU	
	1974		1976		1974		1976	
	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET	\bar{R}_m	ET
janvier	0,39	0,08			0,39	0,05	0,39	0,06
février	0,39	0,07			0,40	0,07		
mars	0,42	0,06			0,43	0,07	0,40	0,07
avril	0,41	0,05	0,42	0,07	0,42	0,06	0,36	0,07
mai	0,42	0,06	0,39	0,07	0,44	0,07	0,40	0,06
juin	0,40	0,06	0,36	0,07	0,42	0,07	0,38	0,08
juillet	0,41	0,07	0,39	0,07	0,43	0,08	0,38	0,06
août	0,40	0,06	0,41	0,09	0,41	0,08	0,40	0,07
septembre	0,37	0,07	0,40	0,06	0,39	0,11	0,38	0,06
octobre	0,40	0,04	0,40	0,07	0,40	0,06	0,36	0,07
novembre	0,38	0,05	0,37	0,03	0,43	0,04	0,41	0,06
décembre	0,40	0,05	0,38	0,06	0,41	0,07	0,40	0,06
moyenne	0,40		0,39		0,41		0,39	

* janvier 1977

TABLEAU 3 - Relation entre la durée du jour et le coefficient moyen mensuel R (12 valeurs), pour quatre stations de Guadeloupe.

Zone	$\bar{D}J$	\bar{R}	r	Régression $x = DJ$ $y = R$	ET_r	F	ET_b
Vernou 75	12,10	0,40	0,96	$y = 0,013 + 0,034 x$	0,007	114	0,003
Bois Debout 75	12,10	0,41	0,86	$y = 0,062 + 0,029 x$	0,012	29	0,005
Neufchâteau 75	12,10	0,40	0,92	$y = -0,045 + 0,037 x$	0,012	53	0,005
Grand Marigot 75	12,10	0,40	0,78	$y = 0,153 + 0,021 x$	0,012	15	0,005
Ensemble	12,10	0,40	0,94	$y = 0,0328 + 0,031 x$	0,008	81	0,003
Neufchâteau 1973-74-75	12,10	0,40	0,94	$y = 0,060 + 0,028 x$	0,007	77	0,003

 $\bar{D}J$: durée moyenne du jour \bar{R} : coefficient moyen mensuel R

r : coefficient de corrélation

 ET_r : Écart-type résiduel de la régression ET_b : Écart-type du coefficient de régression ET_{y_0} : Écart-type de l'ordonnée à l'origineF : $t^2 = b^2 / ET_b^2$, b étant le coefficient de régression

TABLEAU 4 - Comparaison des sommes de vitesses de développement et températures moyennes, obtenues par dépouillement en classes de températures d'une part et à partir de M et m d'autre part.

Station	SD	N	SD (1)	SD (2)	r	EM	ET	ET/SD %	Pays
Neufchâteau (1975) Lat. 16°4 N Alt. 250 mètres	T	54	23,1	23,1	0,97	0	0,3	1,3	Guadeloupe
	C	54	12940	12870	0,91	70	280	2,2	
Vernou (1975) Lat. 16°8 N Alt. 300 m	T	52	22,9	22,9	0,97	0	0,3	1,4	
	C	52	12510	12340	0,85	+170	430	3,4	
Bois Debout (1975) Lat. 16°1 N Alt. 90 mètres	T	45	24,6	24,5	0,99	0,1	0,2	0,9	
	C	45	12030	11940	0,94	90	340	2,8	
Chalvet (1974) Lat. Alt. 50 mètres	T	50	25,3	25,3	0,98	0	0,2	0,8	Martinique
	C	50	12390	12050	0,95	340	360	3,3	
Lysoka (1974) Lat. 4°1 N Alt. 573 mètres	T	52	22,8	22,7	0,93	0,1	0,3	1,8	Cameroun
	C	52	11320	11230	0,89	90	380	3,5	
Anguédedou (1974) Lat. 5°2 N Alt. 69 mètres	T	52	25,0	24,9	0,95	0,1	0,4	1,5	Côte d'Ivoire
	C	52	11860	11770	0,96	90	460	3,9	
Anguédedou (1976) Lat. 5°2 N Alt. 69 mètres	T	48	24,8	24,9	0,97	- 0,1	0,3	1,4	
	C	48	12140	11980	0,98	160	309	2,6	
Azaguié (1976) Lat. 5°3 N Alt. 35 mètres	T	49	24,6	24,7	0,95	- 0,1	0,3	1,4	
	C	49	11170	11210	0,95	- 40	390	3,5	

SD : somme de vitesses de développement

N : nombre de valeurs

SD (1) : somme de vitesses de développement obtenue par dépouillement des thermogrammes.

SD (2) : somme de vitesses de développement calculée à partir de M et m.

r : coefficient de corrélation entre les valeurs SD (1) et SD (2)

ET : Écart-type des écarts entre valeurs

T : températures moyennes hebdomadaires

C : sommes de vitesses de développement hebdomadaires de la Cercosporiose.

EM : SD (1) - SD (2)

Pour toutes les autres zones comprises entre 10 et 20° de latitude, on pourra en première approximation utiliser les mêmes valeurs. Si l'on veut plus de précision on pourra toujours calculer \bar{R} à partir de la longueur du jour (d'après la relation de la figure 2).

Il sera par contre nécessaire de déterminer une nouvelle distribution journalière de R_h .

Mais il faut remarquer que dans la plupart des cas une telle précision n'est pas nécessaire.

CONCLUSION

La méthode exposée devrait permettre, moyennant un minimum de moyens, de calculer simplement «des sommes de vitesses de développement» à partir des températures maximum et minimum journalières, quelle que soit la loi d'action considérée, à condition bien sûr de connaître cette dernière. On devrait tendre ainsi vers une simplification des techniques d'avertissement utilisant le facteur température

ANNEXE 1a - Tableau donnant la vitesse de croissance de la Cercosporiose (d'après les coefficients de CALPOUZOS) à partir du maximum et minimum journaliers de température, pour les mois de mars - avril - septembre - octobre.
(Chiffres de l'abaque 5a).

Maxi	Mini	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27
20	530	586	643	700	757	814	871	928	985	1042	1098	1155	1212	1269	1326	1383	1440															
20,5	569	626	682	739	796	853	910	967	1024	1081	1138	1194	1251	1308	1365	1422	1479															
21	608	664	721	778	835	892	949	1006	1063	1120	1177	1233	1290	1347	1404	1461	1518															
21,5	647	703	760	817	874	931	988	1045	1102	1159	1216	1272	1329	1386	1443	1500	1557	1614	1671													
22	686	742	799	856	913	970	1027	1084	1141	1198	1255	1311	1368	1425	1482	1539	1596	1653	1710	1767												
22,5	725	781	838	895	952	1009	1066	1123	1180	1237	1293	1350	1407	1464	1521	1578	1635	1692	1749	1806	1862											
23	764	820	877	934	991	1048	1105	1162	1219	1276	1332	1389	1446	1503	1560	1617	1674	1731	1788	1844	1901	1958										
23,5	803	859	916	973	1030	1087	1144	1201	1258	1315	1372	1428	1485	1542	1599	1656	1713	1770	1827	1883	1940	2005										
24	842	898	955	1012	1069	1126	1183	1240	1297	1354	1410	1467	1524	1581	1638	1695	1753	1809	1866	1922	1979	2036	2094	2150								
24,5	881	937	994	1051	1108	1165	1222	1279	1336	1393	1450	1506	1563	1620	1677	1734	1792	1848	1905	1962	2018	2075	2133	2189	2246	2302	2358	2415	2472	2529	2586	2643
25	920	977	1034	1091	1148	1205	1262	1319	1376	1433	1490	1546	1603	1660	1717	1774	1831	1888	1945	2002	2058	2115	2172	2229	2286	2343	2400	2457	2514	2571	2628	2685
25,5	962	1019	1076	1132	1189	1246	1303	1360	1417	1473	1530	1587	1643	1700	1756	1812	1866	1921	1975	2029	2083	2137	2190	2244	2298	2352	2406	2460	2514	2568	2622	2676
26	1000	1056	1112	1167	1223	1279	1333	1388	1443	1497	1550	1604	1656	1709	1760	1812	1863	1915	1964	2013	2058	2104	2145	2187	2223	2265	2307	2349	2391	2433	2475	2517
26,5	1019	1072	1126	1179	1232	1286	1338	1389	1441	1492	1543	1595	1646	1698	1747	1796	1842	1888	1933	1979	2021	2063	2098	2134	2158	2172	2186	2199	2212	2225	2238	2251
27	1018	1069	1121	1172	1224	1275	1327	1378	1429	1481	1529	1578	1625	1672	1717	1763	1808	1854	1896	1938	1974	2010	2040	2070	2089	2092	2098	2106	2112	2118	2124	2129
27,5	1007	1058	1110	1161	1212	1263	1312	1360	1409	1456	1501	1547	1592	1638	1684	1730	1772	1814	1850	1886	1921	1956	1980	2004	2018	2009	1910	1768	1626	1484	1342	1200
28	995	1044	1094	1142	1191	1239	1285	1331	1376	1422	1467	1513	1559	1605	1647	1689	1725	1761	1797	1834	1864	1894	1914	1934	1928	1922	1812	1670	1528	1386	1244	1102
28,5	974	1021	1069	1114	1160	1206	1251	1297	1343	1388	1434	1480	1521	1563	1600	1637	1673	1709	1744	1779	1803	1828	1845	1863	1847	1831	1714	1572	1430	1288	1146	1004
29	944	989	1035	1080	1126	1172	1218	1263	1309	1355	1396	1438	1475	1512	1548	1585	1621	1657	1687	1718	1740	1762	1776	1791	1765	1740	1616	1474	1322	1190	1048	906
29,5	910	955	1001	1047	1093	1138	1184	1230	1271	1312	1350	1388	1424	1460	1496	1532	1566	1601	1626	1652	1673	1694	1705	1717	1682	1648	1518	1376	1234	1092	950	808
30	876	922	968	1013	1059	1104	1146	1187	1227	1263	1299	1336	1372	1408	1444	1480	1511	1542	1564	1586	1604	1623	1630	1638	1596	1554	1420	1278	1136	994	852	710
30,5	843	888	932	976	1020	1059	1098	1137	1175	1211	1247	1284	1321	1356	1392	1422	1452	1478	1503	1524	1543	1556	1569	1563	1533	1436	1339	1199	1060	921	782	640
31	809	852	895	936	977	1013	1050	1087	1123	1160	1196	1233	1270	1304	1339	1367	1394	1418	1442	1462	1481	1494	1507	1488	1469	1364	1258	1120	983	848	712	576
31,5	777	819	859	899	939	979	1014	1052	1089	1128	1166	1203	1240	1273	1306	1333	1359	1384	1408	1426	1443	1456	1468	1445	1422	1315	1208	1073	937	805	673	537
32	745	784	822	861	900	939	978	1017	1055	1095	1135	1172	1209	1241	1272	1297	1323	1349	1374	1392	1410	1419	1428	1402	1375	1266	1157	1023	890	762	634	502
32,5	723	763	802	842	881	920	960	999	1039	1092	1116	1166	1186	1216	1246	1273	1300	1325	1350	1369	1389	1394	1398	1368	1337	1227	1117	987	856	729	601	473
33	702	742	782	822	862	902	942	982	1022	1059	1096	1130	1163	1191	1219	1248	1271	1301	1325	1346	1367	1368	1369	1334	1299	1188	1077	950	822	696	569	441
33,5	686	726	766	806	846	889	930	970	1009	1046	1083	1114	1146	1175	1204	1233	1261	1284	1306	1326	1346	1345	1344	1307	1270	1157	1044	918	791	668	545	422
34	670	710	750	792	834	876	918	957	996	1033	1069	1099	1129	1159	1189	1217	1245	1266	1287	1306	1325	1322	1319	1280	1240	1126	1011	885	759	640	520	399
34,5	660	702	744	787	830	871	912	951	989	1022	1055	1085	1115	1145	1175	1201	1228	1251	1273	1291	1310	1305	1300	1257	1212	1096	980	857	734	616	498	376
35	650	694	738	782	826	866	906	944	981	1011	1041	1071	1101	1131	1161	1186	1210	1234	1259	1276	1294	1288	1281	1233	1184	1066	949	829	709	592	475	358

ANNEXE 1b - Tableau donnant la vitesse de croissance de la Cercosporiose (d'après les coefficients de CALPOUZOS) à partir du maximum et du minimum journaliers de température, pour les mois de mai - juin - juillet - août (chiffres de l'abaque 5b)

Maxi.	Mi.ni.	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27		
20	554	609	665	720	775	831	886	941	997	1052	1107	1163	1218	1273	1328	1384																		
20,5	595	650	706	761	816	872	927	982	1038	1093	1148	1203	1259	1314	1370	1425	1481																	
21	636	691	747	802	857	913	968	1023	1079	1134	1189	1244	1300	1355	1410	1466	1521	1576																
21,5	676	731	787	842	897	953	1008	1063	1119	1174	1229	1284	1340	1395	1450	1506	1562	1616	1672															
22	717	772	828	883	938	994	1049	1104	1160	1215	1270	1326	1381	1436	1492	1547	1603	1657	1713	1768														
22,5	758	813	869	924	979	1035	1090	1145	1201	1256	1311	1367	1422	1477	1532	1588	1643	1698	1754	1809	1864	1904	1960											
23	798	853	909	964	1019	1075	1130	1185	1241	1296	1351	1406	1462	1517	1572	1628	1684	1738	1784	1849	1904	1960												
23,5	839	894	950	1005	1060	1116	1171	1226	1282	1337	1392	1447	1503	1558	1613	1669	1724	1779	1835	1890	1945	2001	2057											
24	879	934	990	1045	1100	1156	1211	1266	1322	1377	1432	1487	1543	1598	1654	1709	1765	1819	1875	1930	1985	2041	2097	2151										
24,5	920	975	1031	1086	1141	1197	1252	1307	1363	1418	1473	1528	1584	1639	1695	1750	1806	1860	1916	1971	2026	2082	2138	2192	2248									
25	961	1016	1072	1127	1182	1238	1293	1348	1403	1459	1514	1569	1625	1680	1735	1791	1846	1901	1957	2012	2067	2123	2178	2233	2289	2344								
25,5	1002	1057	1113	1168	1223	1279	1334	1389	1444	1498	1553	1608	1662	1716	1770	1824	1878	1931	1982	2033	2084	2135	2184	2230	2272	2308	2298							
26	1033	1086	1140	1193	1247	1301	1355	1409	1462	1514	1565	1616	1667	1718	1769	1819	1870	1921	1968	2014	2059	2105	2145	2182	2215	2235	2197	2058						
26,5	1046	1097	1148	1199	1250	1300	1351	1402	1453	1504	1554	1605	1656	1706	1752	1798	1844	1889	1934	1978	2017	2054	2091	2123	2144	2157	2095	1957	1818					
27	1035	1086	1137	1188	1239	1290	1340	1391	1442	1490	1536	1582	1627	1673	1718	1764	1808	1851	1889	1926	1963	1999	2031	2054	2070	2073	1993	1855	1717	1578				
27,5	1025	1075	1126	1176	1227	1275	1320	1366	1411	1457	1502	1548	1594	1639	1683	1724	1762	1799	1836	1873	1906	1938	1963	1979	1993	1983	1892	1753	1615	1477	1338			
28	1012	1058	1104	1149	1195	1241	1287	1332	1378	1423	1469	1514	1556	1596	1634	1671	1708	1745	1780	1815	1843	1871	1889	1905	1914	1891	1790	1652	1513	1375	1237			
28,5	978	1024	1071	1116	1162	1207	1253	1299	1344	1388	1430	1469	1506	1543	1580	1618	1655	1691	1723	1754	1776	1798	1814	1829	1831	1796	1688	1550	1412	1273	1135			
29	946	991	1037	1082	1128	1174	1219	1261	1303	1341	1378	1416	1453	1490	1527	1564	1597	1630	1659	1687	1706	1724	1740	1750	1745	1701	1587	1448	1310	1172	1033			
29,5	912	957	1003	1048	1093	1135	1176	1213	1251	1288	1325	1362	1400	1437	1472	1506	1538	1569	1593	1617	1633	1649	1665	1671	1657	1605	1485	1346	1208	1070	932			
30	879	922	966	1007	1048	1086	1123	1160	1197	1235	1272	1309	1346	1383	1414	1445	1474	1503	1522	1542	1559	1575	1586	1589	1567	1508	1383	1245	1107	968	830			
30,5	837	878	918	958	997	1038	1072	1110	1147	1186	1224	1262	1293	1326	1359	1388	1416	1437	1458	1477	1496	1509	1522	1507	1492	1397	1302	1167	1031	896	761			
31	794	832	869	907	945	983	1020	1058	1096	1134	1172	1206	1239	1271	1303	1330	1357	1376	1394	1413	1432	1445	1454	1437	1417	1319	1221	1088	954	823	691			
31,5	757	796	834	873	912	951	990	1029	1068	1105	1142	1175	1208	1239	1269	1294	1318	1337	1356	1376	1395	1406	1417	1393	1369	1270	1170	1040	910	782	653			
32	719	759	798	839	879	920	960	999	1039	1074	1108	1143	1177	1206	1234	1256	1278	1298	1318	1338	1358	1367	1376	1349	1321	1220	1119	992	865	740	614			
32,5	702	742	782	823	863	902	941	978	1015	1050	1084	1118	1151	1179	1207	1230	1252	1274	1296	1315	1333	1359	1345	1316	1286	1185	1083	957	831	708	584			
33	684	725	765	806	846	884	921	956	990	1025	1060	1093	1125	1153	1180	1203	1226	1246	1265	1282	1290	1307	1311	1314	1282	1250	1149	1047	926	805	675	553		
33,5	668	710	751	791	831	869	906	943	979	1013	1047	1078	1108	1134	1159	1182	1205	1230	1254	1272	1290	1291	1292	1257	1221	1118	1014	891	767	649	530			
34	651	694	736	776	815	853	891	929	967	1000	1033	1062	1091	1114	1137	1161	1184	1209	1234	1253	1272	1271	1270	1231	1191	1085	980	859	737	622	507			
34,5	649	690	729	768	807	845	883	919	954	986	1017	1044	1071	1096	1120	1147	1173	1198	1222	1240	1257	1252	1247	1205	1163	1057	951	832	713	601	488			
35	646	684	722	760	798	837	875	908	941	971	1001	1026	1050	1077	1103	1133	1162	1186	1210	1226	1242	1233	1223	1179	1135	1029	922	806	689	579	468			

ANNEXE 1c - Tableau donnant la vitesse de croissance de la Cercosporiose (d'après les coefficients de CALPOUZOS) à partir du maximum et du minimum journaliers de température, pour les mois de novembre - décembre - janvier - février.
(chiffres de l'abaque 5c).

Maxi	Mini	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	
		485	545	605	664	724	783	843	903	962	1022	1082	1142	1201	1261	1320	1380																
20,5		521	581	641	700	760	820	879	939	999	1058	1118	1178	1237	1297	1356	1416	1476															
21		557	617	677	736	796	856	916	975	1035	1095	1154	1214	1274	1334	1393	1453	1513	1572														
21,5		594	654	714	773	833	892	952	1012	1071	1131	1191	1250	1310	1370	1429	1489	1549	1608	1668													
22		630	690	750	809	869	929	988	1048	1108	1167	1227	1287	1346	1406	1465	1525	1585	1644	1704	1764												
22,5		666	726	786	845	905	965	1025	1084	1144	1204	1263	1323	1383	1443	1502	1562	1622	1681	1741	1801	1860	1920	1980	2040	2100	2160	2220	2280	2340	2400	2460	2520
23		702	762	822	881	941	1001	1061	1121	1180	1240	1300	1360	1420	1480	1540	1600	1660	1720	1780	1840	1900	1960	2020	2080	2140	2200	2260	2320	2380	2440	2500	2560
23,5		739	799	859	918	978	1037	1097	1157	1217	1276	1336	1396	1455	1515	1574	1634	1694	1753	1813	1873	1932	1992	2051	2111	2171	2231	2291	2351	2411	2471	2531	2591
24		775	835	895	954	1014	1074	1133	1193	1253	1313	1372	1432	1492	1551	1610	1670	1730	1789	1849	1909	1968	2028	2088	2147	2207	2267	2327	2387	2447	2507	2567	2627
24,5		811	871	931	990	1050	1110	1170	1229	1289	1349	1409	1468	1528	1588	1647	1707	1767	1826	1886	1946	2005	2065	2125	2184	2244	2304	2364	2424	2484	2544	2604	2664
25		848	908	968	1027	1087	1146	1206	1266	1325	1385	1445	1505	1564	1624	1683	1743	1803	1862	1922	1982	2041	2101	2161	2221	2281	2341	2401	2461	2521	2581	2641	2701
25,5		884	944	1004	1063	1123	1183	1242	1302	1362	1421	1481	1541	1601	1661	1721	1781	1841	1901	1961	2021	2081	2141	2201	2261	2321	2381	2441	2501	2561	2621	2681	2741
26		916	974	1033	1092	1151	1210	1269	1327	1385	1442	1498	1554	1610	1666	1722	1778	1834	1888	1943	1999	2055	2111	2167	2223	2279	2335	2391	2447	2503	2559	2615	2671
26,5		924	981	1038	1095	1152	1209	1266	1323	1380	1437	1494	1551	1608	1665	1722	1779	1836	1893	1950	2007	2064	2121	2178	2235	2292	2349	2406	2463	2520	2577	2634	2691
27		932	988	1044	1100	1157	1213	1269	1324	1378	1432	1485	1537	1588	1639	1690	1741	1790	1837	1884	1928	1973	2017	2061	2105	2149	2193	2237	2281	2325	2369	2413	2457
27,5		926	981	1036	1092	1149	1203	1257	1309	1360	1410	1462	1512	1563	1614	1661	1708	1755	1800	1846	1884	1922	1958	1995	2031	2068	2104	2140	2176	2212	2248	2284	2320
28		920	974	1028	1079	1131	1182	1233	1284	1335	1386	1437	1485	1532	1579	1626	1673	1718	1758	1798	1834	1870	1904	1939	1975	2010	2045	2080	2115	2150	2185	2220	2255
28,5		899	951	1004	1056	1107	1157	1208	1259	1309	1356	1403	1450	1497	1544	1590	1632	1673	1709	1746	1782	1818	1847	1877	1891	1906	1920	1935	1949	1963	1977	1991	2005
29		879	929	980	1033	1087	1133	1180	1227	1273	1319	1364	1409	1452	1505	1547	1585	1621	1657	1694	1730	1766	1789	1813	1824	1835	1845	1855	1865	1875	1885	1895	1905
29,5		853	902	951	1001	1051	1098	1145	1192	1236	1286	1333	1377	1419	1461	1497	1533	1569	1605	1641	1674	1708	1729	1750	1756	1762	1767	1772	1777	1782	1787	1792	1797
30		828	875	922	969	1016	1063	1110	1157	1204	1250	1291	1333	1372	1409	1445	1481	1517	1553	1589	1618	1647	1665	1684	1686	1688	1690	1692	1694	1696	1698	1700	1702
30,5		793	840	887	934	981	1028	1074	1119	1163	1204	1245	1284	1322	1359	1396	1433	1469	1504	1538	1565	1591	1609	1626	1624	1622	1620	1618	1616	1614	1612	1610	1608
31		758	805	852	899	946	992	1037	1080	1122	1161	1199	1236	1273	1310	1346	1383	1420	1454	1487	1511	1534	1551	1567	1561	1555	1548	1540	1532	1524	1516	1508	1500
31,5		733	781	828	874	920	965	1009	1050	1090	1129	1167	1205	1243	1281	1318	1355	1392	1423	1454	1478	1501	1517	1532	1521	1509	1490	1471	1452	1433	1414	1395	1376
32		707	756	804	849	893	937	980	1019	1058	1097	1135	1174	1212	1251	1290	1327	1363	1392	1420	1444	1468	1483	1498	1480	1462	1443	1424	1405	1386	1367	1348	1329
32,5		694	741	788	831	873	915	956	995	1034	1074	1113	1153	1192	1233	1273	1313	1354	1371	1398	1421	1444	1459	1473	1450	1427	1404	1381	1358	1335	1312	1289	1266
33		682	727	771	812	853	892	931	971	1010	1051	1091	1132	1172	1214	1255	1296	1324	1353	1376	1398	1419	1434	1448	1420	1391	1278	1164	1050	936	822	708	594
33,5		668	711	753	794	835	875	915	956	997	1039	1080	1122	1163	1202	1241	1274	1306	1333	1360	1381	1402	1415	1427	1394	1360	1324	1288	1252	1216	1180	1144	1108
34		654	695	735	776	816	858	899	942	984	1027	1069	1112	1154	1191	1227	1257	1287	1316	1344	1364	1384	1395	1405	1367	1329	1291	1253	1215	1177	1139	1101	1063
34,5		641	683	724	766	807	849	891	934	976	1019	1061	1103	1145	1181	1216	1246	1275	1302	1329	1350	1370	1380	1389	1347	1304	1190	1076	962	848	734	620	506
35		627	670	712	755	797	840	882	925	967	1010	1052	1095	1135	1164	1204	1233	1262	1288	1313	1335	1356	1365	1373	1326	1279	1164	1048	934	820	706	592	478

(prévision des attaques de Cercosporiose du bananier, prévision de la date de récolte, ...).

On montre également que l'estimation d'une température moyenne journalière vraie à partir de la formule $\bar{T} = 0,5 (M + m)$, valable pour les latitudes élevées (supérieures à 40°), ne l'est plus pour les basses latitudes. Il est nécessaire d'utiliser une autre formule, qui, pour les latitudes comprises entre 0 et 20°, est : $\bar{T} = m + 0,4 (M - m)$.

D'un point de vue pratique, l'utilisation de la méthode exposée présente un certain nombre d'avantages.

- Elle permet l'utilisation de capteurs plus simples, moins onéreux et plus précis. En effet, dans la mesure où une collecte journalière des données est possible, il suffit de relever les indications des thermomètres à maximum et à minimum. L'utilisation d'un thermographe, indispensable

auparavant, n'est plus nécessaire.

- Elle entraîne un allègement au niveau du dépouillement des données. Il n'est plus nécessaire de compter le nombre d'heures par classe de températures, travail relativement fastidieux, souvent source d'erreurs d'appréciation, ou le «coefficient personnel» de l'observateur prenait une large place.

Le gain de temps résultant du remplacement de l'ancienne méthode par la nouvelle est de l'ordre de 15 - 20 minutes par diagramme (dépouillements et calculs compris).

En Guadeloupe par exemple, l'IRFA participe à l'exploitation des données de 14 stations climatiques pour la réalisation d'Alertes dans la lutte contre la Cercosporiose du bananier. Dans ce cas le gain de temps est de 4 à 5 heures par semaine.

BIBLIOGRAPHIE

1. ALI KHALILI, 1976.
Etude sur les températures moyennes à Karadj (Iran)
La Météorologie, VI, 5, 165-170.
2. BIDABE (B.). 1967.
Action de la température sur l'évolution des bourgeons de pommier et comparaison de méthodes de contrôle de l'époque de floraison.
Ann. Physiol. vég., 9 (1), 65-86.
3. DURAND (R.). 1967.
Action de la température et du rayonnement sur la croissance.
Ann. Physiol. vég., 9 (1), 5-27.
- DURAND (R.). 1969.
Signification et portée des sommes de températures.
B.T.I., 238.
4. DURAND (R.), De PARCEVAUX (S.) et ROCHE (P.). 1967.
Action de la température sur la croissance et le développement du lin.
Ann. Physiol. vég., 9 (1), 87-105.
5. GANRY (J.). 1973.
Etude du développement du système foliaire du bananier en fonction de la température.
Fruits, vol. 28, n°7-8.
6. GANRY (J.). 1976.
Recherche d'une relation entre température mesurée sous abri et température agissant au niveau des zones de croissance du bananier. Application au calcul d'une vitesse de développement.
Fruits, vol. 31, n°10.
7. GANRY (J.) et MEYER (J.P.). 1975.
Recherche d'une loi d'action de la température sur la croissance des fruits du bananier.
Fruits, vol. 30, n°6.
8. GANRY (J.) et MEYER (J.P.). 1972.
La lutte contrôlée contre le Cercospora aux Antilles.
Relation entre les éléments du climat et le développement du Cercospora.
Fruits, vol. 27, n°10, p. 665-676.
9. GUYOT (H.) et CUILLE (J.). 1958.
Essai de prévision des attaques de Cercospora en Guadeloupe.
Fruits, vol. 13, n°3, p. 85-94.
10. GESLIN (H.). 1944.
Etude des lois de croissance d'une plante en fonction de facteurs du climat.
Thèse Fac. Sci. Paris.
11. HALLAIRE (M.). 1950.
Sur une méthode rapide de dépouillement horaire de la température à partir du minimum et du maximum journaliers.
C.R. Acad. Sci., 231, 406-408.
12. HALLAIRE (M.). 1950.
Les températures moyennes nocturnes, diurnes et nycthérales exprimées en fonction du minimum et du maximum journaliers de température.
C.R. Acad. Sci., 231, 1933-1935.
13. HALLAIRE (M.) et NIGOND (J.). 1953.
Action de la température sur le développement des organismes dans les conditions naturelles.
C.R. Acad. Sci., 236, 230-232.
14. HORD (H.H.V.) et SPELL (D.P.). 1962.
Temperature as a basis for forecasting banana production.
Tropic. Agricult. Trin., vol. 39, n°3.
15. LIVINGSTONE (B.E.). 1916.
Physiological temperature indices for the study of plant growth in relation to climatic conditions.
Physiol. Res., 1, 8, 399-420.
16. NIQUEUX (M.) et ARNAUD (R.). 1967.
Recherche d'une relation entre précocité d'épiaison et températures pour quelques variétés de graminées fourragères observées en France.
Ann. Physiol. vég., 9 (1), 29-64.

