

LA LUTTE CONTRÔLÉE CONTRE LE CERCOSPORA AUX ANTILLES

BASES CLIMATIQUES DE L'AVERTISSEMENT TECHNIQUE D'OBSERVATION ET DE NUMÉRATION DE LA MALADIE

J. GANRY et J.P. MEYER*

LA LUTTE CONTRÔLÉE CONTRE LE CERCOSPORA
AUX ANTILLES

BASES CLIMATIQUES DE L'AVERTISSEMENT
TECHNIQUES D'OBSERVATION ET DE NUMÉRATION DE
LA MALADIE

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

Fruits, oct. 1972, vol. 27, n 10, p. 665-676.

RESUMÉ - Une étude comparée des conditions climatiques et du développement du *Cercospora*, a permis, sur la station de Neufchâteau (Guadeloupe), de mettre en évidence deux types de relations, éléments de base des avertissements :

- relation entre conditions climatiques hebdomadaires (évaporation et température) et évolution ultérieure correspondante de la maladie, ces deux éléments étant décalés dans le temps,
- relation entre conditions climatiques mensuelles et décalage observé.

Un nouveau type d'observation et de numération de la maladie a été mis au point en vue de l'avertissement (méthode de l'état d'évolution) et du contrôle des traitements (niveau d'infestation), à l'huile seule et avec fongicide systémique.

La mise au point d'une méthode d'avertissement destinée à améliorer la lutte contre un parasite demande de posséder plusieurs bases qui sont relatives en premier lieu au parasite lui-même, à sa biologie, son cycle évolutif et à l'influence des conditions climatiques sur son évolution, et en second lieu aux produits utilisés (efficacité, durée d'action, influences des conditions climatiques sur la durée d'efficacité).

La biologie et le cycle évolutif de *Mycosphaerella musicola* et de *Cercospora musae*, respectivement forme ascosporee et forme conidienne du champignon responsable de la maladie de Sigatoka, ont été étudiés avec détail par divers auteurs (BRUN 1963, CALPOUZOS, LEACH, SIMMONDS).

L'influence des conditions climatiques sur l'évolution de la maladie, en vue des avertissements, a fait l'objet d'une étude de MM. GUYOT et CUILLE en 1958. La méthode d'avertissement proposée était basée sur la température et l'hygrométrie mesurées sous abri météorologique à l'intérieur de la bananeraie.

L'étude présentée ici, a été réalisée à partir des résultats obtenus en Guadeloupe avec tentative d'amélioration portant sur la précision des facteurs étudiés (climatiques et phénologiques) et l'introduction de facteurs climatiques nouveaux.

* - J. GANRY, IFAC - B.P. 53, Basse Terre (Guadeloupe)
J. MEYER, IFAC - B.P. 153, Fort de France (Martinique).

CHAPITRE I

RELATIONS ENTRE ÉLÉMENTS DU CLIMAT ET DÉVELOPPEMENT DU CERCOSPORA

Facteurs climatiques.

La température.

Comme pour tout végétal, l'action de la température sur le développement du «*Cercospora*», se traduit par une courbe de développement du type courbe en cloche.

CALPOUZOS (1955) a déterminé cette courbe en laboratoire et a ainsi défini pour chaque température, de degré en degré, un coefficient de développement de la phase conidienne du champignon (graphique 2, courbe C).

Une correction devrait être apportée à cette courbe pour l'étude du *Cercospora* au champ.

En effet, au laboratoire la température agissant sur le développement du champignon est celle du champignon ou du fragment de feuille le supportant (en ce qui concerne CALPOUZOS il s'agit de culture sur milieu artificiel).

Au contraire dans le cadre des stations d'avertissement la température utilisée est celle de l'air ambiant, relevée sous abri météorologique, elle est différente de celle du parasite ou de la feuille. Celle-ci est la résultante de nom-

breux facteurs (température de l'air ambiant, rayonnements global et net, dépôts d'eau sur la feuille, action différente du vent sur la feuille sèche ou mouillée, régulation stomatique (BOUCHET 1963).

Le graphique 1 donne, à titre indicatif, quelques relations pouvant exister entre température de feuille et température sous abri, dans divers cas d'insolation. Le graphique 2 indique les corrections qui devraient être apportées à la courbe de CALPOUZOS.

Pour avoir une méthode rigoureuse, il faudrait pouvoir disposer des températures exactes des feuilles dans les divers postes contrôlés ; encore faudrait-il un grand nombre de mesures dans chaque cas, car la température varie avec le rang de la feuille (ombrage), la densité de plantation.

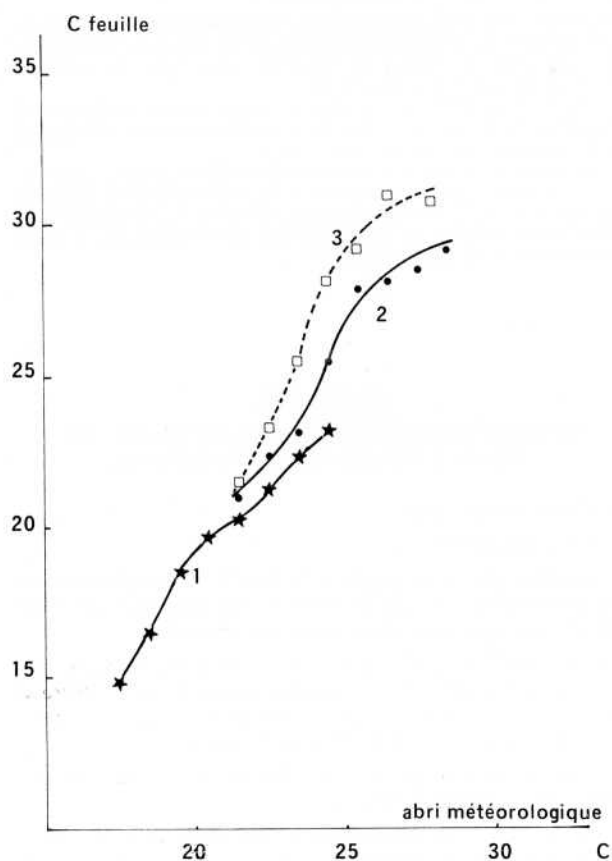
De telles mesures (température de feuilles, rayonnement, dépôt d'eau sur les feuilles, vent ...), astreignant ensuite à des dépouillements fastidieux, ne sont pas compatibles avec les impératifs des avertissements.

Nous avons donc conservé le principe de calcul des sommes thermiques à partir des coefficients de développement

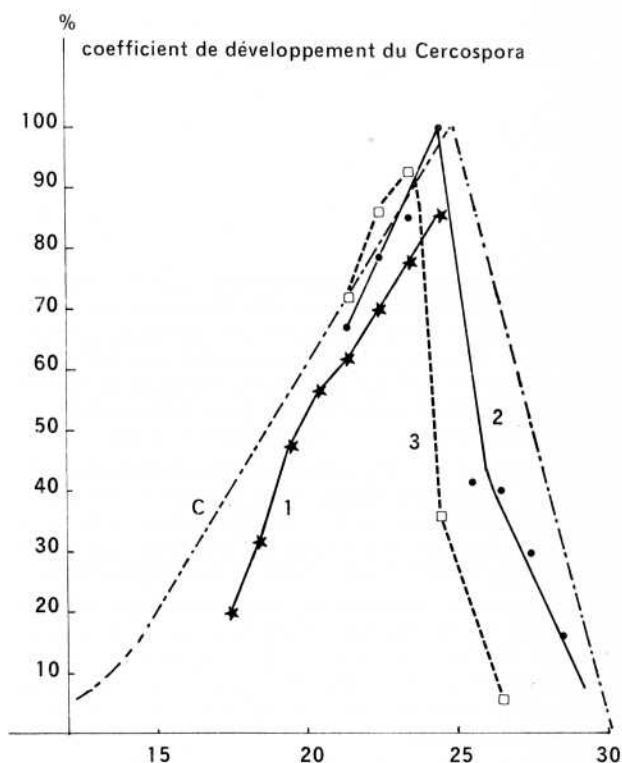
de CALPOUZOS. Cette somme thermique est obtenue, chaque semaine, en comptant sur les thermogrammes le nombre d'heures par classe de température, qui est multiplié par le coefficient de développement utilisé, et en sommant tous les produits obtenus (GUYOT, CUILLE 1958).

Exemple de calcul :

Classe de températures (C)	Coefficient de développement	Nombre d'heures
18-19	48	-
19-20	56	1
20-21	64	5
21-22	72	23
22-23	80	57
23-24	88	31
24-25	96	34
25-26	90	17
26-27	70	
27-28	50	
28-29	30	
29-30	0	
30-31	0	



Graphique 1. Relations entre températures sous abri météorologique et températures de feuilles (mesurées avec des couples thermoélectriques), pour diverses insolutions :
 1 = températures nocturnes
 2 = températures sous abri 1 à 6 heures d'insolation
 3 = températures diurnes 6 à 12 heures d'insolation



Graphique 2. Relations entre températures et développement du Cercospora.

C = température du végétal ; courbe de CALPOUZOS
 1 = nocturnes
 2 = températures sous abri 1 à 6 heures d'insolation
 3 = 6 à 12 heures d'insolation

L'hygrométrie.

La plupart des phases de développement externe du champignon (sporulation, germination, pénétration) nécessite une hygrométrie élevée.

Le critère retenu pour l'avertissement par GUYOT-CUILLE en 1958, était le nombre d'heures à plus de 95-97 p. cent, sous abri météorologique en bananeraie, correspondant le plus souvent à la saturation au niveau des feuilles (dépôt de rosée).

Dans le cadre d'un réseau d'avertissement avec abri météorologique situé en zone dégagée, nous avons retenu un nombre d'heures à plus de 90 p. cent d'hygrométrie, correspondant à des hygrométries de l'ordre de 95 p. cent en bananeraie.

Le facteur hygrométrie est très délicat d'emploi, de par le manque de précision de la mesure (aléas des hygromètres à cheveux) et du dépouillement (une variation de 1 p. cent pour le seuil utilisé peut se traduire par une très grande variation dans le nombre d'heures obtenu).

Il était donc nécessaire de remédier à cet inconvénient majeur.

Un moyen consiste à déterminer les fréquences et durée de mouillage des feuilles (rosée ou pluie). Dans ce but, un détecteur et enregistreur de dépôt d'eau liquide sur les feuilles (humidomètre) a été mis au point (MEYER-WACHTER 1970). L'utilisation de cet appareil est encore au stade expérimental.

Un autre moyen a été d'étudier un facteur climatique, simple à mesurer et précis : l'évaporation qui intègre plusieurs éléments du climat (déficit de saturation, vent, température).

L'évaporation.

L'évaporation ou évapo-transpiration potentielle ponctuelle, correspond à la «demande» au niveau de la feuille ou de toute surface évaporante.

Ce facteur, qui en principe, sur une échelle assez vaste, dépend essentiellement du rayonnement d'origine solaire (BOUCHET, 1963), est en fait la résultante d'autres facteurs climatiques qui n'en sont que les conséquences. Quatre termes en sont les principales composantes : le rayonnement net, le déficit de saturation de l'air, le vent et la température. En fait, la température a une action relativement peu importante (de PARCEVAUX 1963), mis à part le fait qu'elle intervient sur le déficit de saturation.

L'évaporation d'une pastille évaporante «Piche», placée sous AMPS (abri météorologique Piche simplifié, a été choisi comme mesure de l'évaporation ponctuelle.

L'utilisation de ce facteur présente cependant certaines limites, provenant du trop d'importance que peut prendre une des composantes par rapport à l'autre. Dans certains cas, le vent peut prendre trop d'importance et provoquer de fortes évaporations avec des hygrométries relativement élevées (donc favorables au développement du Cercospora).

L'enregistrement de l'hygrométrie sera alors nécessaire pour mettre en évidence cette action prépondérante du vent et corriger les valeurs obtenues.

Recherche des relations entre facteurs climatiques. (Évaporation température) et développement du Cercospora.*Les conditions expérimentales. Méthodes employées.*

La relation entre ces deux facteurs a été étudiée en 1970-1971 sur la station de Neufchâteau (Guadeloupe).

De mars 1970 à mars 1971, les observations phénologiques sur la maladie ont été effectuées sur une parcelle (1er et 2ème cycle) qui a reçu quelques traitements huileux accidentels (nous l'appellerons parcelle pseudo-traitée). Les données d'observations ne sont pas exploitables sur toute la période.

D'avril 1971 à décembre 1971, les observations ont été effectuées sur une parcelle témoin (1er cycle) non traitée.

La méthode d'observation utilisée pour cette étude a été celle dite des «changements de stades», mise au point par GUYOT-CUILLE en 1958. Quelques modifications y ont été apportées concernant d'une part le repérage des divers stades d'évolution de la maladie (nous avons retenu les cinq stades d'évolution définis par BRUN 1963), d'autre part la fréquence des observations (deux observations par semaine à intervalles de trois et quatre jours).

Chaque observation permet d'obtenir un pourcentage de changements de stades instantané P_i (rapport du nombre de stades ayant évolué et du nombre de feuilles marquées deux semaines auparavant). Cette valeur instantanée est pondérée par les deux valeurs qui l'entourent, pour donner un pourcentage de changements de stades moyen P_{mi} :

$$P_{mi} = \frac{P_i}{2} + \frac{P_{i-1} + P_{i+1}}{4}$$

De plus, depuis mars 1971, une nouvelle méthode a été employée sur la parcelle témoin, pour être comparée à la méthode des changements de stade. Il s'agit de la méthode de «l'état d'évolution» décrite plus loin. Parallèlement, depuis juin 1971, la méthode du «niveau d'infestation», destinée au contrôle des traitements, également décrite plus loin a été employée.

Observations graphiques.

Les éléments climatiques mis en relation avec le développement du Cercospora ont été l'évaporation et la somme thermique des sept jours précédant l'observation.

Il nous est très vite apparu que évaporation et développement du Cercospora étaient deux éléments qui devaient varier inversement l'un de l'autre.

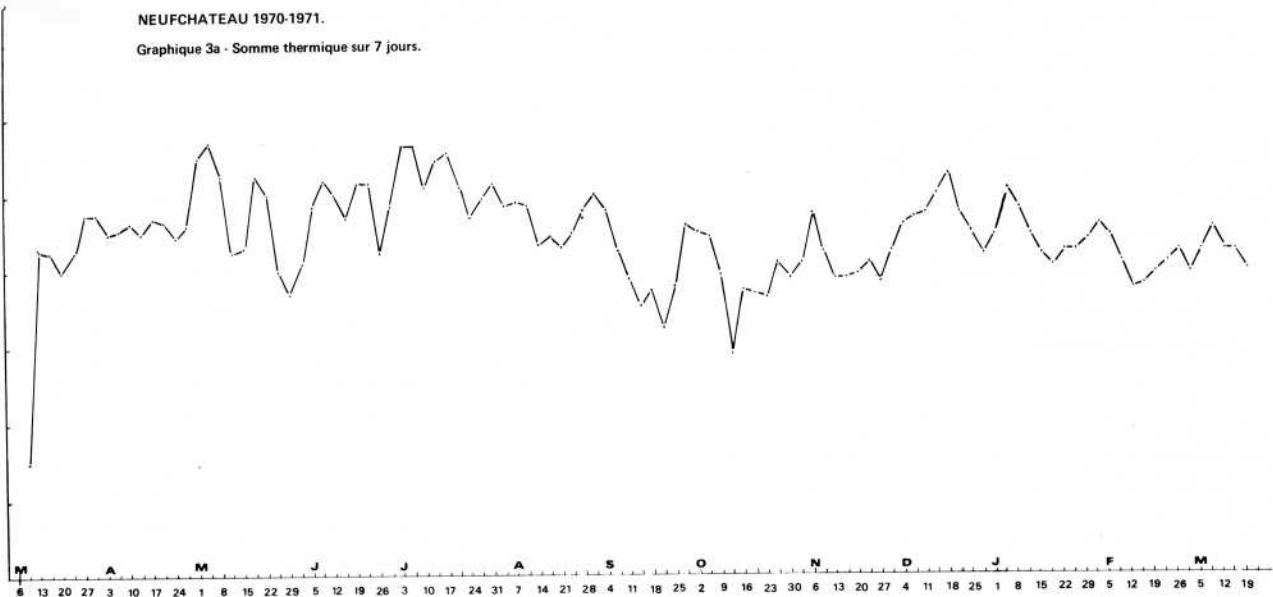
Sur les graphiques proposés (graphiques 3 b et 4 b) nous avons donc exprimé le facteur évaporation par l'inverse de l'évaporation «Piche» cumulée sur sept jours.

La comparaison graphique des courbes climatiques (graphiques 3 a b et 4 a b) et des courbes d'évolution du Cercospora (graphiques 3 c et 4 c) a permis de mettre en évidence un décalage entre l'évaporation et la manifestation visuelle de la maladie.

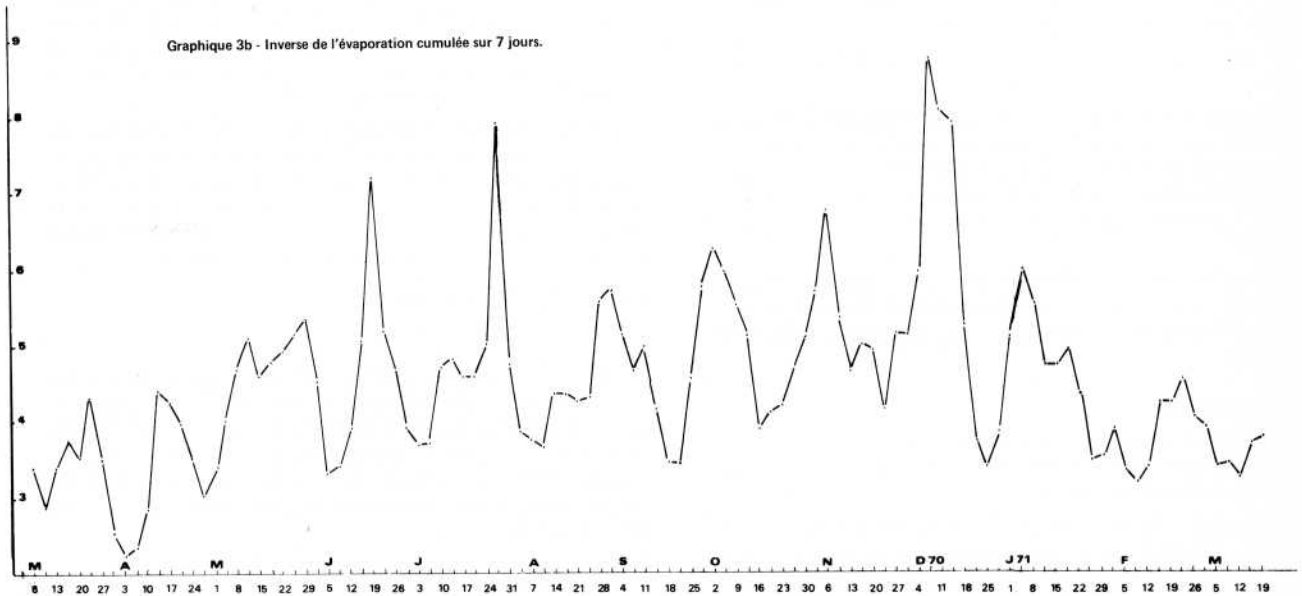
Ce décalage n'est pas aussi net en ce qui concerne la somme thermique, ce qui traduit le fait que toute modification de l'évolution du Cercospora (reprise ou régression des attaques) provoquée par des conditions d'évaporation plus ou moins favorables, est entretenue ou freinée par les conditions thermiques régnant à ce moment-là et jusqu'à la ma-

NEUFCHATEAU 1970-1971.

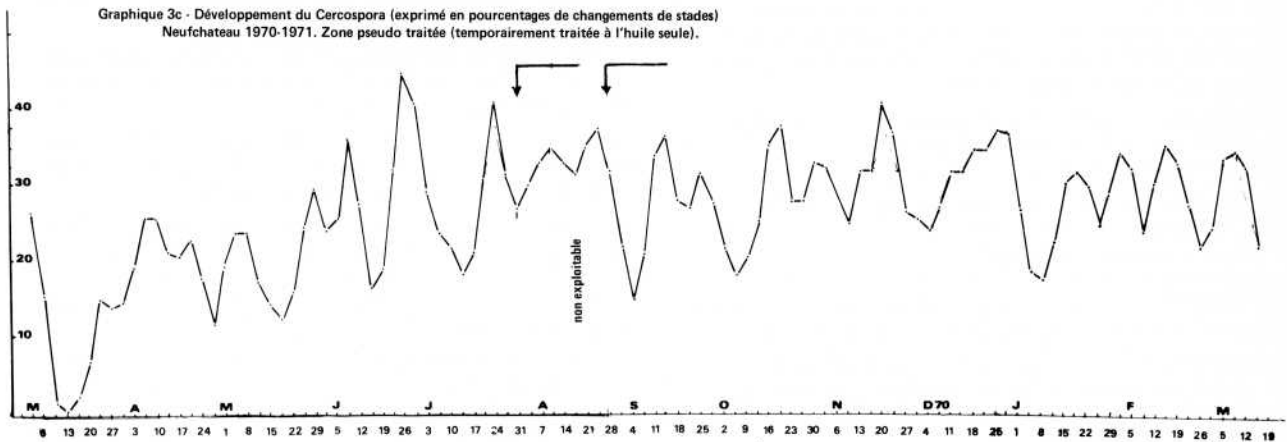
Graphique 3a - Somme thermique sur 7 jours.



Graphique 3b - Inverse de l'évaporation cumulée sur 7 jours.



Graphique 3c - Développement du Cercospora (exprimé en pourcentages de changements de stades)
Neufchateau 1970-1971. Zone pseudo traitée (temporairement traitée à l'huile seule).



nifestation visuelle de la maladie sur la feuille (influence sur la durée d'incubation : la vitesse d'allongement des filaments mycéliens).

Compte-tenu du décalage déterminé graphiquement, nous avons essayé de relier les facteurs climatiques avec le développement du *Cercospora*.

Nous avons classé les évaporations sur sept jours en fonction des températures qui précèdent la manifestation de la maladie de trois à quatorze jours. Pour la période étudiée, seulement trois classes ont pu être envisagées :

- somme thermique supérieure à 14.000
- somme thermique comprise entre 13.000 et 14.000
- somme thermique comprise entre 12.000 et 13.000

Des sommes thermiques plus basses auraient aussi été très intéressantes à envisager, mais elles ne sont apparues que très rarement sur le poste de Neufchâteau.

Les quelques rares cas de sommes thermiques voisines de 11.000-12.000 se sont manifestés par une chute brutale du développement du *Cercospora*, ce qui est en accord avec le seuil limitant trouvé par GUYOT-CUILLE en 1958.

Relation entre facteurs climatiques et développement du Cercospora déterminé par la méthode des changements de stades.

Les graphiques 5 et 6 mettent en évidence la relation inverse qui existe entre évaporation et développement du *Cercospora*.

Nous avons étudié statistiquement la relation entre l'inverse de l'évaporation sur sept jours et le développement du *Cercospora* pour les trois classes de sommes thermiques envisagées (graphiques 7 et 8).

La corrélation entre les deux facteurs est suffisamment bonne pour justifier la fonction inverse de l'évaporation comme critère d'évolution de la maladie, compte-tenu des sommes thermiques.

Commentaire des courbes.

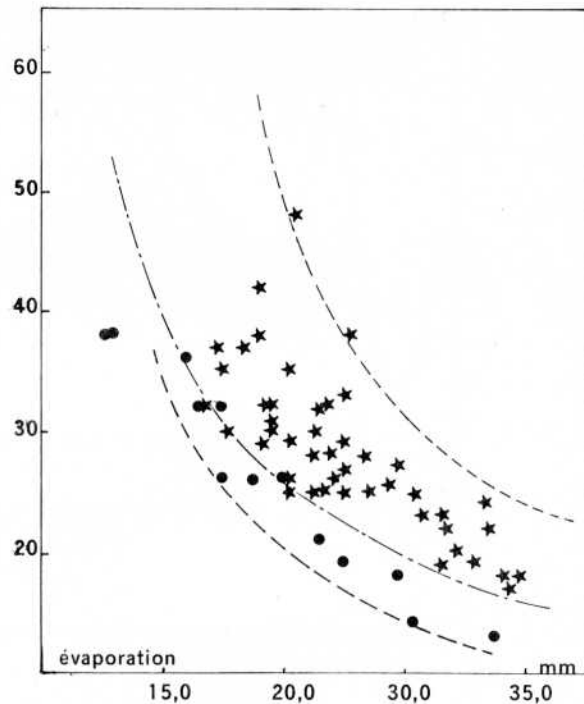
Remarque 1. En zone pseudo-traitée droites se rejoignent au niveau d'évaporation 27,0 mm ($\frac{100}{3,7}$).

Remarque 2. En zone témoin non traitée, donc avec un très fort niveau d'infestation, seules les droites représentatives des classes 13-14.000 et 12-13.000 se rejoignent à un niveau d'évaporation 32,0 mm ($\frac{100}{31}$).

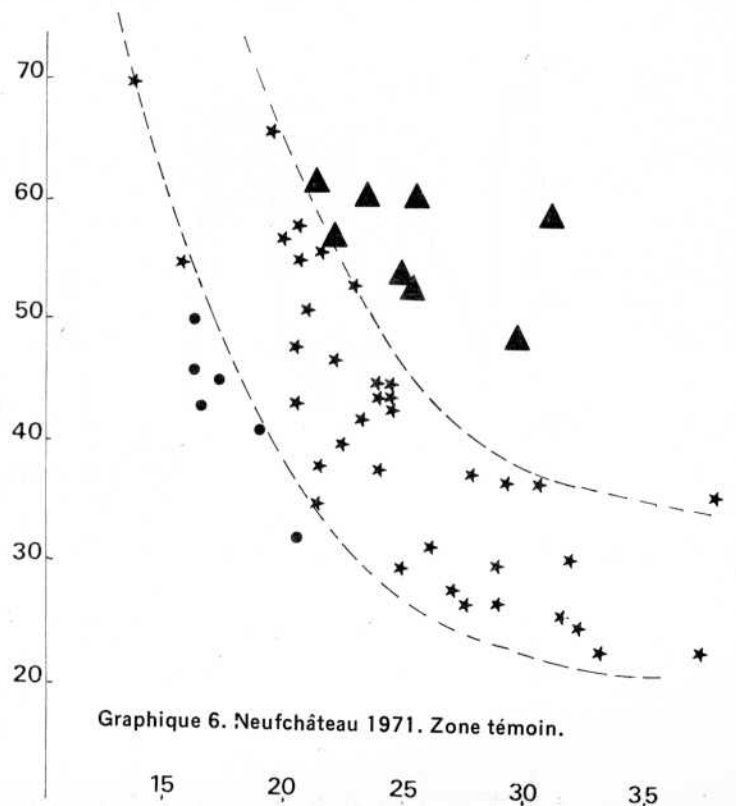
Remarque 3. Pour la même parcelle, la droite représentative de la classe « plus de 14.000 » reste nettement au-dessus des deux autres.

Les remarques 1 et 2 semblent indiquer que le niveau 30 mm représente un seuil d'évaporation au-dessus duquel l'évaporation seule intervient, elle n'est plus discriminée par la température et devient facteur limitant. Ce seuil étant plus élevé dans le cas de fortes infestations (32 mm).

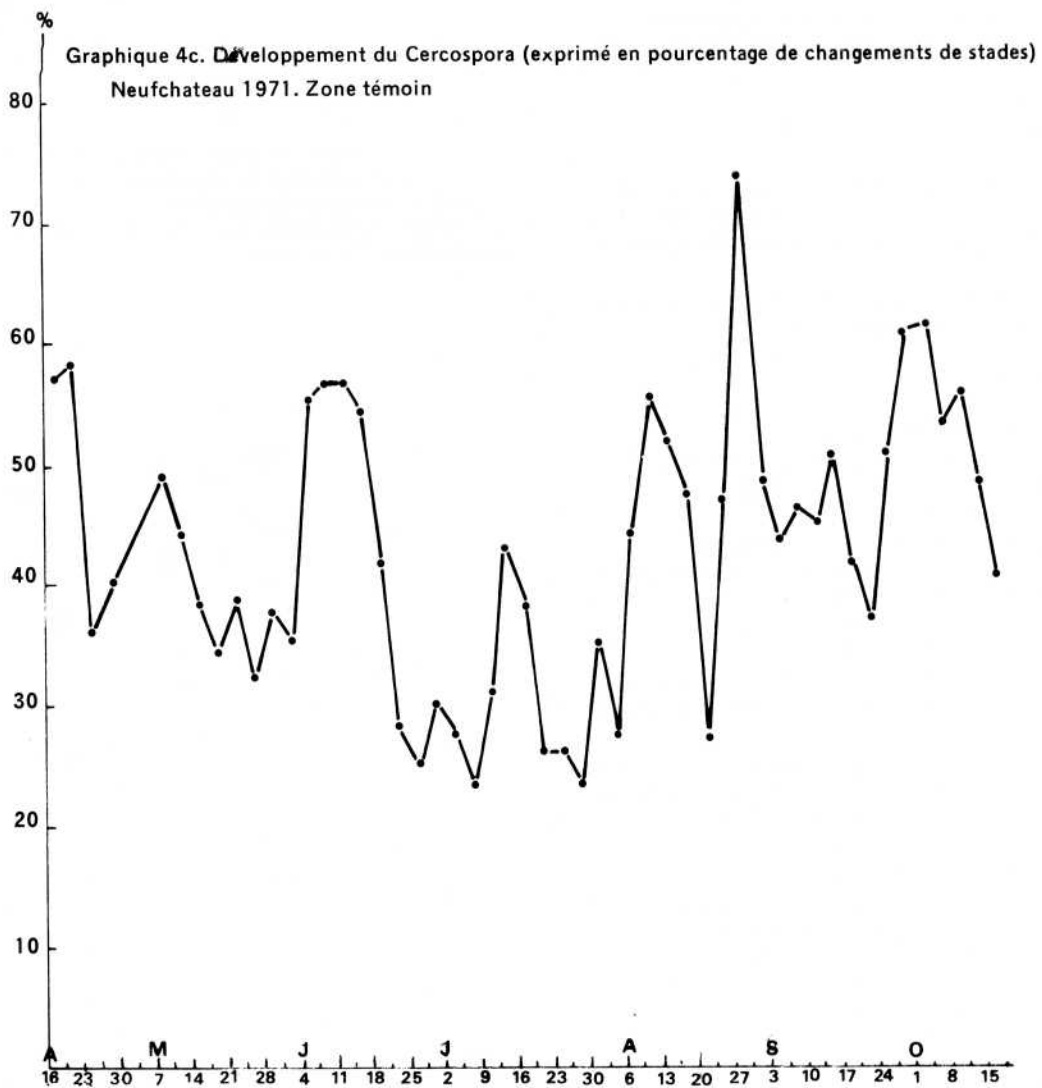
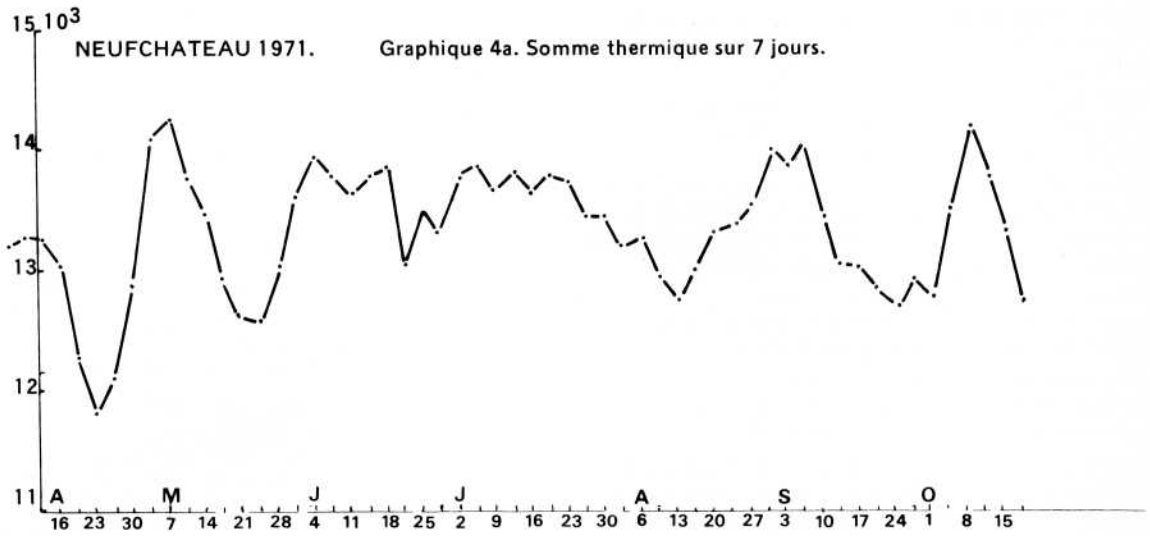
En condition de forte infestation (rôle de la quantité d'inoculum sur les potentialités d'évolution de la maladie) et pour des sommes thermiques supérieures à 14.000, (remarque 3) le seuil 30 mm ne semble plus être une limite pour le développement du *Cercospora*, les conditions restant favorables au-dessus de ce seuil.

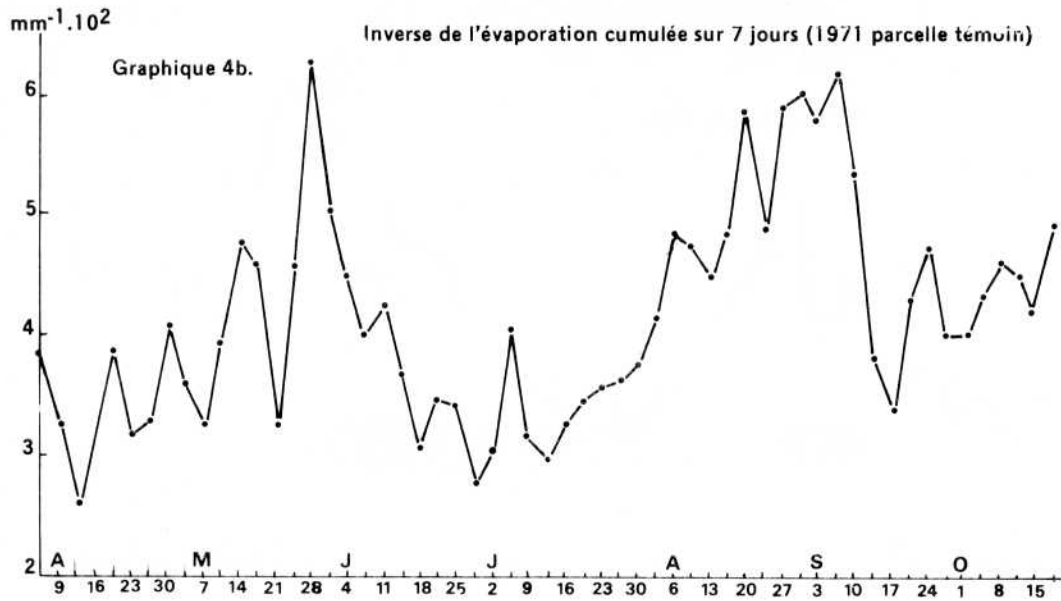


Graphique 5. Relation entre évaporation hebdomadaire (mm) et développement du *Cercospora* (exprimé en pourcentages de changements de stades). Neufchâteau 1970-1971. Zone pseudo-traitée (temporairement traitée à l'huile seule).

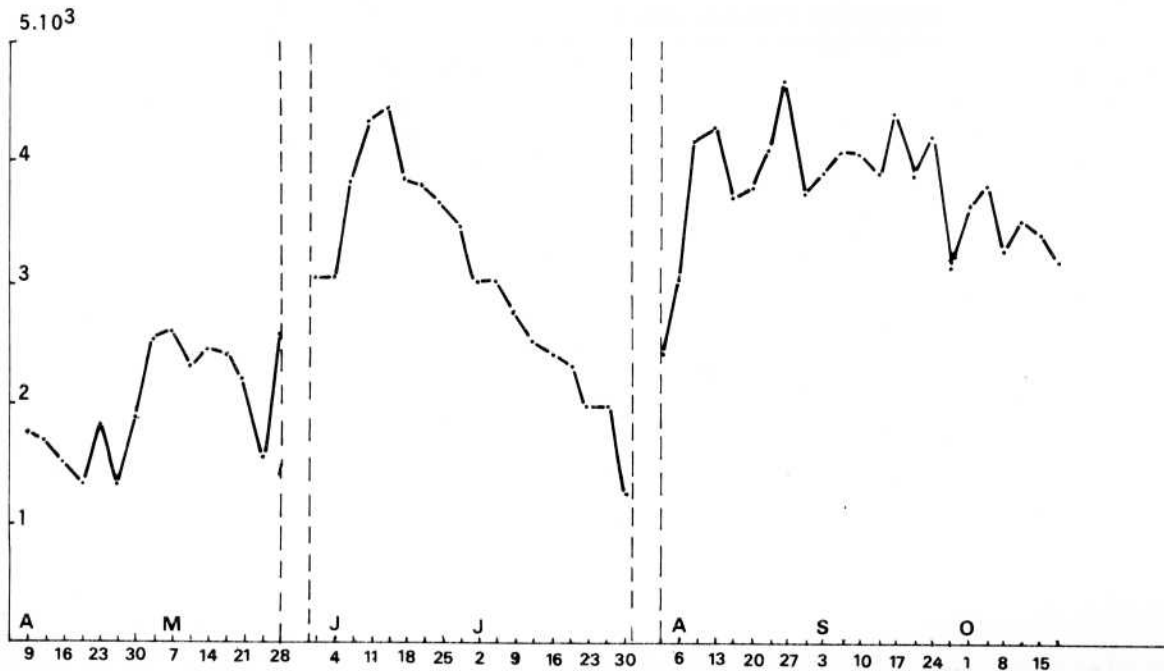


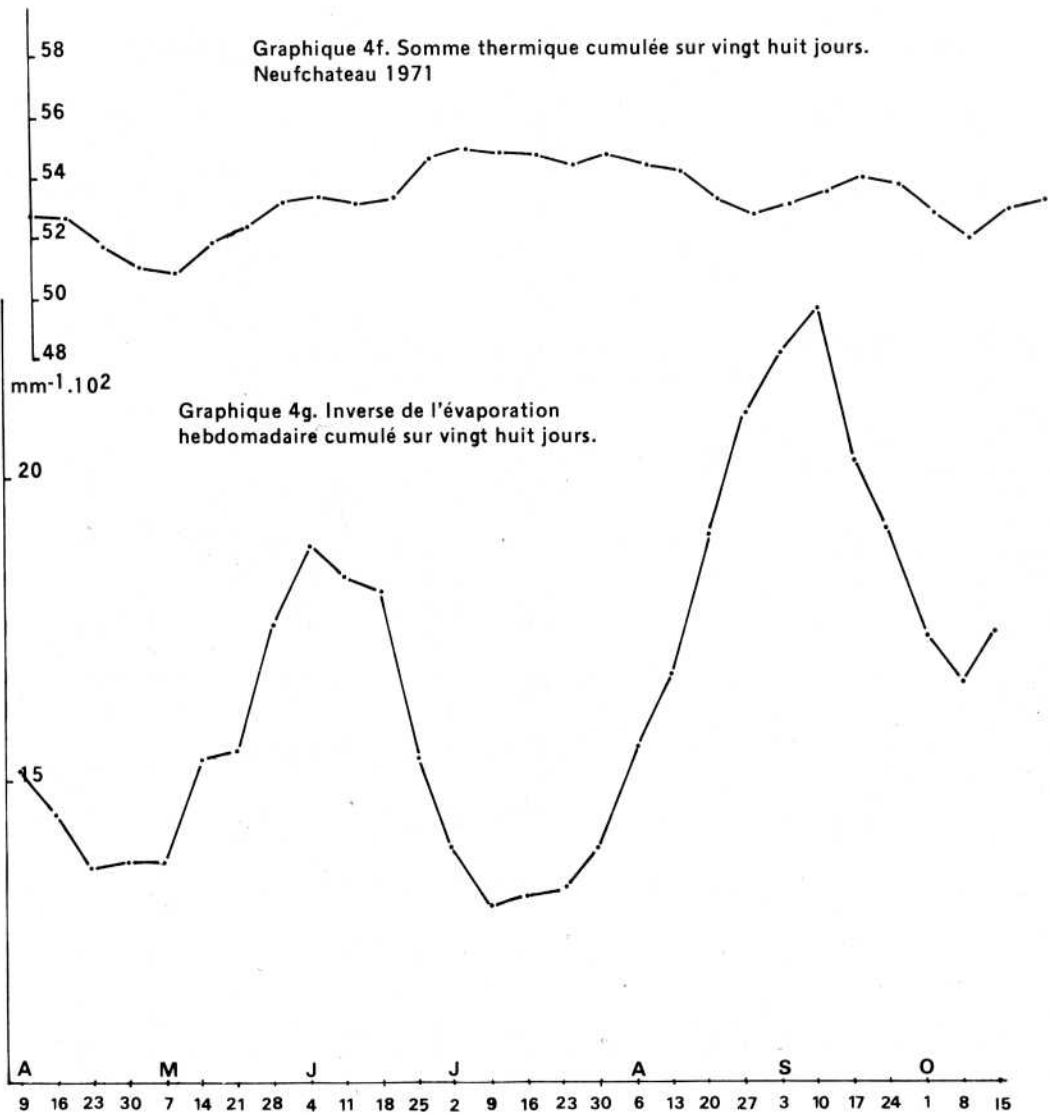
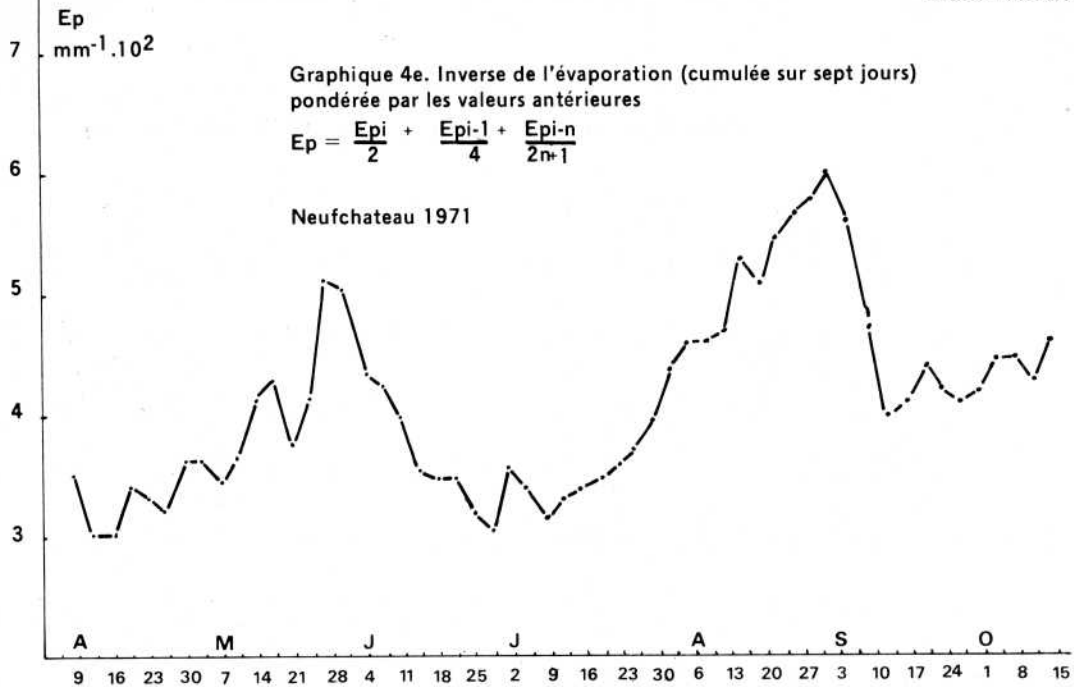
Graphique 6. Neufchâteau 1971. Zone témoin.

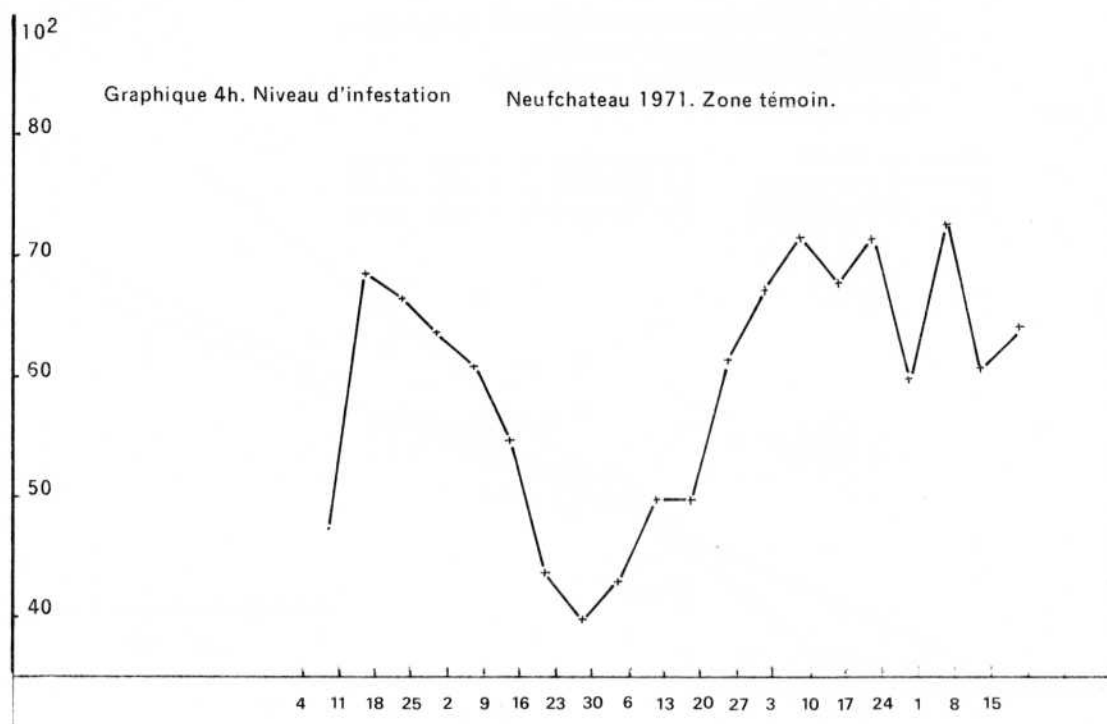




Graphique 4d. Développement du Cercospora (exprimé par l'état d'évolution).
Neufchateau 1971. Zone témoin







Relation entre facteurs climatiques et développement du Cercospora déterminé par la méthode de «l'état d'évolution».

Dans ce cas là, nous n'avons considéré que deux classes de sommes de température.

En effet, l'observation de l'évolution comparée des deux facteurs climatiques : évaporation, température (graphique 4 a-b) et de l'état d'évolution du Cercospora (graphique 4 d) permet de constater que les sommes thermiques de plus de 14.000 ne se répercutent plus sur l'évolution de la maladie.

Ceci doit provenir uniquement du fait que dans le cas précis de notre étude, ces sommes thermiques élevées n'intéressent qu'une semaine au maximum, et ne peuvent, de ce fait, se faire ressentir sur «l'état d'évolution», moins instantané que les changements de stades.

Le seuil d'évaporation 30 mm n'est pas mis en évidence sur le graphique 9. L'effet de cumul de vitesses d'évolution, introduit par la méthode elle-même (les changements de stades à un date j se répercutent sur la valeur obtenue à cette date j, mais aussi sur les valeurs «d'état d'évolution» obtenues ultérieurement) peut à lui seul expliquer la différence de configuration.

Cet effet de cumul est mis en évidence par le graphique 4e qui représente la courbe de l'inverse de l'évaporation sur sept jours, pondérée par les valeurs antérieures comme suit :

$$\bar{E}_i = \frac{E_i}{2} + \frac{E_{i-1}}{4} + \frac{E_{i-n}}{2n+1}$$

E_i = inverse de l'évaporation pour la période i (7 jours)

\bar{E}_i = inverse de l'évaporation pondérée.

Recherche de relations entre facteurs climatiques et décalage «conditions d'évaporation-manifestation de la maladie».

Il serait intéressant de pouvoir relier le décalage «climat-Cercospora», déterminé graphiquement, aux conditions climatiques, afin de pouvoir cerner de plus près l'apparition des taches consécutives à des conditions favorables. Nous supposons que deux causes principales sont à l'origine de ce décalage : la quantité d'inoculum présent dans la bananeraie et la durée d'incubation.

La quantité d'inoculum dépend des conditions climatiques ayant influencé l'évolution passée de la maladie ; la durée d'incubation dépend également des conditions thermiques durant sa manifestation.

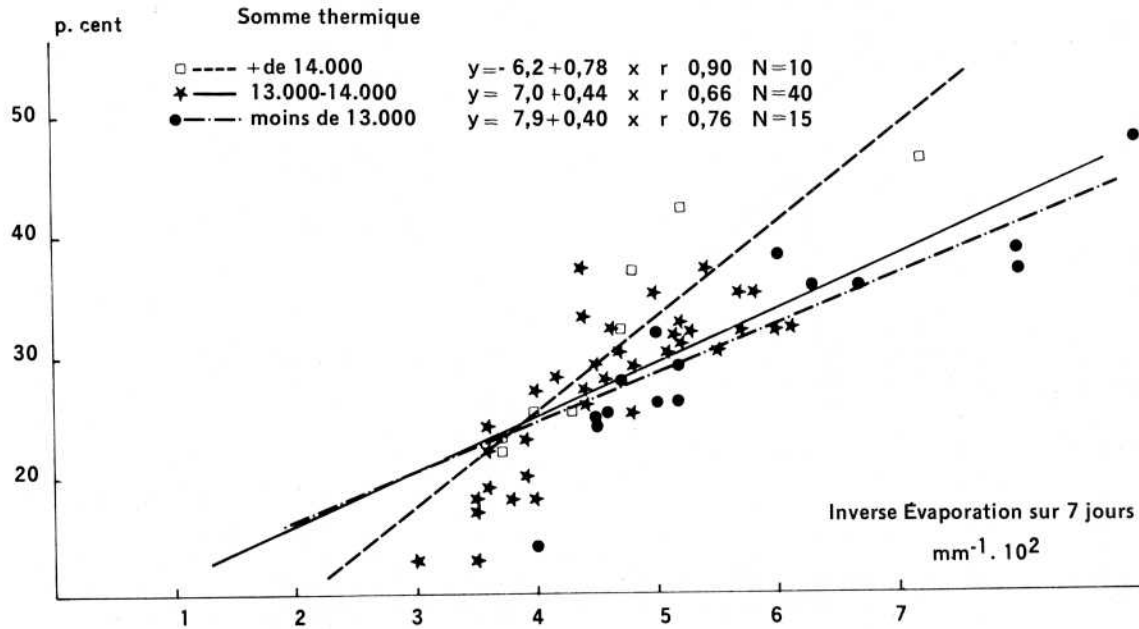
Les graphiques 4g et 4n montrent la relation existant entre le niveau d'infestation et les conditions d'évaporation sur vingt huit jours (avec conditions thermiques favorables). Or le niveau d'infestation est un critère d'appréciation de la quantité d'inoculum présent dans une bananeraie.

Nous remarquons un décalage presque constant de deux semaines entre les conditions d'évaporation cumulées sur vingt huit jours et le niveau d'infestation.

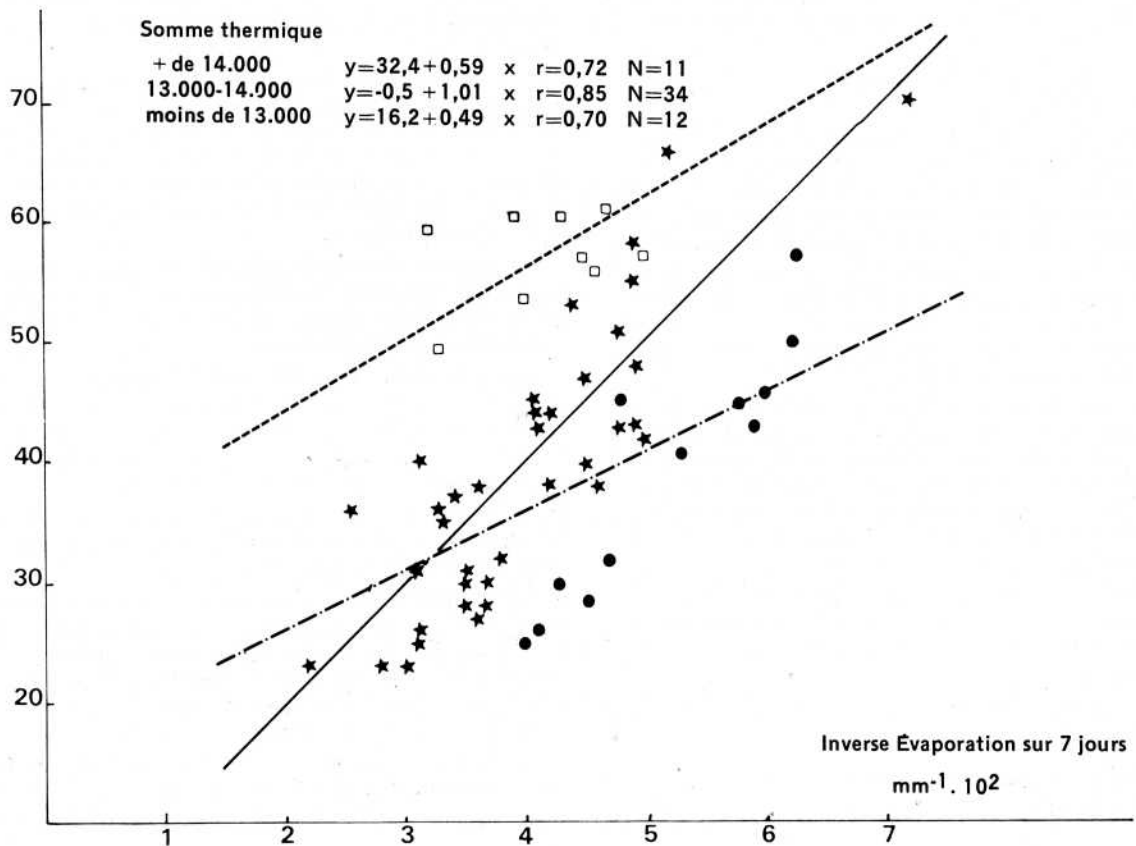
Compte-tenu de ces observations, nous avons choisi de mettre les décalages «évaporation-évolution du Cercospora» en relation avec les conditions d'évaporation intéressant les périodes de vingt huit jours se terminant deux semaines avant l'apparition des attaques, et avec les sommes thermiques des vingt huit jours précédant cette apparition.

Nous avons classé les conditions d'évaporation en fonction des sommes thermiques mensuelles :

Graphique 7. Relation entre développement du Cercospora et inverse de l'évaporation sur sept jours.
Neufchâteau 1970-1971. Zone pseudo traitée.



Graphique 8. Neufchâteau témoin 1971.



- Classe A : 48-50.000
- Classe B : 50-52.000
- Classe C : 52-54.000
- Classe D : 54-56.000
- Classe E : 56-58.000

Nous avons défini graphiquement les sous-classes en considérant les divers décalages observés par classe de température.

Pour chaque sous-classe nous avons moyenné les inverses d'évaporation cumulés sur vingt huit jours, correspondants.

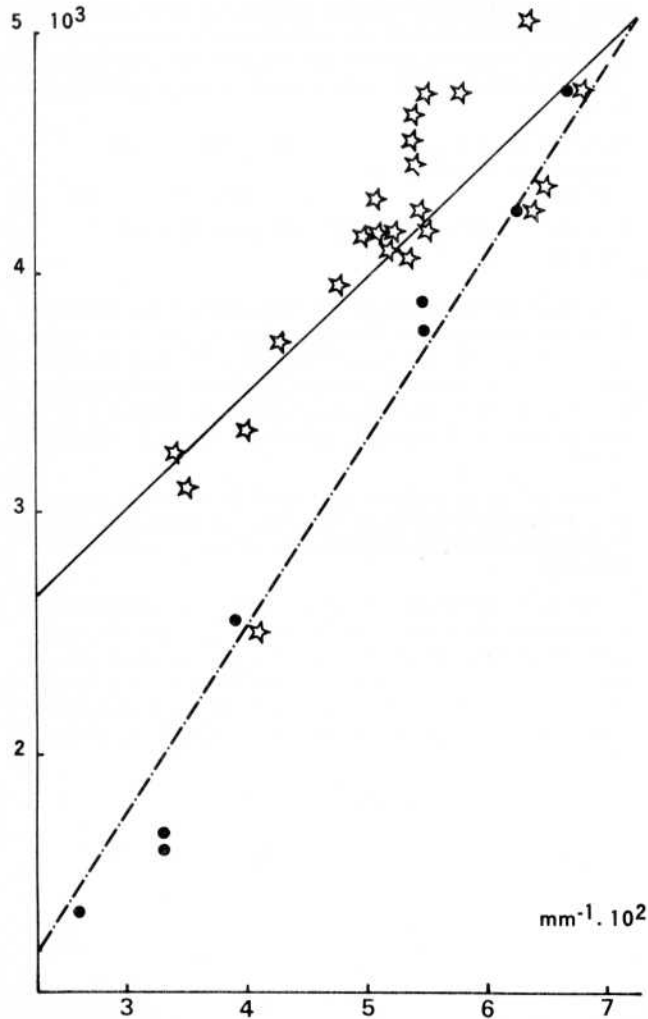
Le nombre de valeurs par sous-classe varie de 2 à 12, ce qui n'autorise aucune étude statistique.

Les graphiques 10a et 10b montrent la relation existant entre évaporation sur vingt huit jours et décalage pour chaque classe de température.

Graphique 9. Relation entre inverse de l'évaporation cumulée sur sept jours, et le développement du Cercospora exprimé par l'état d'évolution.

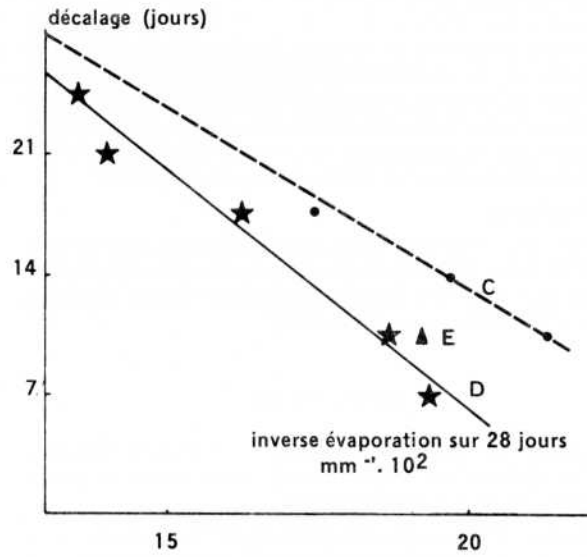
Somme thermique

+ de 13.000 $y = 31,7 + 0,95 x$ $r = 0,77$ $N = 23$
 - de 13.000 $y = -1,3 + 1,55 x$ $r = 0,96$ $N = 11$

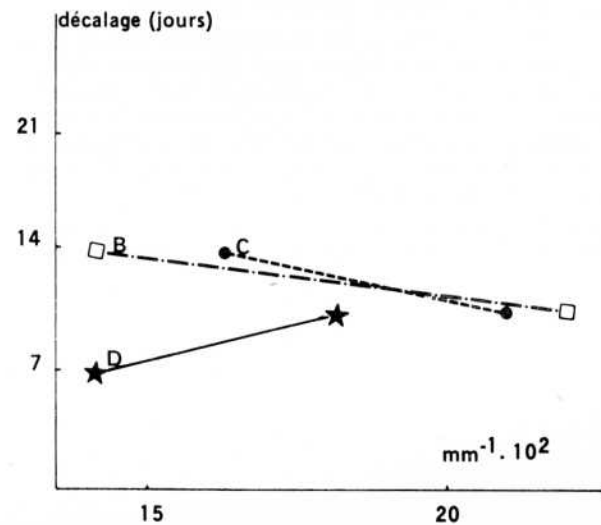


Graphique 10a et 10b. Relation entre décalage 3 «climat-Cercospora» et conditions d'évaporation des vingt huit jours se terminant deux semaines avant la manifestation de la maladie, pour diverses classes de sommes thermiques des vingt huit jours précédant la manifestation de la maladie.

- A - 48-50.000 B - 50-52.000
 - C - 52-54.000 D - 54-56.000
 - E - 56-58.000
- Neufchâteau 1970-71. Zone pseudo traitée.



Neufchâteau 1971. Zone témoin.



RÉSULTATS OBTENUS

En zones pseudo-traitées, les points des classes C et D s'alignent assez bien sur deux droites presque parallèles, montrant que le décalage décroît lorsque les conditions d'évaporation et les conditions thermiques deviennent plus favorables.

Le seul point de la classe E, ne correspond pas à cette remarque. Il indiquerait que pour les sommes thermiques élevées (plus de 56.000), le décalage dépend essentiellement de la température (si les conditions d'évaporation ne sont pas limitantes).

En zone témoin les résultats obtenus sont beaucoup moins nets. Les points des classes B et C semblent s'aligner sur une même droite (seuls deux types de décalage ont été observés). Les points de la classe D ne se disposent pas logiquement, ce qui confirmerait le rôle unique des températures pour les sommes thermiques (en conditions favorables d'évaporation), situées au-dessus d'un certain seuil. Ce seuil apparaît plus faible dans les cas de forte infestation (54.000 en zone non traitée), 56.000 en zone pseudo-traitée).

Conclusion.

Pour des conditions thermiques supérieures à un certain seuil de 54 à 56.000 (plus élevé en cas de forte infestation), le décalage dépend uniquement des températures (en conditions d'évaporation non limitantes).

CONCLUSION

L'étude comparée des conditions climatiques (évaporation et température, en particulier) nous a permis de mettre en évidence deux types de relations :

- Relation entre conditions climatiques hebdomadaires et évolution ultérieure de la maladie, ces deux éléments étant décalés dans le temps,
- Relation entre conditions climatiques mensuelles et décalage observé.

Possédant ces deux types de relation il sera possible, connaissant les conditions climatiques hebdomadaires et mensuelles de prévoir l'évolution de la maladie et de cerner la date de la manifestation visuelle sur les feuilles.

La prévision de l'évolution du Cercospora, doit se faire en combinant les deux facteurs évaporation-somme thermique et en déterminant pour chacun de ces facteurs des seuils d'action. On aboutit ainsi à l'établissement d'un abaque d'avertissement permettant de distinguer des conditions plus ou moins favorables à la maladie (F = favorable, AF = assez favorable, PF = peu favorable, DF = défavorable).

Les seuils ont été choisis en fonction des observations comparées et ils ont été ensuite testés par l'application ultérieure.

Seuils d'évaporation (mm)	22	30	40	
Seuils de somme thermique	11.500	11.000	10.000	
Conditions d'action sur la maladie		F	AF	PF
F < 22	> 11.500	AF entre 22 et 30		
		11.000 et 11.500		
PF entre 30 et 40	9.000 et 10.000	DF > 40		
		< 10.000		

La prévision de la manifestation probable de la maladie pourrait se faire en utilisant les cumuls d'évaporation et de somme thermique sur vingt huit jours.

Plutôt qu'une prévision de la date exacte de manifestation de la maladie, il s'agira de prévoir des traitements plus ou moins urgents en fonction des conditions climatiques.

Dans le cas des traitements à l'huile seule, et compte-tenu de la comparaison des facteurs climatiques hebdomadaires et des observations de la maladie, nous avons fait correspondre des rythmes de traitements aux conditions climatiques plus ou moins favorables (notées F, AF, PF, DF, MEYER, GANRY 1970).

Il faut remarquer aussi que l'hygrométrie est un des facteurs dont il faut tenir compte lorsque une des composantes de l'évaporation devient trop importante (le vent en particulier). Dans ce cas on se réfère aux nombres d'heures à hygrométrie supérieure à 90 p. cent, dont les seuils sont les suivants :

Seuils d'hygrométrie	60	40	10	
Conditions d'action sur la maladie		F	AF	PF
F > 60	AF entre 40-50	PF entre 10 et 40		
DF < 10.				

Dans le cas des traitements à l'huile seule, l'avertissement météorologique permet d'intervenir sur un rythme de traitement (15 jours en conditions favorables, 21 jours en conditions assez favorables, 30 jours en conditions peu favorables) avec toutes les combinaisons possibles en fonction de la date du dernier traitement réalisé (cf. MEYER, GANRY 1970).

Dans le cas de l'emploi d'un produit fongicide systémique, à durée d'action prolongée (nous étudierons le cas de traitements au Benlate huileux), le problème sera totalement différent.

Bien plus que de déterminer un rythme de traitement (il sera possible de prévoir un rythme en fonction de conditions moyennes hebdomadaires calculées sur plusieurs années), il va s'agir de prévoir un traitement en fonction de l'évolution de la maladie (dépendant en partie des conditions climatiques et en partie de l'efficacité du produit utilisé).

(à suivre)