

ÉTUDE DES PRINCIPALES COMPOSANTES DU MICROCLIMAT D'UNE CACAOYÈRE AU CAMEROUN

Importance écologique des variations spatiales et saisonnières

J. BOYER

*Maître de recherches principal de l'ORSTOM
Laboratoire de physiologie de l'IFCC au Cameroun*

INTRODUCTION

Les zones de culture du cacaoyer dans le monde sont situées de part et d'autre de l'équateur, approximativement entre les 20° parallèles nord et sud. Leurs caractéristiques climatiques essentielles sont les suivantes (LEMÉE, 1956 ; BURLE, 1961) : une température et une humidité atmosphériques constamment élevées, une forte pluviosité répartie sur presque toute l'année, avec des saisons de sécheresse relative généralement peu accentuées. La nébulosité étant assez forte, les valeurs relatives et énergétiques de l'insolation sont rarement élevées et restent faibles pendant une grande partie de l'année.

C'est dans ce contexte climatique que s'étend l'aire de culture du cacaoyer au Cameroun, localisée essentiellement dans la partie sud et centrale de la zone forestière du pays. Nos observations ont été effectuées dans une petite cacaoyère de type familial proche de Yaoundé, c'est-à-dire dans une zone située à une latitude voisine de 4° nord. Elle se trouve donc dans une aire géographique à climat subéquatorial, zone de prédilection pour la culture du cacaoyer, qui s'y trouve largement répandu depuis une trentaine d'années environ.

L'intérêt d'une étude écoclimatique précise et suivie se trouve justifié par le fait qu'une plantation de cacaoyers se présente en général sous l'aspect d'une formation végétale voisine de la forêt secondaire à laquelle elle s'est substituée. Ceci d'autant plus qu'une partie plus ou moins importante des essences naturelles d'origine est communément maintenue comme ombrage. La cacaoyère constitue donc un milieu forestier d'un type particulier dont il convient de connaître les principales caractéristiques microclimatiques. Leur évolution saisonnière peut en effet contribuer à façonner fortement le comportement de la cacaoyère. Comme dans toute recherche de nature écophysiologique, les premières démarches à entreprendre consistent à connaître de façon aussi précise que possible les conditions d'habitat qui règnent habituellement dans le type de cacaoyère étudié. La présente étude expose donc les résultats de trois années continues d'observations. Il n'est pas fait état du comportement des cacaoyers vis-à-vis de ces conditions. Ces observations feront ou ont fait déjà l'objet de publications à part (BOYER, 1970).

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

21 DEC. 1983

Café Cacao Thé, vol. XV, n° 4, octobre-décembre 1971

N° :

4283

Cote :

B

18 FEB. 1972

O. R. S. T. O. M.

275

Collection de Référence

n° 5239

Bio. Rural

4283

B.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Choix de l'emplacement et dispositifs d'observations

La région de Yaoundé a été choisie pour plusieurs raisons. Outre qu'elle constitue une aire culturale typique pour le cacaoyer qui y est très largement répandu, la proximité du Centre de recherches de l'IFCC (Nkolbisson) crée les conditions matérielles les plus propices à un travail continu et suivi. C'est pourquoi les points d'observations ont été groupés en un seul lieu, de façon à permettre à la fois des enregistrements surveillés et des mesures directes simultanées aussi comparables que possible. Trois conditions types ont été retenues comme étant celles qui règnent le plus souvent en cacaoculture au Cameroun (BOYER, 1970) :

- absence d'ombrage, par suite de la disparition des essences forestières naturelles habituellement utilisées ;

- ombrage léger, qui laisse passer en moyenne les deux tiers des radiations solaires, où dominent les essences à feuilles caduques ; dans le milieu étudié, c'est le cas le plus fréquent ;

- ombrage moyen ou « modéré », qui intercepte en moyenne la moitié des radiations solaires, composé plus particulièrement d'arbres fruitiers ou d'essences à feuillage plus dense et permanent. Parmi ceux-ci, le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) domine nettement. Ce cas ne subsiste le plus souvent qu'en quelques taches si la cacaoyère est âgée.

La plantation est de type familial et de faible étendue (1,5 ha environ). Elle est située en haut de pente et sommet de plateau sur un sol ferrallitique rouge, argilo-sableux, à horizon superficiel faiblement humifère et très homogène de 0 à 1 m de profondeur, où se localise la plus grande partie des racines des cacaoyers. De nombreux types y sont représentés, par suite des introductions successives de matériel étranger. Néanmoins, la plantation est composée d'une population de Trinitario, donc de toute une série d'hybrides qui présentent une multitude de combinaisons. Cette règle est, d'après BRAUDEAU (1969), assez générale au Cameroun. Les arbres sont en majorité âgés de vingt-cinq à trente ans et plantés irrégulièrement, avec une densité moyenne évaluée à 1.000 arbres/ha. Lorsqu'il n'existe pas de manquants ou d'arbres accidentés, les cimes forment une voûte continue qui plafonne à une hauteur moyenne d'environ 5,50 m.

L'étude des principaux facteurs du micro-climat atmosphérique est effectuée :

- Sur trois tours en bois (une par condition type) comportant quatre étages d'observations : au pied des cacaoyers (1), à la base des couronnes (2), dans leur moitié supérieure (3) et 1 m environ au-dessus de la limite supérieure des cimes (4). Un appareillage standard d'enregistrement ou de lecture directe est utilisé pour établir les gradients verticaux de la température, de l'humidité atmosphérique et du pouvoir évaporant de l'air (évaporation Piche). Des contrôles et des réglages des appareils sont effectués mensuellement avec des thermomètres et psychromètres de référence.

- Au cours de séries de mesures périodiques, utilisant comme base des quadrillages délimités au sol, à mailles de 1 m (répartition des précipitations sous couvert), ou le long de transects représentés par des câbles tendus sur une distance de 10 m et comportant des repères espacés de 0,20 m (répartition verticale de l'éclairement dans la biosphère des cacaoyers).

- L'étude de l'ensoleillement est réalisée au poste météorologique du centre, distant de 5 km de nos points d'observations, par dépouillement mensuel des données fournies par les indicateurs de durée d'insolation (héliographes de JORDAN et de CAMPBELL). Depuis un an environ, la valeur calorifique du rayonnement global est donnée par un solarigraphe auquel, tout récemment, a été adjoint un intégrateur électronique Kipp et Zonen, de type CC1.

L'étude des facteurs édaphiques a pour but :

- de déterminer les caractéristiques du sol liées à la rétention en eau : capacité au champ, point de fanaison permanente, marge d'eau utilisable par la plante, densité apparente du sol en place ;

- de suivre les variations saisonnières des profils d'humidité dans la rhizosphère des cacaoyers ; des prélèvements périodiques sont effectués de 20 en 20 cm jusqu'à 1 m de profondeur, à l'aide d'une tarière hélicoïdale d'un modèle standard couramment utilisé en pédologie, en trois séries de points différents ;

- d'établir le bilan hydrique saisonnier (différence entre les apports et les pertes) et les périodes de l'année au cours desquelles les cacaoyers risquent de souffrir par pénurie ou excès d'eau.

RÉSULTATS

Rayonnement solaire

L'importance énergétique de la radiation qui atteint la végétation n'est plus à démontrer. De nombreuses études ont déjà été effectuées, à l'INRA (Versailles) notamment, et CHARTIER (1966) en expose les bases théoriques. Notre but n'est pas d'entreprendre une étude semblable dans les cacaoyères, mais de déterminer comment se répartissent les radiations aux divers étages de leur biomasse, en fonction des saisons et de leur environnement écologique. On sait en effet que l'activité rythmique des cacaoyers est fortement influencée par les variations de ces facteurs externes (BOYER, 1970), en particulier par la présence ou l'absence d'ombrage naturel.

Répartition verticale de l'éclairement

Des séries de mesures ont été effectuées au cours de journées types, par temps calme, le long de transects délimités au sol. L'appareillage utilisé consiste en une série de trois luxmètres Guerpillon (type 490), à écrans amovibles. L'un d'eux est utilisé pour mesurer l'éclairement (E) en station découverte, les deux autres les valeurs sur des plans horizontaux choisis à cinq niveaux différents du couvert (E'). Un dispositif utilisant des perches à éléments démontables et de longueur connue permet d'atteindre ces différents points à partir du sol, selon une technique mise au point par GUERS (1971). Les mesures sont effectuées entre 11 et 13 h, au moment où les rayons ont une incidence proche de la verticale. Chaque observateur est muni d'un chronomètre, de façon à synchroniser les lectures toutes les 2 mn. Les résultats, portés sur la figure 1, représentent les moyennes de cent cinquante mesures par niveau, dans chaque condition écologique étudiée. Ils sont exprimés en éclairement relatif $ER = E'/E$.

Ces valeurs diminuent rapidement lorsqu'on s'enfonce dans la végétation suivant une verticale. A niveaux équivalents, les différences stationnelles (présence ou absence d'ombrage) sont très hautement significatives (au seuil 0,001) comme le montre l'analyse statistique du test t :

$$t = \frac{x - x'}{\sqrt{\frac{S^2 x}{n} + \frac{S^2 x'}{n}}}$$

où x et x' sont les moyennes de ER à un niveau donné pour les deux conditions étudiées, $S^2 x$ et $S^2 x'$ les variances, n le nombre de mesures. Pour

tous les niveaux, la valeur de t est supérieure à la limite de 3,29 établie au seuil 0,001. Cependant, le cas des cacaoyers situés en taches de lumière ne peut être assimilé à celui de ceux subissant les effets d'un ombrage naturel. On sait en effet que les luxmètres donnent sous écrans végétaux des mesures inexactes, par excès, de l'énergie transmise dans le visible, en raison de la prédominance dans le vert auquel ils sont le plus sensibles. Les mesures effectuées au sommet des couronnes, juste au-dessus d'elles, ne peuvent donc être comparées aux autres effectuées sous couvert.

L'examen du graphique supérieur de la figure 1 montre que si nous plaçons les valeurs de ER en fonction de la hauteur H des mesures, on obtient une liaison de forme exponentielle dans les deux conditions écologiques étudiées, tant que l'on

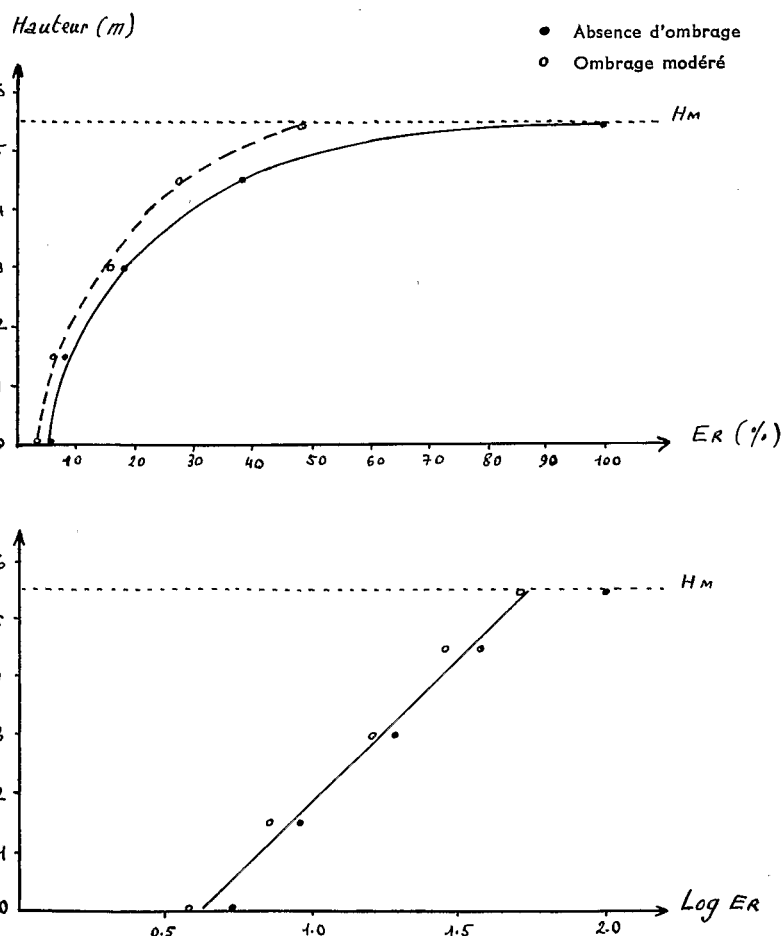


Fig. 1. — Profils lumineux sous cacaoyère soumise à deux conditions écologiques différentes

reste sous le couvert végétal. On peut en effet constater que les logarithmes de ER sont en relation linéaire avec H (graphique inférieur de la figure 1), sauf pour la valeur relevée en situation découverte, au-dessus de la cime des cacaoyers en taches de lumière. Néanmoins, on peut considérer qu'il existe une régression linéaire manifeste dont la valeur de la pente peut être confondue (0,195 en l'absence d'ombrage, 0,196 sous ombrage modéré) et estimée par calcul à 0,1958 (avec un écart-type de 0,0106). Les équations des deux droites sont alors :

- en l'absence d'ombrage :

$$\log ER = 0,1958 H + 0,6873$$

d'où :

$$ER = e^{0,1958 H + 0,6873}$$

- sous ombrage modéré :

$$\log ER' = 0,1958 H + 0,5831$$

d'où :

$$ER' = e^{0,1958 H + 0,5831}$$

La valeur 0,1958, que l'on arrondit à 0,20 ($\pm 0,02$ au seuil 5 %), peut être considérée comme « coefficient d'extinction relative de la lumière », constant sous le couvert des cacaoyers dans les conditions écologiques étudiées. En l'absence de mesures directes avec une thermopile, on ne peut en effet établir un coefficient d'extinction par rapport à l'éclairement incident.

La variable dépend du couvert naturel existant comme ombrage, sa valeur maximum étant 0,6873 quand celui-ci n'existe plus.

L'étude de la répartition verticale de l'éclairement à travers la biomasse d'une cacaoyère âgée montre qu'elle peut présenter un type de couvert relativement homogène, si elle est en bon état végétatif et sanitaire. Dans ce cas, les frondaisons forment une voûte continue, et si les taches de soleil et les zones d'ombre sont nombreuses, étant donné l'irrégularité des espacements entre arbres voisins, chacune d'elles présente une surface réduite. La régularité des résultats obtenus peut s'expliquer par l'uniformité des valeurs de l'« indice de surface foliaire » (leaf area index = LAI), qui exprime la surface totale du feuillage développée par unité de surface horizontale de terrain. En l'absence d'ombrage naturel, ces valeurs sont presque toujours comprises entre 5 et 5,5 ; sous couvert naturel modéré, entre 4,5 et 5. Cette densité plus forte du feuillage des cacaoyers en taches de lumière semble d'ailleurs se répercuter sur la valeur relative de l'extinction, très sensiblement plus grande en découvert que sous ombrage dans les étages supérieurs situés entre 5,50 m et 4,50 m.

On peut également noter que les phénomènes de chute et d'apparition de feuilles nouvelles

étant presque simultanés (ALVIM, 1965 ; BOYER, 1970), les variations saisonnières sont insignifiantes. Avec un nombre de mesures suffisamment grand, il devient alors possible de définir une extinction uniforme de la lumière sur des plans horizontaux situés à différents niveaux du couvert, comme le montre la figure 1. Dès que l'on s'enfonce au-dessous des niveaux supérieurs de la couronne des cacaoyers, l'éclairement résiduel moyen s'abaisse au-dessous du quart des valeurs relevées en station découverte, ce qui se traduit par une diminution rapide de l'activité photosynthétique (LEMÉE, 1956). Au niveau du sol, les valeurs de ER sont le plus souvent comprises entre 3 et 5 %. Des valeurs extrêmes plus élevées ou plus basses peuvent exister, mais elles traduisent alors une mauvaise implantation (densité inadéquate ou présence de nombreux manquants) ou un mauvais état végétatif et sanitaire des cacaoyers.

Mesure de l'ensoleillement et de l'énergie de radiation

L'établissement de la répartition de l'éclairement et de son extinction progressive à travers les strates végétales ne fournit aucune donnée sur les quantités d'énergie qu'elles reçoivent. Nous avons déjà montré que les mesures au luxmètre présentent un inconvénient majeur du fait que la sensibilité de cet appareil ne s'étend qu'à une partie visible du spectre, particulièrement au vert. Or, c'est le rouge orangé et le bleu-violet qui sont les plus importants pour la photosynthèse. Il n'est donc pas étonnant d'enregistrer des différences entre les mesures fournies par un luxmètre et une thermopile, comme l'a montré CACHAN en Côte d'Ivoire (1963).

D'après plusieurs microclimatologues, la correspondance entre rayonnement énergétique et rayonnement lumineux en découvert varie de 53.500 à 75.000 lux pour $1 \text{ cal}^{-2} \text{ min}^{-1}$ en Europe occidentale. Cette valeur peut atteindre 96.000 lux en haute altitude (Alpes). Quand on peut disposer simultanément d'une thermopile et d'un luxmètre, il est alors possible d'établir les valeurs des facteurs de transformation k lux-calories :

$$1 \text{ lux} = k \cdot 10^{-5} \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

En agronomie, on attache de l'intérêt à l'évaluation journalière du temps pendant lequel le soleil brille. Cette donnée peut être aisément connue grâce aux indicateurs de durée d'insolation (héliographes). Mais ces appareils n'enregistrent que le rayonnement dont l'intensité dépasse un certain seuil, et ne fournissent donc que des données relatives. Néanmoins, on peut utiliser leur valeur comparative au cours d'un laps de temps correspondant à la durée d'un cycle de développement.

La valeur énergétique du rayonnement global qui arrive au niveau de la végétation ne peut être connue qu'avec l'aide de solarigraphes. Un de ces appareils a récemment été mis en service en un point proche de nos observations et nous ne sommes pas encore en mesure de donner des résultats qui couvrent une période suffisamment étendue.

Valeur de la durée d'insolation

Les résultats, fournis par trois années d'observations continues, sont reportés sur le graphique inférieur de la figure 5 (p. 282). Ils montrent que les valeurs saisonnières ne sont, en général, pas très élevées. Les moyennes annuelles, pour les trois années d'observations qui vont de décembre 1967 à novembre 1970, sont respectivement : 4 h 17 mn, 4 h 11 mn et 4 h 34 mn/j. Cependant, il existe au cours de l'année des fluctuations périodiques qui correspondent sensiblement aux deux périodes de sécheresse relative et aux saisons pluvieuses :

- de décembre à février (saison sèche hivernale), où la valeur moyenne pour les trois années est de 5 h 34 mn/j ;
- de mars à juin (petite saison pluvieuse) : 4 h 37 mn/j ;
- juillet-août (petite saison sèche) : 2 h 29 mn/j ;
- septembre à novembre (grande saison des pluies) : 4 h 01 mn/j.

Il existe donc un rythme saisonnier très net, et nos précédentes observations ont montré qu'il coïncide avec celui des poussées foliaires (BOYER, 1970) : les trois périodes principales se situent en décembre-janvier, mars-avril et septembre-octobre. Par contre, cette activité est pratiquement nulle au cours de la saison estivale, où les valeurs de durée d'insolation sont les plus basses. Il est donc probable que l'activité de croissance foliaire ne se manifeste que lorsque la durée journalière d'insolation atteint une moyenne d'au moins 3 h. Mais ceci n'est qu'une indication dont la valeur d'interprétation sera sans doute à réviser lorsque cet ensoleillement pourra être traduit en valeur énergétique, sans doute très variable d'une saison à l'autre.

Microclimat thermique

En zone forestière sub-équatoriale, les variations saisonnières de la température atmosphérique sont en général assez faibles, si l'on se rapporte à des données moyennes. Pour la région de Yaoundé, LETOUZEY (1968) indique une moyenne annuelle de 23,4 °C, avec des extrêmes mensuels de 24,5 °C en mars et 22,2 °C en juillet. Les valeurs des maxima et des minima étant respectivement de

28° et 18,8 °C, une connaissance plus précise de ces données, à l'échelle microclimatique, devient nécessaire si l'on veut tenter d'interpréter les réponses du cacaoyer aux variations de ce facteur important de l'environnement, mis en évidence par MURRAY (1955), et également par ALVIM (1965), qui le range dans les espèces à croissance typiquement intermittente.

Comme dans tout milieu forestier, il existe un gradient vertical plus ou moins marqué des principales composantes du microclimat atmosphérique, dont l'action saisonnière doit se faire sentir sur les différentes strates de la végétation quand elles sont soumises à des conditions écologiques très diverses.

Variations verticales saisonnières des températures

Les résultats sont exprimés en moyennes bi-mensuelles des maxima, minima, températures diurnes et nocturnes, écarts et amplitudes thermiques. Les graphiques des figures 2, 3 et 4 (p. 280-281) représentent ces variations pour les maxima et minima enregistrés au cours de ces trois années d'observations, et aux trois principaux niveaux végétatifs de la charpente des cacaoyers :

- le long du tronc (moyennes des niveaux 1 et 2) ;
- moitié inférieure du feuillage (2 et 3) ;
- moitié supérieure des couronnes (3 et 4).

L'examen de ces graphiques montre qu'il existe trois facteurs principaux de variations :

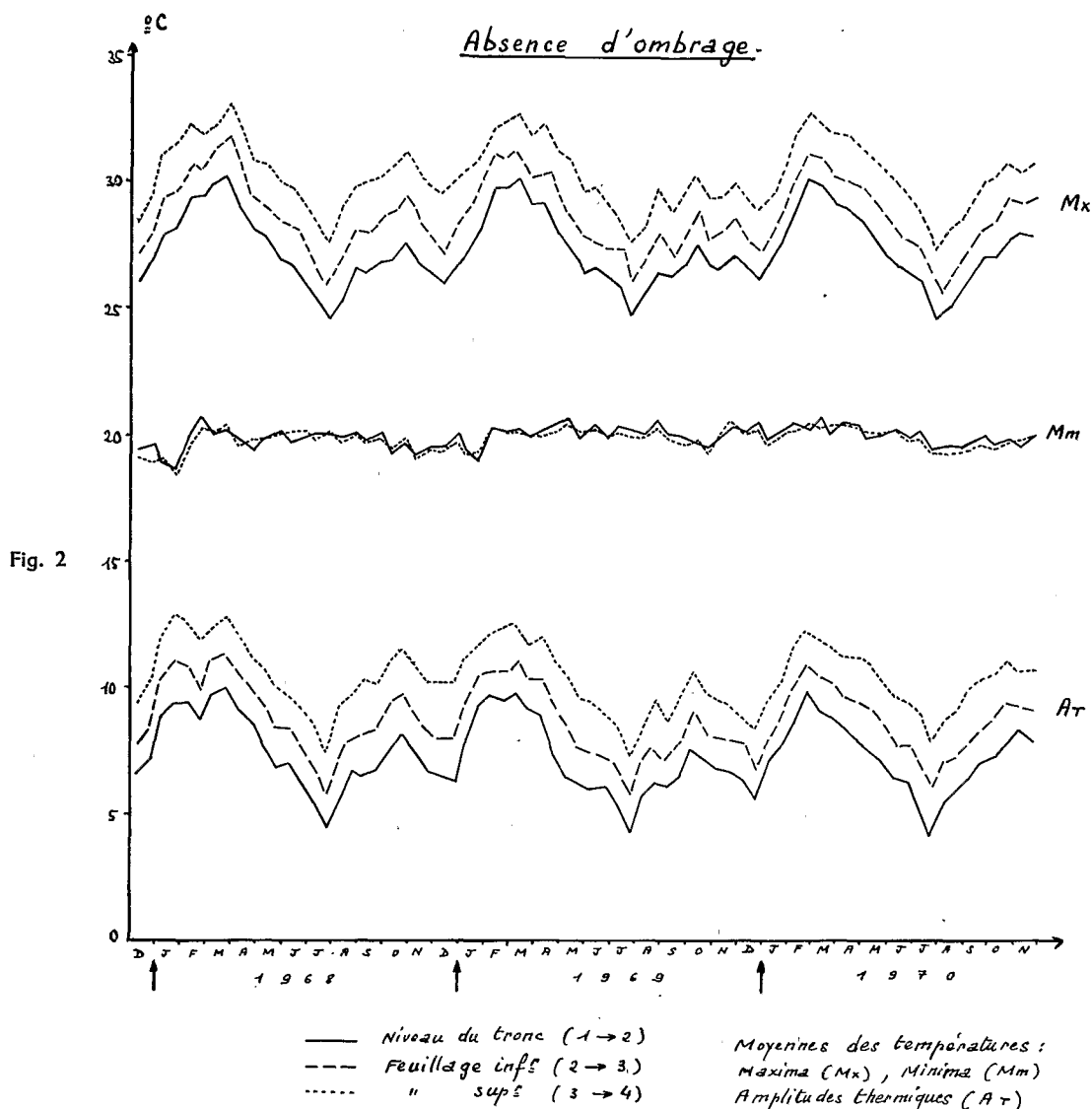
- saisonnier (écarts d'une quinzaine à l'autre) ;
- stationnel (présence ou absence d'ombrage) ;
- vertical (différences entre niveaux verticaux).

L'analyse factorielle a permis de mettre en évidence ces différences et les interactions possibles qui peuvent exister. Les moyennes diurnes établies pour les trois stations différentes et pour chacun des quatre niveaux d'observations montrent qu'il existe entre couples de mesures des différences très hautement significatives. Le tableau suivant indique les moyennes calculées sur soixante-douze quinzaines :

Station Niveau	Absence d'ombrage	Ombrage léger	Ombrage modéré
1	23,75	22,95	22,32
2	25,07	24,08	23,25
3	26,50	25,28	24,27
4	28,11	26,69	25,50

Le test de KEULS montre que dans toutes les lignes et toutes les colonnes du tableau, les diffé-

Fig. 2-3-4. — Variations saisonnières des moyennes bimensuelles des maxima, des minima et de l'amplitude thermique aux principaux niveaux verticaux de la biomasse des cacaoyers, dans trois conditions écologiques types



rences entre températures moyennes prises deux à deux sont différentes à un seuil de probabilité très élevé.

Les différences sont par conséquent très hautement significatives :

a) Pour une même station, les températures croissent du niveau 1 au niveau 4.

Ces accroissements sont les suivants, du niveau 1 au niveau 4 :

absence d'ombrage : 1,32°-1,43°-1,61°,
ombrage léger : 1,13°-1,20°-1,41°,
ombrage modéré : 0,93°-1,02°-1,23°.

Les trois courbes ont une allure exponentielle.

b) Pour un même niveau, les températures augmentent quand on passe de la station sous ombrage modéré à l'absence d'ombrage.

Les accroissements de températures d'une station à l'autre sont les suivants :

niveau 1 : 0,63°-0,80°,
niveau 2 : 0,83°-0,99°,
niveau 3 : 1,01°-1,22°,
niveau 4 : 1,19°-1,42°.

Les quatre courbes ont également une allure exponentielle.

L'analyse factorielle des moyennes nocturnes n'a pas été effectuée malgré le rôle important

Fig. 3.

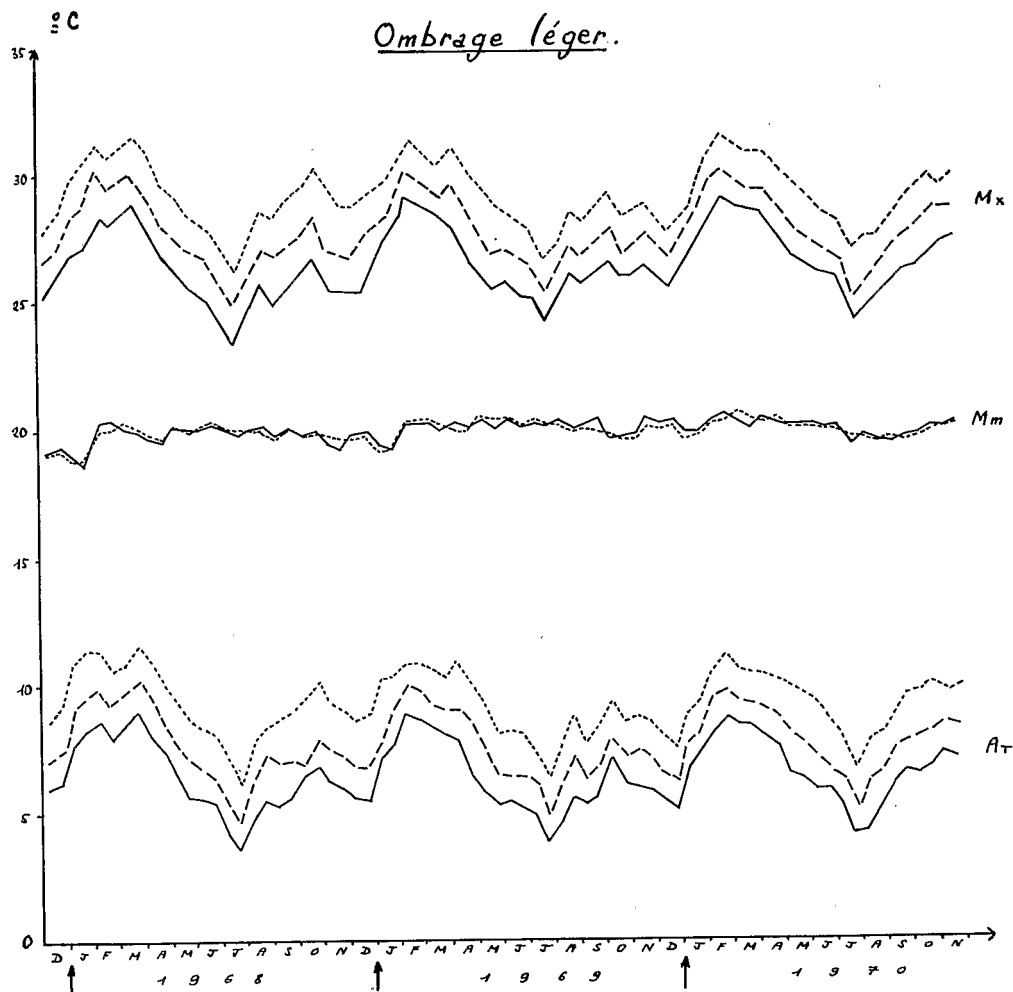


Fig. 4.

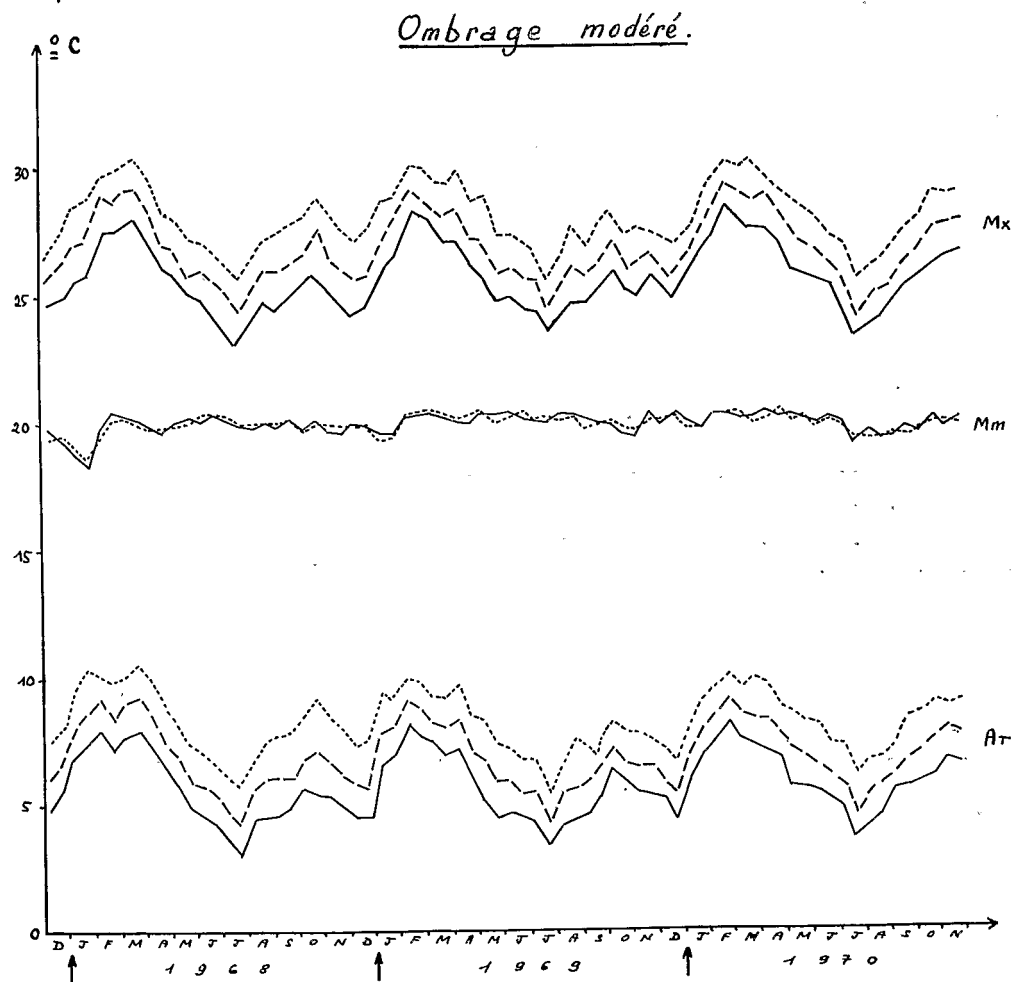
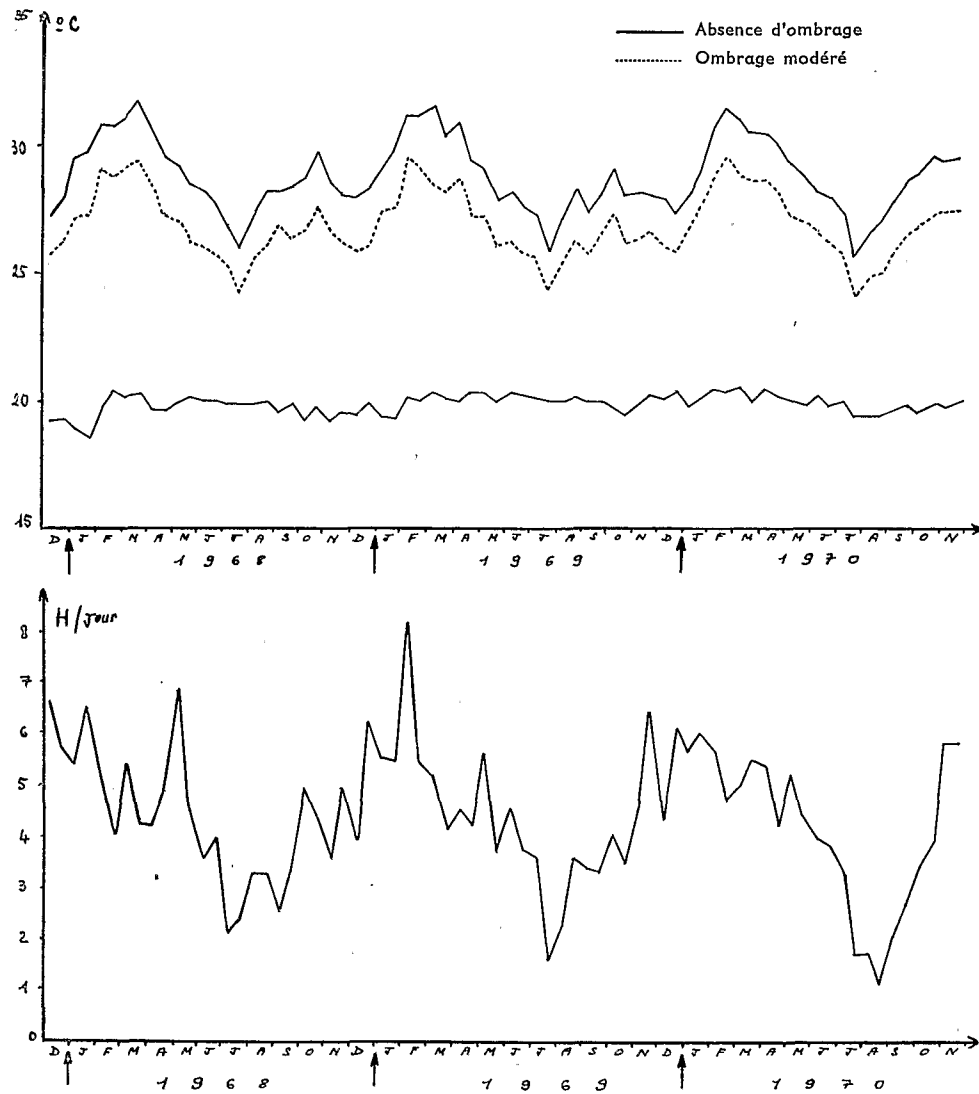


Fig. 5. — Evolution saisonnière comparée de la moyenne à tous les niveaux des maxima et des minima, et de la durée journalière d'insolation



qu'elles jouent dans la respiration. Il existe en effet de très faibles écarts saisonniers et spatiaux. Les premiers sont les plus aisément décelables, comme le montre l'examen des minima représentés graphiquement sur les figures 2, 3 et 4. Cependant, les valeurs ne dépassent pas les limites de 20,5° et 21,8 °C. Pendant la plus grande partie de l'année, les moyennes nocturnes restent très voisines de 21 °C en tous les points de la cacaoyère. Par conséquent, les différences verticales et surtout stationnelles sont insignifiantes. Comme on ne peut avoir une certitude absolue sur la précision des instruments utilisés, l'interprétation devient aléatoire si elle ne s'appuie que sur des différences de quelques dixièmes de degrés.

Si maintenant on établit un classement saisonnier

par ordre de températures décroissantes, on constate que les différences sont toutes significatives dans la série qu'elles forment, sauf pour octobre, où les valeurs relevées pour les deux quinzaines sont presque équivalentes (ceci étant sans doute dû à la forte pluviosité).

L'étude de l'interaction qui lie cette évolution saisonnière des températures diurnes aux variations stationnelles montre :

- que le mois de mars est toujours le plus chaud ;
- que juillet est toujours le plus frais, en accord avec ce qui a été observé par LETOUZEY (1968).

Le classement des autres mois subit de faibles variations d'un environnement à l'autre. Dans

tous les cas, ces données sont les plus élevées au cours des mois de mars, avril, février et également octobre et janvier. Sauf pour février, qui se trouve être un mois au cours duquel les déficits hydriques du sol constituent le facteur limitant, ces périodes correspondent à une activité maximale des poussées foliaires, que les cacaoyers subissent ou non l'influence d'un ombrage naturel. L'action de la température, même si elle est indirecte, est donc certaine. Mais il est probable que c'est plutôt l'intensité du rayonnement solaire, qui est le facteur le plus directement impliqué dans l'évolution rythmique de ce phénomène. L'étude des rapports qui existent entre les données solarigraphiques et le gradient vertical de la température de l'air sous couvert de cacaoyers a fait l'objet de quelques observations au Cameroun. C'est ainsi qu'en un point très proche de notre propre lieu d'observations, TURLOT (1965) a montré qu'il existe une corrélation significative entre l'ensoleillement et la variation de température entre le niveau du sol et la partie supérieure des couronnes. Malheureusement, cette étude ne porte que sur quelques journées choisies au cours d'une période très courte (fin décembre 1964 à début février 1965), et les données d'ensoleillement sont évaluées par la surface des courbes solarigraphiques enregistrées.

Une corrélation très hautement significative existe en effet entre les températures moyennes observées et la durée d'insolation comme on pouvait le supposer en examinant les graphiques de la figure 5. Bien que cette comparaison soit établie ici, avec les moyennes des maxima, un rapport identique existe avec les valeurs diurnes dont l'évolution spatiale et saisonnière est analogue. L'analyse statistique de ces données donne donc les résultats suivants :

		Coef. de corrélation (r) linéaire	Pente de la droite (b)	Variance de la pente (s ² b) (70 degrés de liberté)
Absence d'ombrage	Niveau 1	0,53	0,43	0,006 86
	Niveau 2	0,47	0,39	0,007 38
	Niveau 3	0,46	0,37	0,007 37
	Niveau 4	0,44	0,36	0,007 64
Ombrage léger	Niveau 1	0,53	0,39	0,005 40
	Niveau 2	0,51	0,39	0,006 19
	Niveau 3	0,50	0,38	0,006 11
	Niveau 4	0,52	0,41	0,006 38
Ombrage modéré	Niveau 1	0,54	0,35	0,004 22
	Niveau 2	0,48	0,34	0,005 62
	Niveau 3	0,52	0,35	0,004 75
	Niveau 4	0,50	0,38	0,006 23

Les coefficients de corrélations sont tous très hautement significatifs (r limite = 0,38 au seuil de probabilité 0,001).

L'importance quantitative des modifications radiatives et thermiques dans la biomasse des cacaoyères en bon état végétatif et sanitaire montre qu'elles sont soumises à des microclimats subforestiers. Dans la région de Yaoundé en particulier, où ces formations végétales sont très dégradées, les plantations sont établies sous forêt hémio-mbrophile très éclaircie. L'ombrage naturel qui subsiste y est donc en général assez léger et dans certaines plages où les arbres sont âgés, il peut même pratiquement disparaître. Sous le couvert des cacaoyers, on peut donc observer des variations verticales et stationnelles des températures dont les écarts atteignent, du niveau du sol au sommet des cimes et en valeur moyenne diurne : 3,2° sous ombrage modéré, 3,7° sous ombrage léger et 4,4° en l'absence de tout ombrage naturel. Ces chiffres laissent en outre supposer que ces variations verticales sont encore plus accentuées pour les températures maxima relevées.

Température des tissus foliaires

L'action échauffante de la température atmosphérique se manifeste sur les surfaces avec lesquelles le rayonnement ambiant entre en contact. Mais lorsqu'il s'agit de surfaces vivantes, comme celles des feuilles, leur réaction à l'échauffement, dont dépend leur survivance en milieu chaud, peut être très différente. Pour une température déterminée de l'air, celle des tissus foliaires qui en résulte est sous la dépendance, en milieu naturel, d'un certain nombre de facteurs, dont les plus importants sont : le bilan radiatif des feuilles, le transfert de chaleur de l'air environnant et la perte d'énergie par transpiration. D'autres facteurs internes interviennent également, qui font appel à une connaissance approfondie des échanges énergétiques dus aux phénomènes physio-chimiques dans les tissus foliaires.

Nos méthodes de mesure de la température interne des feuilles sont basées sur celles de LANGE (1965), qui utilise des éléments thermo-électriques si petits, qu'ils n'influencent pas de façon sensible le régime thermique interne de la feuille. L'appareillage utilisé consiste en une petite sonde à éléments thermosensibles stabilisés (thermistance), insérée dans un pont de Wheatstone, celui-ci alimentant un galvanomètre par l'intermédiaire d'un étage amplificateur.

L'alimentation par piles et le faible encombrement de l'appareil permettent un transport et une manipulation relativement aisés dans la couronne des arbres. La température des feuilles de cacaoyer ne varie pas sensiblement d'un point à un autre d'une même feuille si son exposition ne présente pas d'hétérogénéité (taches de lumière ou d'ombre) et si les mesures sont faites en dehors

des nervures principales. Comme les différences sont en outre très faibles sur les deux faces, nos mesures ont donc été effectuées sur la face inférieure dans la zone médiane du limbe. Parallèlement, des mesures microclimatiques sont réalisées simultanément par d'autres opérateurs : température

ambiante au voisinage des feuilles, éclaircissement, humidité relative de l'air et nébulosité. La transpiration est également évaluée par mesures instantanées, selon la technique utilisée par LEMÉE (1956) sur cacaoyers en Côte d'Ivoire. Les résultats sont synthétisés par les graphiques des figures 6, 7 et 8.

Fig. 6-7-8. — Evolution journalière de la température des tissus foliaires en fonction de leur exposition dans la couronne et de certaines données liées au climat saisonnier, au cours d'une période hivernale de sécheresse relative

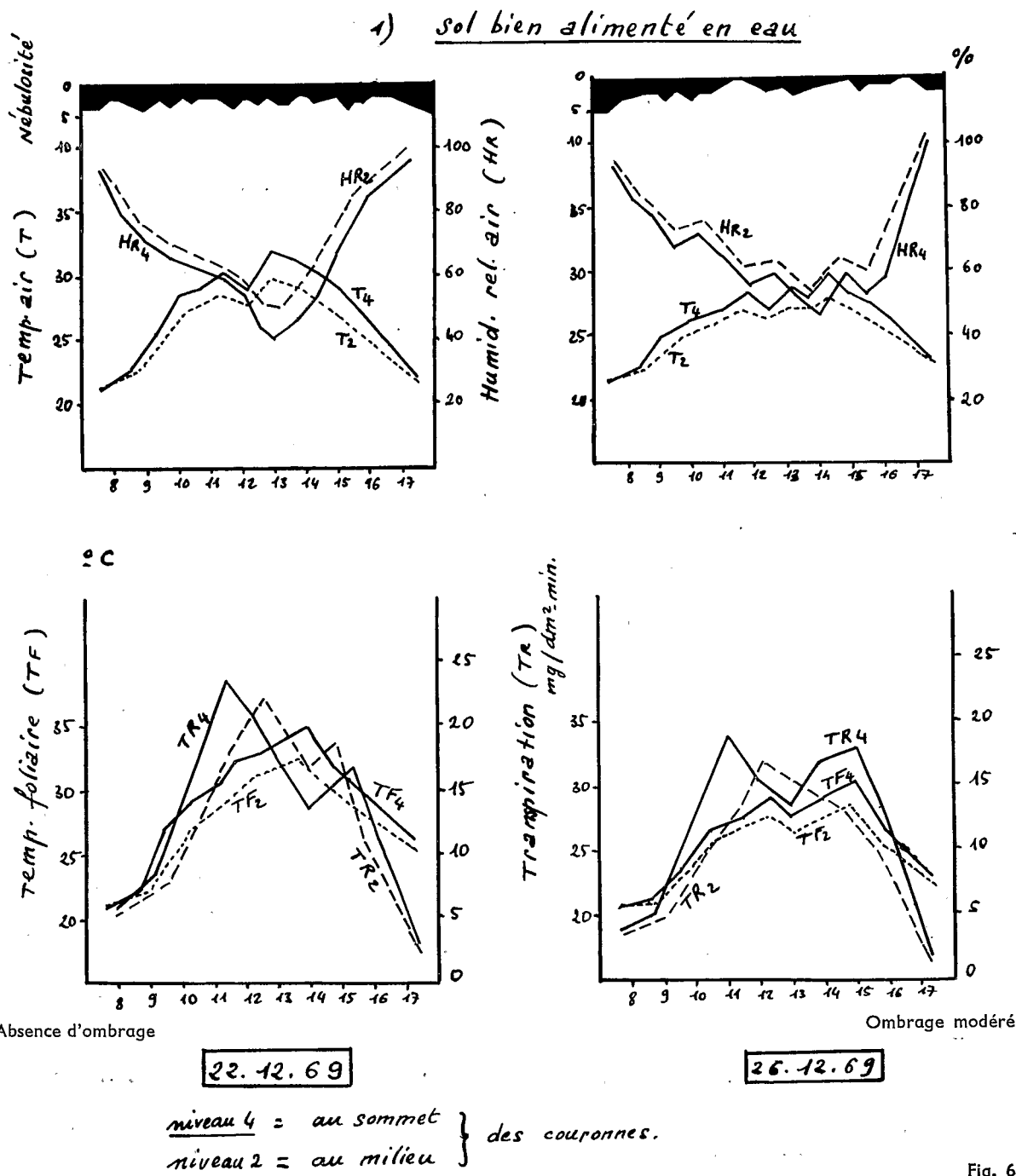


Fig. 6

Ils ne portent que sur des feuilles adultes, ayant atteint leur plein développement, mais se trouvant dans des situations très différentes dans la couronne (feuilles fortement exposées ou subissant l'auto-ombrage). Ils montrent que la température des tissus foliaires dépend essentiellement de deux ordres de facteurs principaux :

— l'intensité du rayonnement solaire, qui se manifeste par le jeu des températures atmosphériques ;

— les quantités d'eau du sol disponibles pour les plantes, dont dépend le taux de transpiration.

En période de bonne alimentation en eau, la température dans les feuilles reste presque identique à celle de l'air tant que le taux de transpiration est élevé. Chez les feuilles les plus exposées, la baisse de ce taux que l'on enregistre en mi-journée provoque une élévation de la température dans les feuilles qui peut atteindre 4 °C si elles sont très exposées. Chez celles qui subissent les effets de l'ombrage, cette élévation ne dépasse guère 2 °C, le taux de transpiration s'y maintenant plus élevé au cours de l'après-midi que dans les tissus les plus exposés (fig. 6).

2) Sécheresse du sol suffisante pour freiner la transpiration

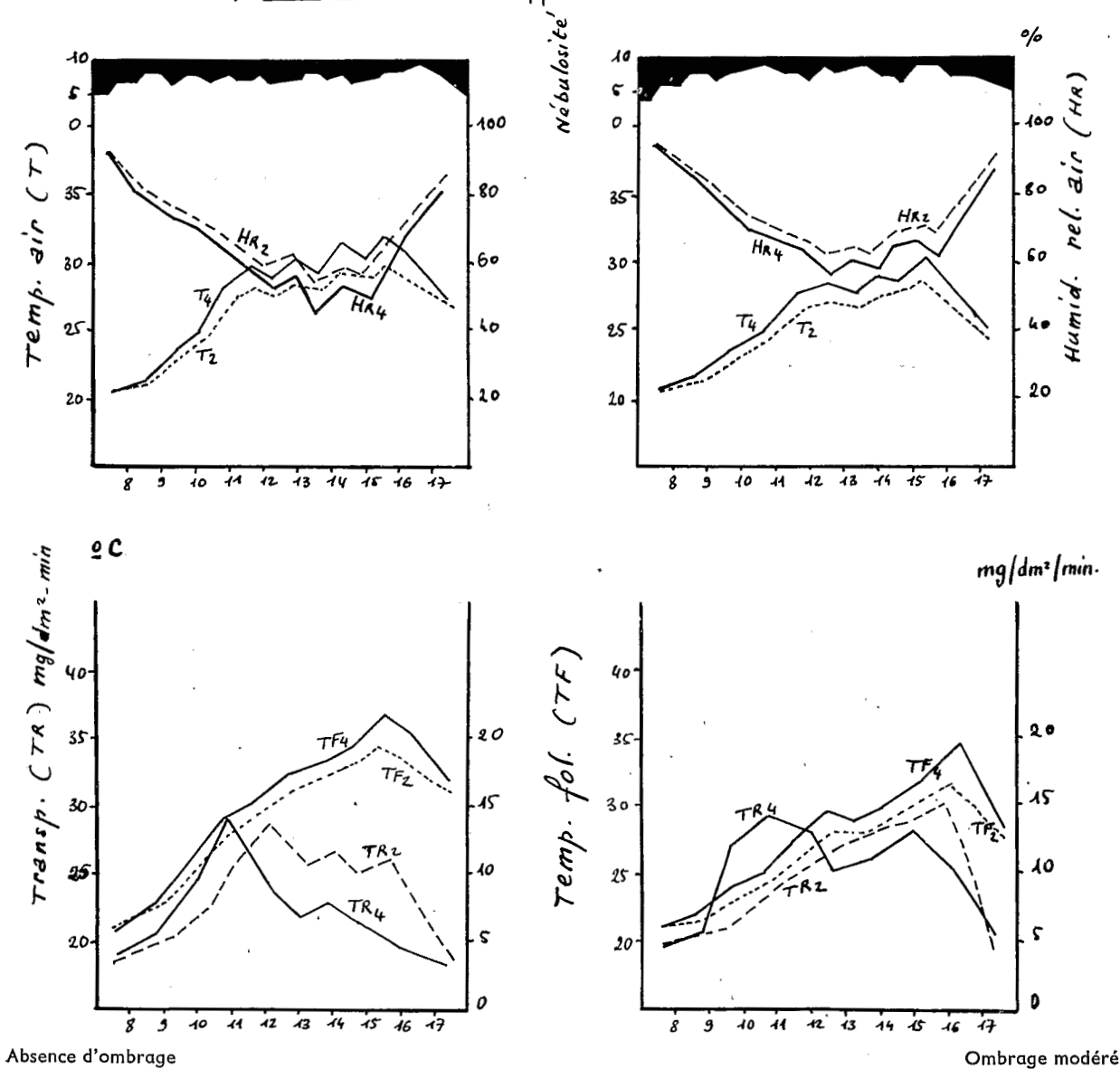


Fig. 7

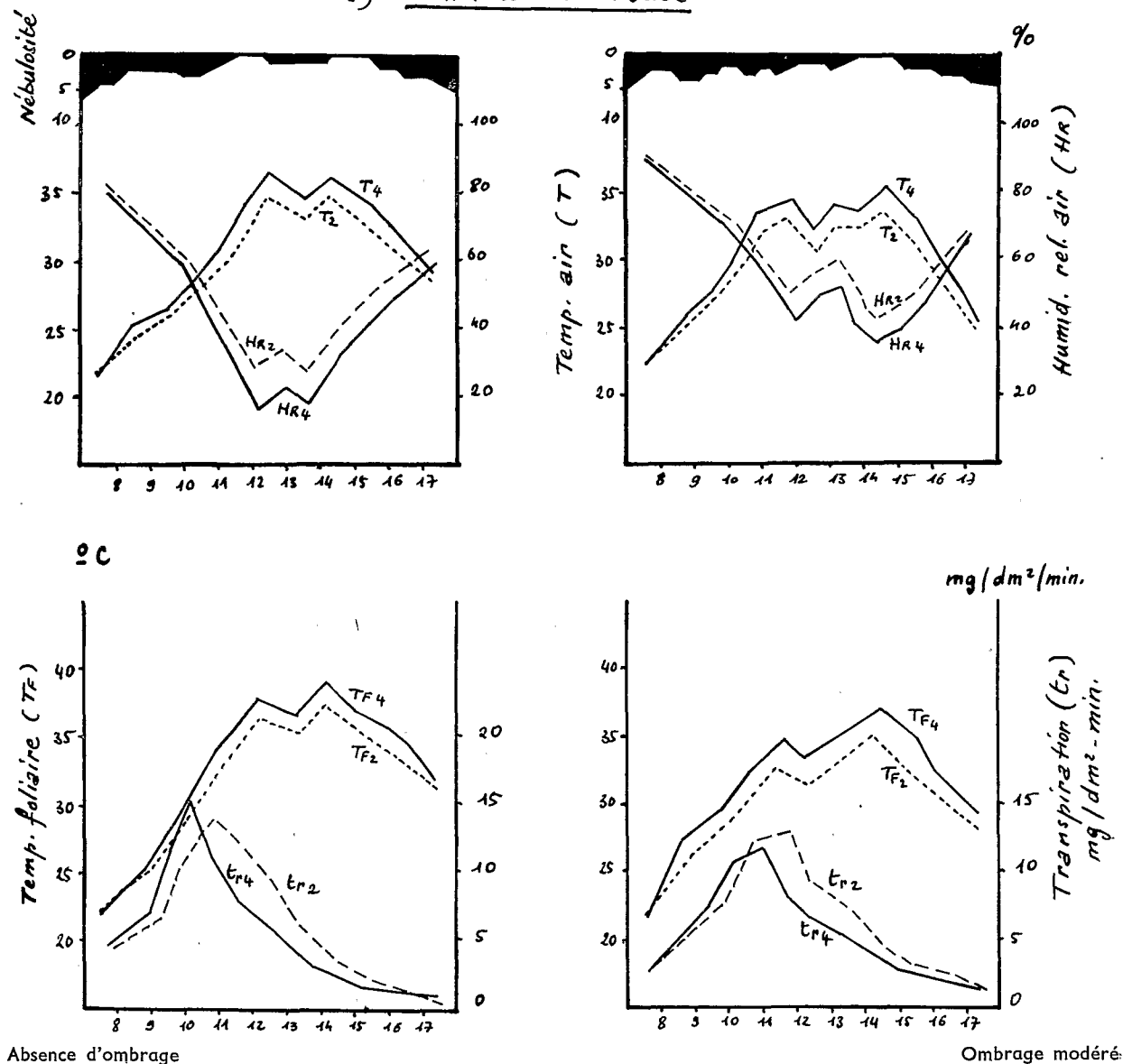
Lorsque la sécheresse du sol est suffisante pour freiner la transpiration (déficit voisin de 40 %), la chute très nette qu'elle subit en mi-journée et au cours de l'après-midi provoque une élévation qui atteint et même dépasse 4 °C et se maintient pendant la plus grande partie de l'après-midi chez les feuilles exposées. Celles qui subissent les effets de l'ombrage accusent des différences maximales très voisines, mais qui apparaissent plus tard et se maintiennent moins longtemps (fig. 7).

Lorsque la sécheresse du sol est suffisamment poussée, le taux de transpiration qui baisse très rapidement dès le milieu de la matinée (fig. 8)

provoque un échauffement rapide des tissus foliaires, mais qui ne dépasse guère les valeurs maxima précédentes. Les écarts se produisent plus tôt et se maintiennent plus longtemps encore au cours de la journée.

Quelques mesures effectuées sur feuilles jeunes en cours de croissance (mais qui n'existent seulement que lorsque le sol est suffisamment bien alimenté en eau) montrent des valeurs sensiblement identiques à celles relevées sur feuilles adultes. La seule différence nette réside dans la vitesse de réchauffement qui est environ trois fois plus grande que chez les tissus adultes. Au cours des jour-

3) sécheresse accentuée



4. 3. 70

Fig. 8

5. 3. 70

nées d'alternances brusques insolation-nébulosité, l'élévation de température chez des feuilles très jeunes, non encore chlorophylliennes, peut atteindre 4 à 5 °C en l'espace d'une minute.

En conclusion, les feuilles adultes des cacaoyers appartiennent donc aux espèces dites « hyperthermiques », qui ont besoin d'auto-ombrage, ou d'ombrage si le couvert n'est pas suffisamment dense. En cas de forte insolation et de pénurie en eau du sol, l'ombrage freine efficacement les processus qui aboutissent à la réduction de l'activité photosynthétique.

La mesure de la température dans les tissus foliaires peut donc être utilisée avec profit comme test de souffrance résultant des effets de la sécheresse atmosphérique et édaphique.

Bilan hydrique saisonnier

En zones équatoriale et tropicale humide, le régime des pluies constitue un des facteurs climatiques déterminants de l'activité végétative des plantes de culture (LEMÉE et BOYER, 1960). Mais comme le fait remarquer LEMÉE (1959), le rôle du sol qui reçoit ces eaux peut devenir primordial, car il différencie l'existence des groupements floristiques distincts au sein des grands ensembles climatiques. Le rôle écologique du régime d'humidité des sols dans ces zones dépend à la fois de facteurs typiquement climatiques (pluviosité) et édaphiques (caractères des sols liés à la rétention

en eau). Sous ces climats, il se pose souvent un double problème :

— risques de pénurie en eau au cours des saisons sèches, même si elles sont peu accentuées et brèves ;

— risques d'excès pendant les saisons fortement pluvieuses.

D'autres facteurs climatiques, comme l'élévation du pouvoir évaporant de l'air qui peut résulter à la fois d'un abaissement de son humidité relative, du régime des vents et de l'ardeur de l'insolation, jouent également un rôle important dans l'évolution saisonnière des pertes en eau par évapotranspiration.

Précipitations

Répartition saisonnière des eaux météoriques

Dans cette zone de type subéquatorial, le rythme annuel des précipitations est d'un type que JACQUES-FÉLIX (1954) nomme « tétraorique », avec deux saisons pluvieuses et deux saisons de sécheresse relative, comme le montre la figure 9. Au cours des trois années étudiées, la pluviosité a été excédentaire, si l'on se rapporte à la moyenne annuelle de 1.529 mm admise par LETOUZEY (1968) pour la région de Yaoundé. Cet excédent annuel peut avoir des causes variables, car il peut porter

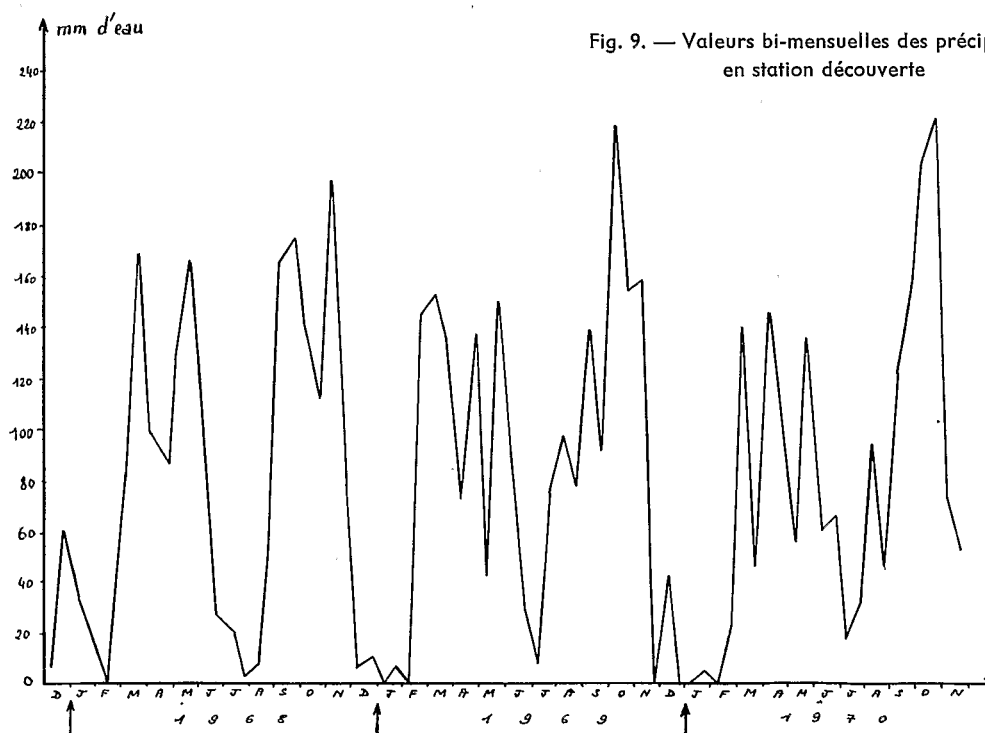


Fig. 9. — Valeurs bi-mensuelles des précipitations en station découverte

sur une ou plusieurs des quatre saisons déterminées par le régime pluviométrique. C'est ainsi qu'au cours de l'année 1968, l'excédent total de 370 mm environ est essentiellement dû aux fortes pluies d'orage enregistrées au début de chaque saison pluvieuse : + 107 mm en mars et + 146 mm en septembre.

En 1969, année à excédent élevé (+ 493 mm), la répartition s'est effectuée de la façon suivante : + 220 mm pour fin février et mars, + 84 mm en août et + 140 mm en septembre-octobre.

En 1970, l'excédent plus faible de 275 mm est essentiellement dû aux fortes pluies d'août à octobre (+ 264 mm, dont 137 mm de plus pour le seul mois d'octobre). En conclusion, on peut constater que les excédents peuvent avoir des causes variables, le plus souvent imputables à la précocité ou à la prolongation anormale des saisons pluvieuses. En particulier, la dénomination de « petite saison sèche » donnée souvent à la période estivale n'est pas toujours justifiée. Une remarque identique a d'ailleurs pu être faite en moyenne et basse Côte d'Ivoire où le régime des pluies offre une forme identique (ADJANOHOON, 1963 ; BOYER, 1965).

Répartition des précipitations sous couvert

Les eaux météoriques qui tombent sur un couvert végétal forestier atteignent le sol par des voies et sous des formes diverses (SCHNOCK et GALOUX, 1967).

Sous le couvert continu que constitue en général une cacaoyère, les eaux de précipitation n'atteignent pas directement le sol étant donné l'importance des biomasses. L'eau arrive au niveau du sol par diverses voies dont la plus importante est constituée par l'égouttement au niveau du feuillage et des branches. Les feuilles notamment, qui constituent des surfaces lisses importantes, ont en outre une position inclinée qui favorise l'égouttement des eaux. Ce phénomène se produit également au niveau des rameaux, mais la conformation de la charpente est telle que l'on n'observe pas de ruissellement le long des troncs jusqu'au pied des arbres. La fraction qui n'arrive pas au sol est retenue par les couronnes et constitue l'eau d'interception. Bien qu'une certaine quantité de ces eaux puisse être absorbée directement au niveau des organes aériens (RINGØET, 1952), la majorité est évaporée dans l'atmosphère au niveau des surfaces foliaires.

Mais avant d'imbiber le sol, une partie des eaux d'égouttement est encore retenue par les litières et la végétation herbacée si elle existe.

Le bilan saisonnier de l'égouttement sous couvert de cacaoyers a été réalisé au cours de deux années, soit de novembre 1968 à octobre 1970 inclus.

Deux aires de recueil des eaux ont été délimitées sous cacaoyers subissant ou non l'influence d'un ombrage naturel. Chacune est constituée par un parc grillagé de 100 m² environ, où sont répartis quatre-vingt-deux récipients collecteurs constitués par des seaux en matière plastique ayant une surface réceptrice de 330 cm² environ.

Une étude statistique préliminaire a en effet montré que la précision des mesures était voisine de 10 % par rapport aux moyennes hebdomadaires des quantités d'eau récoltées. Ces eaux servent également à constituer les échantillons dont on effectue l'analyse minérale (étude du pluviolessivage).

Dix pluviomètres de référence à lecture directe sont installés au sommet de la tour située en station non ombragée. De cette façon, on connaît la pluviométrie réelle hebdomadaire (P) avec une précision encore supérieure à celle de l'égouttement.

Etude statistique de l'égouttement sous cacaoyers

L'étude statistique de l'égouttement sous cacaoyers montre que pour une pluviosité inférieure à 10 mm les données présentent une grande variabilité. Comme la plupart des quantités d'eau récoltées se situent au-delà de cette valeur, nous ne prendrons en considération que celles-ci.

Cacaoyère non ombragée

Si l'on place en abscisse les quantités d'eau tombées en station découverte (P), et en ordonnées les quantités d'eau recueillies au niveau du sol (P_e), on constate que les points sont pratiquement alignés (fig. 10). La pente de la droite des moindres carrés est égale à : $b = 0,927 \pm 0,011$ au seuil 5 % et l'égouttement : $P_e = 0,927 P - 0,789$ (l'ordonnée à l'origine : - 0,789 est significativement différente de 0 au seuil 5 %).

Le taux d'égouttement peut donc se traduire par la relation :

$$Tx_1 = 0,927 - \frac{0,789}{P}.$$

Il croît avec la pluviosité et, théoriquement, est asymptotique à 0,927 (en fait, l'intervalle de confiance de l'asymptote est compris entre 0,916 et 0,938).

Cacaoyère ombragée

Les mêmes calculs nous conduisent aux résultats suivants :

$$b = 0,902 \pm 0,010 \text{ au seuil } 5 \%$$

$$P_e = 0,902 P - 0,574.$$

Taux d'égouttement :

$$Tx_0 = 0,902 - \frac{0,574}{P}.$$

(L'ordonnée à l'origine est significativement différente de 0 au seuil 10 %.)

Le taux d'égouttement croît également avec la pluviosité, mais plus lentement que dans le premier cas. Théoriquement, il est asymptotique à 0,902 (en fait, l'intervalle de confiance de l'asymptote est compris entre 0,892 et 0,912).

Comparaison des taux d'égouttement en fonction des conditions stationnelles

Les pentes des deux droites (0,927 et 0,902) sont très significativement différentes ($t = 3,33$).

Les ordonnées à l'origine ($-0,789$ et $-0,574$) ne sont pas significativement différentes.

La différence entre les taux d'égouttement peut s'écrire :

$$Tx_1 - Tx_0 = 0,025 - \frac{0,215}{P}$$

— le premier terme : 0,025 est significatif, puisqu'il s'agit de la différence entre les pentes des deux droites ;

— le deuxième terme : $-0,215$ ne l'est pas, puisque les deux ordonnées à l'origine ne sont pas significativement différentes.

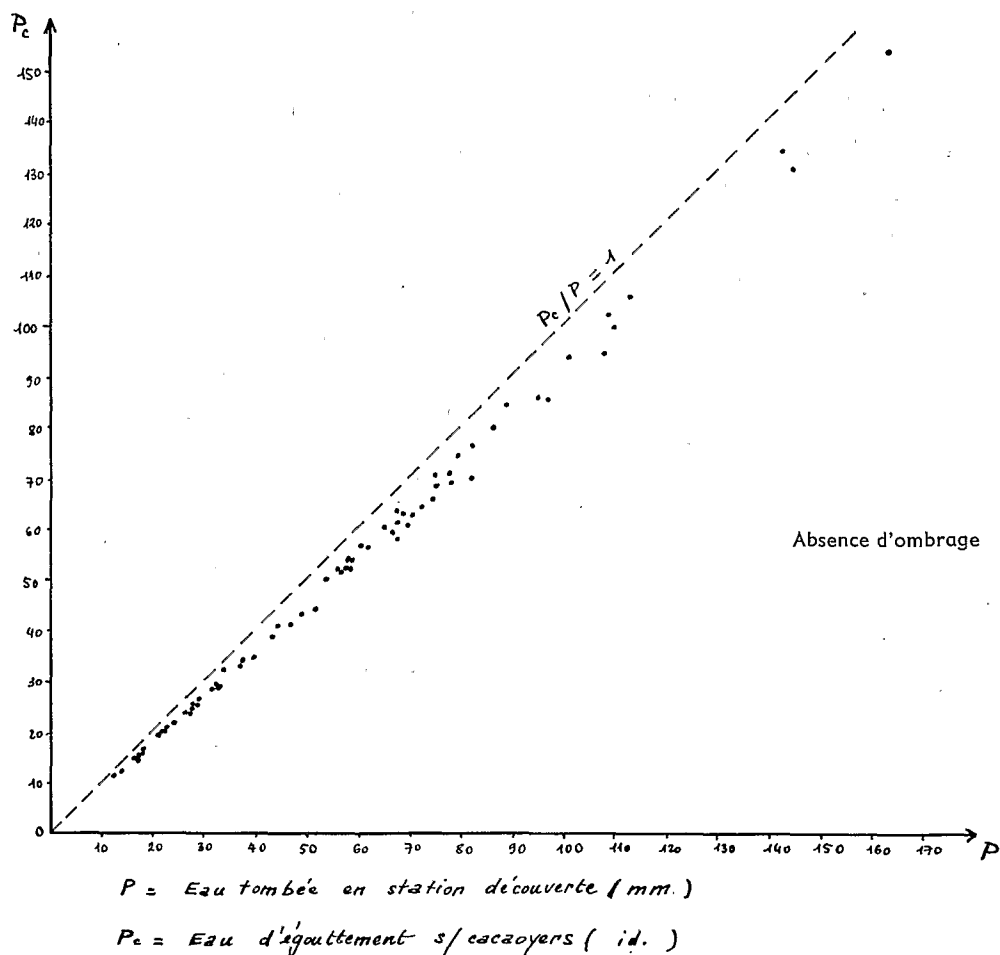
La différence entre les pentes (0,025) représente donc la différence entre les taux d'égouttement.

Au seuil 5 %, l'intervalle de confiance de cette différence est : $0,025 \pm 0,015$, soit : 0,010 à 0,040 ou encore : 1 à 4 %.

Pour une pluviosité inférieure à 10 mm, il n'existe pas de relation nette. Les études de SCHNOCK et GALOUX (1967) et aussi celles de SLAVIK (1965) ont montré en effet que l'égouttement ne se produit en général que pour des pluies supérieures à 0,4 mm. En zone tropicale humide ou subéquatoriale, les quantités d'eau recueillies inférieures à 1 mm sont le plus souvent dues à des dépôts de brouillard et de rosée dont les effets s'ajoutent à ceux de la pluviosité.

En conclusion, on peut donc admettre que dans des climats chauds et humides, l'égouttement sous cacaoyers est voisin de 90 ± 4 %.

Fig. 10. — Rapport entre les valeurs hebdomadaires des précipitations en station découverte (P) et sous couvert de cacaoyers (P_c) non ombragés, au cours d'une année



Etude de l'interception par les litières

L'étude de l'interception par les litières, qui peuvent être très abondantes au cours des périodes de fortes chutes foliaires (décembre à mars), montre l'importance que peut avoir ce phénomène si les chutes d'eau sont inférieures à 10 mm.

Pour simplifier le problème, nous avons envisagé le cas où la litière a une épaisseur maximum, période au cours de laquelle se produisent en général les chutes d'eau les plus faibles. Par conséquent, tous les cas possibles d'humidité de cette masse végétale peuvent exister. C'est pourquoi nous n'exposerons que les deux cas extrêmes qui sont les plus aisément identifiables (fig. 11) :

— si la litière est sèche dans son ensemble, la rétention est totale si la pluie n'atteint pas 1,5 mm ; ce n'est qu'au-dessus de 2,5 mm qu'elle s'abaisse au-dessous de 50 %, et jusqu'à 10 mm, elle peut encore dépasser 10 % ;

— après les premières pluies abondantes, si elle est très humide dans toute sa masse, les retenues d'eau sont insignifiantes et s'abaissent au-dessous de 10 % dès que les pluies atteignent 3 mm. Ces observations sont valables pour la période dite « petite saison des pluies », qui suit la saison sèche hivernale. Ces taux sont certainement encore inférieurs pendant la seconde saison des pluies (période automnale), époque où l'importance des litières est beaucoup moins grande qu'en hiver et au printemps et où l'humidité est très forte.

Humidité atmosphérique et évaporation

L'humidité relative de l'air exprime le rapport qui existe entre la tension de vapeur existante et celle de la vapeur saturante à la température considérée. Les graphiques de la figure 12 montrent des valeurs saisonnières presque constamment élevées qui caractérisent ce type de climat subéquatorial. Leur dépendance étroite avec les données thermiques apparaît nettement si l'on établit des moyennes séparées pour les matinées et les après-midi. Dans le milieu confiné que constitue une cacaoyère, les moyennes matinales varient très peu au cours d'une année et sont presque toujours voisines de 90 %. Par conséquent, les gradients verticaux sont inexistantes et l'influence de l'ombrage naturel insignifiant. Ce n'est qu'à la mi-journée et au cours de l'après-midi que les différences apparaissent, en parallélisme avec l'élévation des températures atmosphériques. Malgré tout, les moyennes mensuelles restent élevées pendant la plus grande partie de l'année, sauf en période hivernale sèche (janvier-février) où ces valeurs accusent une chute très nette. LETOUZEY (1968) a fait la même observation pour la région de Yaoundé, avec une valeur moyenne annuelle de 80 %, les moyennes journalières extrêmes se situant aux environs de 99 et 59 %. Il s'agit donc là d'un microclimat à forte humidité atmosphérique qui favorise le développement des cryptogames parasites (MULLER, 1968).

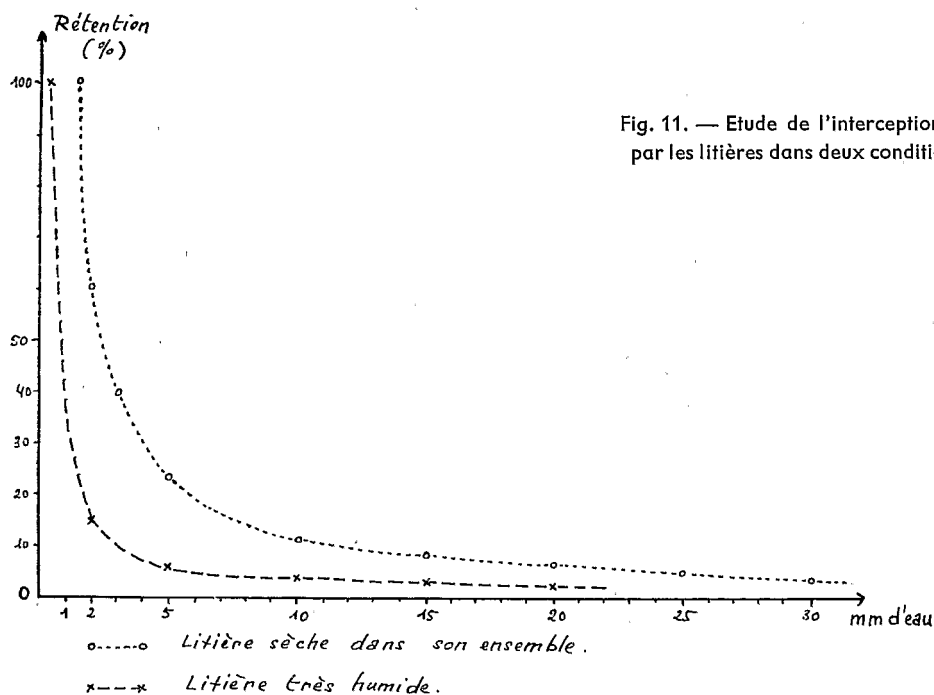
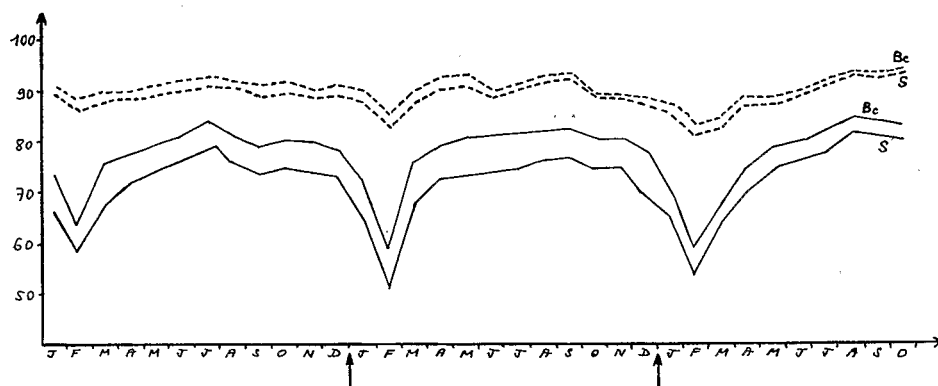
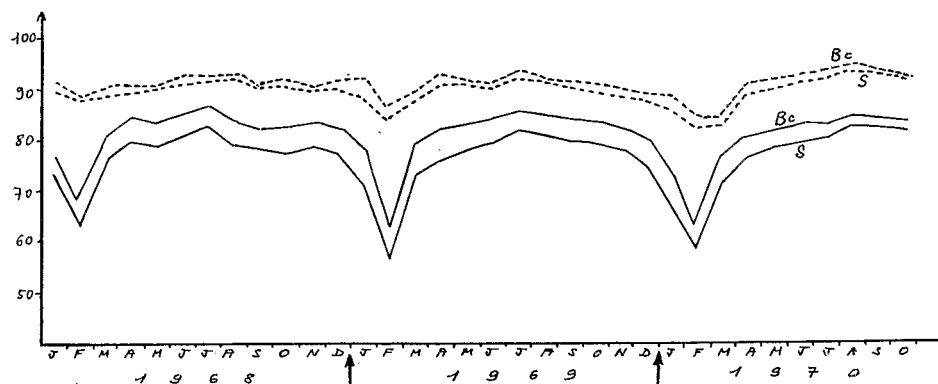


Fig. 11. — Etude de l'interception des eaux d'égouttement par les litières dans deux conditions saisonnières extrêmes



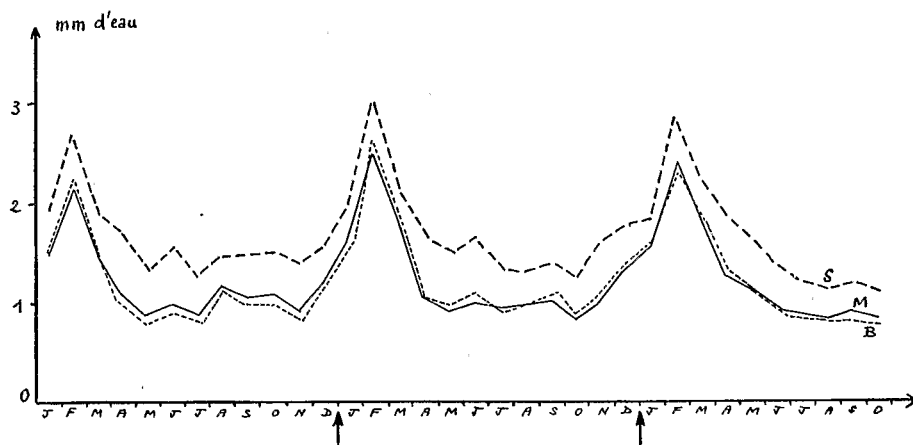
Absence d'ombrage



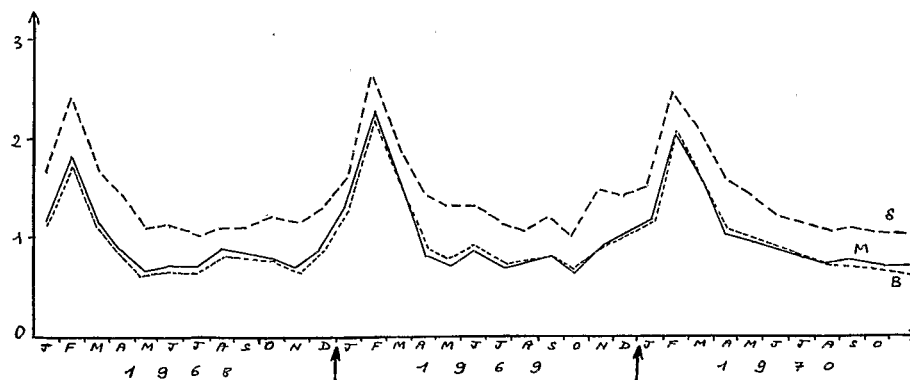
Ombrage moyen

S = Sommet des couronnes
Bc = Base " "
--- Matinées (6h à 12h)
— Après-midi (12h à 18h)

Fig. 12. — Variations saisonnières des moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air



Absence d'ombrage



Ombrage moyen

B = Base
M = Milieu
S = Sommet
des couronnes

Fig. 13. — Valeurs du pouvoir évaporant de l'air (évaporation Piche) aux principaux niveaux du feuillage des cacaoyers

Le pouvoir évaporant de l'air (ou évaporation Piche) montre une évolution saisonnière très parallèle à celle de l'humidité atmosphérique (fig. 13). Cette donnée, exprimée en mm d'eau évaporés par jour, montre les mêmes variations saisonnières et stationnelles. Les gradients verticaux ne se font sentir que dans la partie supérieure la plus exposée des couronnes. Ils deviennent très atténués quand on pénètre dans la biomasse de la cacaoyère.

Une fois de plus, ces observations confirment celles effectuées par LEMÉE (1956) en Côte d'Ivoire, selon lesquelles les principales composantes du microclimat d'une cacaoyère varient peu d'un point à un autre.

Variations saisonnières des profils d'humidité du sol

La cacaoyère en observation est installée sur un sol de type ferrallitique rouge, argilo-sableux, à forte proportion d'argile et limon (60 à 80 % jusqu'à 1 m de profondeur). Les caractères pédologiques de ces sols à vocation cacaoyère ont été décrits par VALLERIE (1966) et également par LETOUZEY (1968). Etant donné leur richesse en

argile-limon, leur rétention en eau est assez forte. La capacité au champ (C. R.) varie entre 30 et 35 % d'eau par rapport au poids de terre sèche, le point de fanaison permanente (% F) est de 15 à 20 %. Ce sol possède donc une teneur maximum en eau utilisable par la plante d'environ 15 %. Etant donné l'homogénéité des profils où se localisent la majorité des racines des cacaoyers, cette valeur est très uniforme, comme le montre la figure 14. L'humidité du sol peut être convertie en mm, grâce à une relation utilisée par HALLAIRE (1956) et qui fait intervenir la densité apparente du sol en place. Celle-ci varie entre 1,35 et 1,55 selon la profondeur des couches qui constituent le profil étudié. Les quantités maxima d'eau disponible sont donc, en valeur moyenne, de 215 mm sur tout le profil (0 à 1 m de profondeur), soit 137 mm pour les horizons superficiels (0-60 cm) où se localisent la majorité des racines absorbantes, et 78 mm en profondeur (60 à 100 cm).

Les résultats des sondages périodiques, effectués depuis novembre 1967, figurent sur les graphiques de la figure 15. Ils sont rapportés en déficit ou excès d'eau par rapport à la teneur maximum utilisable. Ils représentent les moyennes de trois séries de prélèvements seulement, étant donné les faibles variations observées d'un point à un autre de la cacaoyère. Ces valeurs ne dépassent qu'exceptionnellement 40 %, seuil au-delà duquel nous avons établi qu'il y a arrêt des émissions foliaires (BOYER, 1970).

Le plus souvent, les déficits en eau du sol restent faibles, sauf au cours de la période de sécheresse hivernale (janvier-février). La « petite saison sèche » estivale est généralement peu marquée, souvent même inexistante, comme nous l'avons déjà signalé précédemment. Les excédents existent surtout en automne (grande saison des pluies), mais sont peu accentués ou de courte durée. Sur la figure 14, on a porté les valeurs de l'humidité du sol au cours d'une saison sèche hivernale afin de pouvoir évaluer les diverses étapes de l'assèchement et de la réhumectation du sol. On peut voir que la sécheresse édaphique la plus poussée, si elle provoque l'arrêt de toute activité végétative, est en général d'une durée limitée, et ne met pas en danger la vie des cacaoyers, car il existe encore à ces époques une masse d'eau disponible voisine de 50 % (fig. 14, courbe n° 4). Dès la reprise des pluies, le profil se recharge rapidement au voisinage de la capacité de rétention maximum. Le facteur humidité du sol ne devient donc limitant pour l'activité des cacaoyers qu'au cours de courtes périodes. Ceci est dû avant tout à la texture du sol qui lui donne ses qualités physiques. En Côte d'Ivoire en effet, nous avons observé dans certaines aires de culture du *Coffea canephora* (LEMÉE et BOYER, 1960 ; BOYER, 1965), qui coïncident avec

Fig. 14. — Profils d'humidité du sol sous cacaoyère au cours d'une saison sèche

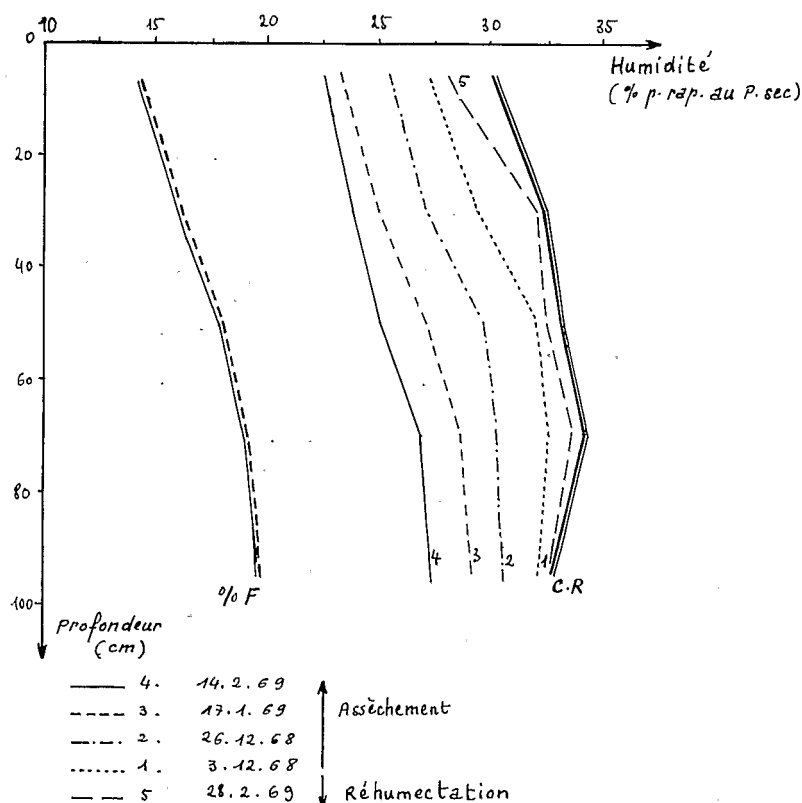
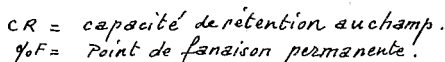


Fig. 15. — Variations saisonnières des déficits ou excès d'eau utilisable du sol dans les principaux horizons de la rhizosphère des cacaoyers



celles du cacaoyer, un épuisement total des réserves d'eau disponible dans les horizons de surface, avec une pluviosité sensiblement identique et même parfois supérieure.

Bilan saisonnier et valeurs de l'évapotranspiration

L'établissement d'un bilan hydrique saisonnier suppose la connaissance des gains et des pertes en eau dans l'aire culturale constituée par la cacaoyère. Le bilan des pertes est connu grâce aux données d'**évapotranspiration** qui représentent à la fois l'eau perdue sous forme de vapeur par évaporation du sol et transpiration de la végétation qui le couvre. Elles peuvent être obtenues avec la relation :

$$P = R + D + E + H \text{ (mm)}$$

où P est la pluviosité,

R l'eau de ruissellement,

D l'eau de drainage,

E l'évapotranspiration,

H les gains ou les pertes en eau du sol enregistrés pendant un laps de temps donné.

Sous cacaoyère, le ruissellement R et le drainage D sont négligeables en période non excédentaire, d'où

$$E = P - H.$$

H peut être calculé par différence entre les teneurs totales en eau (ramenées en mm) dans les profils entre deux périodes déterminées.

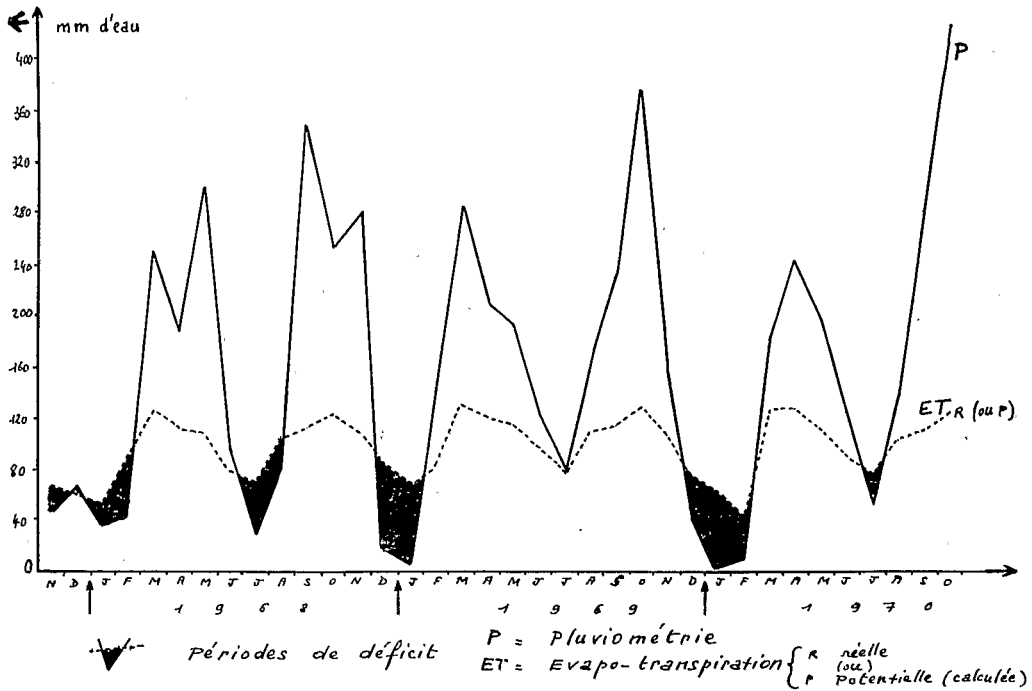
L'évapotranspiration réelle (ETP) peut donc être connue par simple calcul. Pendant les saisons pluvieuses, on évalue **l'évapotranspiration potentielle (ETP)**, valeur maximum des quantités moyennes d'eau perdue sous forme de vapeur, dans les mêmes conditions climatiques, quand elle est en abondance dans le sol. Il existe de nombreuses formules de calcul, dont la plupart utilisent des relations climatiques complexes, impossibles à appliquer du fait que tous leurs paramètres ne sont pas établis (celle de PENMAN, par exemple). En outre, elles ne sont pas toujours valables pour tous les types de climat. Dans des études faites à Madagascar, RQUIER (1958-59) a établi que l'ETP obtenue par la méthode de THORNTHWAITHE est trop forte en saison pluvieuse, trop faible en saison sèche. Nous avons donc utilisé la relation simplifiée de HOLDRIDGE (1959), proposée par ALVIM (1965) et qui donne, d'après ce dernier auteur, de bons résultats en zone de culture cacao-vèrre :

$$\text{ETP (mensuelle)} = T \times 4,91 \text{ (mm)},$$

où T est la température moyenne mensuelle en °C.

Si l'on utilise cette formule pour calculer l'ETP annuelle, on trouve les valeurs suivantes (moyennes

Fig. 16. — Bilan hydrique saisonnier d'une cacaoyère de la région de Yaoundé : comparaison entre les apports (P) et les pertes en eau par évapotranspiration (ET)



des trois années observées) : 1.300 et 1.380 mm pour les surfaces plantées soumises ou non à l'action d'un ombrage modéré.

Les résultats obtenus au cours de nos trois années d'observations sont reportés sur la figure 16. Ils montrent, en accord avec ceux de la figure 15, que les risques de pénurie d'eau n'existent qu'au cours de périodes relativement courtes, essentiellement pendant la saison sèche hivernale. Le bilan de la période estivale dite « petite saison sèche » n'est pas toujours déficitaire et les risques de pénurie par manque d'eau sont minimes. Pendant la plus grande partie de l'année, les apports en eau sont largement excédentaires, en regard des pertes qui peuvent se produire par évapotranspiration. Les deux méthodes de calcul employées sont donc satisfaisantes si l'on compare les chiffres que l'on peut obtenir à l'aide de ces méthodes. Les différences observées étant faibles entre aires cacaoyères soumises ou non aux effets d'un ombrage naturel, nous obtenons donc en moyenne les chiffres suivants :

- 1.110 mm pour l'année 1967-68,
- 1.215 mm pour l'année 1968-69,
- 1.145 mm pour l'année 1969-70.

Ces valeurs sont assez proches de l'ETP calculée par la formule de **HOLDRIDGE**, ce qui montre que le sol est généralement bien pourvu en eau.

Si on les compare maintenant aux chiffres cal-

culés à l'aide de la formule de TURC (1951), qui tient compte à la fois de la température moyenne et de la pluviosité, on obtient :

- 1.085 et 1.135 mm en 1967-68 pour les surfaces subissant ou non l'influence d'un ombrage naturel modéré ;
- 1.210 et 1.265 mm en 1968-69 ;
- 1.150 et 1.210 mm en 1969-70.

Il y a donc coïncidence presque parfaite entre ces deux méthodes de calcul.

En conclusion, les valeurs élevées de l'ETR, très proches des valeurs potentielles pendant la plus grande partie de l'année, montrent que le facteur hydrique ne devient limitant pour l'activité des cacaoyers qu'au cours de périodes relativement courtes. Les différences de comportement que l'on peut observer entre cacaoyers soumis à des conditions stationnelles différentes ne peuvent donc être imputées au facteur humidité du sol.

Importance des régimes hydrique et thermique, facteurs essentiels du microclimat de la cacaoyère

Des études antérieures ont déjà mis en relief l'importance des régimes hydrique et thermique

qui influencent fortement le comportement des cacaoyers (ALVIM, 1965 ; BOYER, 1970).

Dans les zones culturelles où la pluviosité ne devient qu'exceptionnellement un facteur limitant, comme c'est le cas pour la région de Yaoundé, le régime radiatif tend donc à avoir une influence déterminante. Comme il n'est pas encore possible de chiffrer le bilan énergétique annuel du rayonnement dans cette zone culturelle, on peut néanmoins tenter d'établir des rapports avec la température atmosphérique, donnée généralement beaucoup mieux connue, et dont les valeurs saisonnières influencent indirectement les divers stades du développement des cacaoyers.

L'examen des données saisonnières recueillies semble montrer que, dans la zone étudiée, il existe un certain rapport entre les valeurs des températures moyennes et la pluviosité. Nous avons donc examiné s'il existe un parallélisme entre chaque série de mesures concomitantes ; en d'autres termes, si des correspondances quantitatives peuvent exister entre les deux phénomènes tout au long d'une année. Dans ce but, nous avons calculé les coefficients de corrélations entre les séries de résultats qui se correspondent par paire. CACHAN leur donne le nom de « **coïncidence pluviothermique** », que l'on schématise par la lettre *r*.

En prenant les couples de données par mois (moyenne de la température diurne et pluviosité mensuelles), les coefficients de corrélation linéaire sont les suivants :

— en l'absence d'ombrage :

$$r = 0,38 \text{ (22 degrés de liberté),}$$

— sous ombrage modéré :

$$r = 0,35 \text{ (22 degrés de liberté).}$$

Ils ne sont pas significatifs, mais n'en sont pas loin.

Si l'on prend les couples de données recueillies par quinzaines :

— en l'absence d'ombrage :

$$r = 0,339 \text{ (46 degrés de liberté),}$$

— sous ombrage modéré :

$$r = 0,295 \text{ (46 degrés de liberté).}$$

Ils sont juste significatifs (r à 0,05 = 0,2875).

Une faible coïncidence pluviothermique apparaît donc pour l'ensemble des résultats. Cette analyse montre toutefois qu'il existe à certaines époques de l'année une liaison certaine entre le couple température-pluviosité et l'apparition des poussées foliaires, comme nous l'avons déjà signalé précédemment. Les deux périodes de l'année au cours desquelles cette activité est minimale sont respectivement :

— fin janvier à fin février, où les déficits hydriques du sol sont en général les plus marqués ;

— juillet-août, où sont enregistrées les plus basses moyennes de température.

L'humidité du sol et la température constituent donc, séparément ou conjointement, deux facteurs très importants qui limitent l'activité végétative des cacaoyers.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Une cacaoyère constituant un milieu forestier d'un type particulier, nos études ont eu pour but de souligner l'importance que revêt la connaissance des conditions d'habitat qui y règnent habituellement. Comme cette plante a une origine forestière, on peut supposer *a priori* que les conditions qui conviennent le mieux à sa culture sont celles qui se rapprochent le plus du climat et de l'environnement des peuplements naturels. En réalité, les cacaoyers présentent de nombreux types génétiques qui peuvent s'adapter à des conditions très diverses. Parmi les facteurs qui influencent le plus nettement leur comportement en général, le régime saisonnier des précipitations et de l'intensité du rayonnement solaire occupe une place de premier plan. Dans la zone de Yaoundé, à climat subéquatorial, les autres composantes apparaissent

secondaires, leur action se manifestant indirectement et sous leur étroite dépendance.

En général, l'éclairement se répartit assez régulièrement dans la biomasse d'une cacaoyère âgée, dont l'état végétatif et sanitaire est satisfaisant. La cime des arbres forme une voûte foliaire presque continue, où les taches de soleil sont peu importantes. L'extinction relative de la lumière est rapide et régulière au fur et à mesure que l'on se rapproche du niveau du sol. On peut alors la traduire par une relation de type exponentiel, proche de la loi de BEER, qui s'applique aux couverts homogènes. La variable introduite dépend de la nature du couvert végétal existant comme ombrage naturel. Dans le cas le plus général observé ici, où existe un ombrage léger ou modéré, l'éclairement relatif, qui varie entre 45 et 65 % au moment où il

atteint le sommet des couronnes des cacaoyers, n'est plus que de 6 à 10 % à leur base. Au niveau du sol, ces valeurs diminuent encore et sont comprises entre 3 et 5 %. L'action de certains grands arbres à feuillage dense réduit de moitié environ toutes ces valeurs et l'éclairement résiduel au niveau du sol peut s'abaisser au-dessous de 2 %. Du point de vue répartition de l'éclairement, il est donc probable qu'une cacaoyère reproduise un milieu voisin de la forêt héli-ombrophile dégradée qui caractérise la zone de Yaoundé. S'il n'est pas possible de définir une valeur relative à peu près uniforme de l'extinction sur des plans horizontaux, c'est que l'on se trouve en présence de groupes de cacaoyers situés en taches de lumière, avec de nombreux manquants. Dans ce cas, les arbres âgés ont souvent un aspect dégradé, végétativement déséquilibré, avec des couronnes chétives qui couvrent mal le sol. Les taches de soleil peuvent être nombreuses et importantes, et l'éclairement relatif moyen au niveau du sol atteint et peut même dépasser 15 % dans certains cas, valeur anormalement élevée pour un milieu forestier.

Les variations de la durée journalière d'insolation et des moyennes de température sont parallèles et obéissent à un rythme saisonnier dont les amplitudes varient peu d'une année à l'autre. L'analyse factorielle des températures atmosphériques dans la cacaoyère met en évidence des différences nettes dans leur répartition spatiale. Les moyennes annuelles diurnes, qui sont toujours comprises entre 22 et 28 °C, augmentent du niveau du sol au sommet des frondaisons, comme il est de règle dans toute formation végétale. Ces variations sont d'autant plus sensibles que l'ombrage naturel est moins dense. Les écarts moyens observés entre la base des arbres et la limite supérieure des couronnes atteignent 3,2° sous ombrage modéré, 3,7° sous ombrage léger et 4,4° si l'ombrage a disparu totalement. Ils sont encore plus accentués si l'on se rapporte aux moyennes des maxima.

L'importance écologique des variations de la température atmosphérique d'un point à l'autre de la cacaoyère peut également se manifester par le jeu du transfert de chaleur qui s'effectue au niveau des tissus foliaires. Le plus souvent, leur température est voisine de celle de l'air ou légèrement supérieure au cours des heures chaudes de la journée (+ 0,5 à 2 °C), pour la majorité de ces tissus qui subissent les effets de l'ombrage. Mais leur exposition aux radiations solaires élève anormalement leur température interne (+ 3 à 4 °C), surtout en période de pénurie d'eau du sol, ce qui provoque une chute du taux de transpiration. Ceci montre donc que les feuilles des cacaoyers ont besoin d'auto-ombrage, ou d'ombrage léger si le couvert qu'ils forment n'est pas suffisamment dense.

Du point de vue thermique, une cacaoyère en

bon état végétatif et sanitaire se présente donc comme une formation végétale soumise à des microclimats rappelant ceux de la forêt secondaire dégradée, et que LEMÉE (1959) qualifie de « sub-forestier ».

En règle générale, l'écosystème que constitue une cacaoyère est un milieu fermé et assez confiné où l'humidité atmosphérique reste élevée. Au cours de la matinée, les valeurs moyennes sont presque toujours voisines de 90 % en tous les points de sa biomasse. Néanmoins, des écarts verticaux se font sentir au cours de l'après-midi, surtout chez les arbres en situation découverte. La diminution n'est d'ailleurs sensible que dans la partie supérieure des couronnes. Pendant la plus grande partie de l'année, les valeurs moyennes de l'après-midi sont presque toujours comprises entre 70 et 80 % en situation découverte, avec une augmentation d'environ 5 % sous ombrage modéré. Ce n'est qu'au cours de la période sèche hivernale que l'humidité relative de l'air s'abaisse nettement entre 50 et 60 % l'après-midi. Les valeurs du pouvoir évaporant de l'air ont une évolution très parallèle à celle de l'humidité atmosphérique. Ces deux composantes atmosphériques montrent donc que l'on est en présence d'un microclimat forestier humide, à caractère mésophylle, comme il en existe dans les zones dégradées du Sud-Cameroun et qui font transition avec la forêt dense humide de type congolais.

Le régime saisonnier des précipitations est typiquement subéquatorial, avec alternance de deux saisons pluvieuses et de deux périodes de sécheresse relative. Parmi ces dernières, seule la saison hivernale mérite ce qualificatif. Au cours d'une période qui excède rarement un mois, les déficits en eau du sol, auxquels s'ajoutent les effets de la sécheresse atmosphérique, atteignent des valeurs voisines de 50 % de la teneur utilisable, suffisantes pour freiner la transpiration et arrêter momentanément l'activité de croissance foliaire. Pendant la plus grande partie de l'année, la valeur de ces déficits descend rarement au-dessous de 20 % dans les horizons où se localisent la majorité des racines. La dépression pluviométrique estivale, parfois appelée « petite saison sèche », ne peut être en général considérée comme telle. L'humidité du sol n'atteint que rarement des déficits critiques pour la transpiration, et celle de l'atmosphère est la plus élevée de l'année. Les risques d'excès d'eau existent parfois au cours des saisons pluvieuses, mais pendant un temps assez court, et leur faible valeur ne peut nuire à l'activité racinaire des cacaoyers.

L'étude de la répartition des précipitations sous le couvert des cacaoyers montre que 10 % en moyenne de ces eaux sont retenues au niveau des strates végétales. Ce taux d'égouttement subit des variations dont l'amplitude moyenne ne

dépasse jamais 5 %, si la pluviosité hebdomadaire n'est pas inférieure à 10 mm. Au-delà de ce seuil, le taux d'égouttement croît avec la quantité d'eau tombée. Au-dessous, la variabilité des résultats ne peut être interprétée statistiquement. L'ombrage naturel léger ou modéré diminue ce taux de 1 à 4 %. Au niveau du sol, il peut également se produire une interception par les litières et la strate herbacée, si elle existe. Mais elle n'est perceptible qu'au moment de la reprise des pluies hivernales, dont les quantités sont généralement faibles et qui entrent en contact avec une litière abondante et sèche. Dans ce cas, la rétention peut être totale si la pluie n'atteint pas au moins 1,5 mm. En période humide, cas le plus général, elle n'excède pas 0,5 mm. Si cette eau de rétention peut, d'un point de vue quantitatif, être considérée comme négligeable, son action sur la vitesse de décomposition des litières est primordiale.

La région de Yaoundé se caractérise par une zone forestière dégradée qui fait transition avec la forêt dense de type congolais. Les plantations de

cacaoyers, très répandues depuis une trentaine d'années, constituent des flots dont la physionomie se différencie assez peu du reste de la végétation. Il se forme ce que LETOUZEY (1968) nomme un « paysage domestiqué », où s'entremêlent les grands arbres, les cultures, et le recru forestier des jachères postculturales. Dans ce milieu complexe, difficile à définir, la cacaoyère peut être assimilée à un écosystème subforestier de type humide, qui se rapproche de certaines forêts secondaires semi-décidues (ou héli-ombrophiles pour certains auteurs). Si, du point de vue humidité, ce milieu est assez fermé et reste souvent confiné, les composantes radiative et thermique sont plus sujettes à variation. Il est probable que ces derniers facteurs jouent un rôle déterminant dans les différences de comportement observées entre groupes d'arbres soumis à des conditions stationnelles variables. C'est là un des aspects du problème de l'ombrage.

L'interprétation statistique des données et observations recueillies a été réalisée par le Service de biométrie du Centre de recherches de l'IFCC au Cameroun (R. LORODÉ).

BIBLIOGRAPHIE

- ADJANOHOON (E.), 1963. — Végétation des savanes et des rochers découverts en Côte d'Ivoire centrale. Thèse Doct. Univ. Paris, 258 p.
- ALVIM (P. de T.), 1965. — Eco-physiology of the cacao tree. 1^{re} Conf. Intern. Rech. Agron. Cacaoyères, Abidjan, p. 23-35.
- BOYER (J.), 1970. — Influence des régimes hydrique, radiatif et thermique du climat sur l'activité végétative et la floraison de cacaoyers cultivés au Cameroun. *Café Cacao Thé*, XIV, 3, p. 189-201.
- BRAUDEAU (J.), 1969. — Le cacaoyer. Techn. Agr. et Prod. Trop. (Coll. dirigée par R. COSTE), XVII, éd. Maisonneuve et Larose (Paris), 304 p.
- BURLE (L.), 1961. — Le cacaoyer. Ed. Maisonneuve et Larose (Paris), 1, 316 p.
- CACHAN (P.), 1963. — Signification écologique des variations microclimatiques verticales dans la forêt sempervirente de Basse Côte d'Ivoire. *An. Fac. Sci. Univ. Dakar*, 8, p. 89-155.
- CHARTIER (P.), 1966. — Etude du microclimat lumineux dans la végétation. *An. Agr.*, 17, 5, p. 571-602.
- GUERS (J.), 1971. — Influence de l'éclairement sur la morphologie et la physiologie des feuilles de cacaoyers. *Café Cacao Thé*, XV, 3, p. 191-201.
- HALLAIRE (M.), 1956. — L'état de l'eau dans le sol et l'alimentation en eau des végétaux. *Bull. Soc. Pse. Physiol. Vég.*, 2, 1, p. 1-17.
- HOLDRIDGE (L. R.), 1959. — Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data. *Science*, 130, p. 572.
- JACQUES-FELIX (H.), 1954. — Contribution à l'étude du caféier en Côte d'Ivoire. Publ. STAT, Bull. Sc. n° 5, 495 p.
- LANGE (O. L.), 1965. — Leaf temperatures and methods of measurement. Method of plant ecophysiol. Coll. UNESCO (Montpellier), p. 203-9.
- LEMÉE (G.), 1956. — Recherches écophysiologiques sur le cacaoyer. *Rev. Gén. Bot.*, 63, p. 41-94.
- LEMÉE (G.), 1959. — Effets des caractères du sol sur la localisation de la végétation en zones équatoriale et tropicale humide. Coll. UNESCO/CCTA, Abidjan, 21 p.
- LEMÉE (G.), BOYER (J.), 1960. — Influence de l'humidité du sol sur l'économie d'eau et la croissance de caféiers du groupe *Canephora* cultivés en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé*, IV, 2, p. 55-63.
- LETOUZEY (R.), 1968. — Etude phytogéographique du Cameroun. Paul Lechevalier Ed. (Paris), 511 p.
- MURRAY (D. B.), 1955. — Climatic requirements of cacao with particular reference to shade. Cacao Conf. (Londres), p. 17-22.
- MULLER (R. A.), 1968. — Etat des recherches sur la pourriture brune des cabosses du cacaoyer due à *Phytophthora palmivora* en République fédérale du Cameroun. Docum. int. IFCC-Cameroun.
- RINGOET (A.), 1952. — Recherches sur la transpiration et le bilan d'eau de quelques plantes tropicales. Bull. INEAC, série sc. n° 56, 139 p.
- RIQUIER (J.), 1958. — Note sur l'évapotranspiration de THORNTHWAITE et le bilan hydrique des sols. *Le Nat. Malgache* (Tananarive) X, 1-2, p. 1-18.
- RIQUIER (J.), 1959. — Note complémentaire sur le bilan hydrique des sols. *Le Nat. Malgache*, XI, 1-2, p. 1-8.
- SCHNOCK (G.), GALOUX (A.), 1967. — Recherches sur l'écosystème forêt ; réception des précipitations et égouttement. *Bull. Inst. Rech. Sc. Belg.*, 43, 33, p. 1-30.
- SLAVIK (B.), 1965. — Rain interception in deciduous forest. Method of plant ecophysiol. Coll. UNESCO (Montpellier), p. 193-9.
- TURC (L.), 1951. — Nouvelle formule pour le calcul du bilan de l'eau en fonction des valeurs annuelles moyennes des précipitations et de la température. *C. R. Acad. Sc. (Paris)*, 233, p. 633.

TURLOT (M.), 1965. — Etude de la corrélation entre les données solarigraphiques et le gradient vertical de la température de l'air sous couvert. Dipl. Et. Sup. Fac. Sc. Paris, 45 p.

VALLERIE (M.), 1966. — Vocation cacaoyère des sols. Publ. Centre ORSTOM du Cameroun, P. 149, 36 p.

BOYER (J.). — Etude des principales composantes du microclimat d'une cacaoyère au Cameroun. Importance écologiques des variations spatiales et saisonnières. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XV, n° 4, oct.-déc. 1971, p. 275-300, fig., tabl., réf.

BOYER (J.). — Study of the main microclimate components of a cacao plantation in the Cameroon. Ecological importance of spatial and seasonal variations. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XV, n° 4, oct.-déc. 1971, p. 275-300, fig., tabl., réf.

Une cacaoyère constituant un milieu forestier d'un type particulier, les études effectuées par l'auteur au Cameroun ont eu pour but de souligner l'importance que revêt la connaissance des conditions d'habitat qui y règnent habituellement. Parmi les facteurs qui influencent le plus nettement le comportement des cacaoyers, le régime saisonnier des précipitations et de l'intensité du rayonnement solaire occupe une place de premier plan. Dans la zone de Yaoundé, les autres composantes apparaissent secondaires.

En général, l'éclairement se répartit assez régulièrement dans une cacaoyère âgée, dont l'état végétatif et sanitaire est satisfaisant. Dans le cas d'un ombrage léger ou modéré, l'éclairement relatif, qui varie entre 45 et 65 % au sommet des couronnes des cacaoyers, n'est plus que de 6 à 10 % à leur base et de 3 à 5 % au niveau du sol. Il est probable qu'une cacaoyère reproduit alors un milieu voisin de la forêt hémibromophile dégradée qui caractérise la zone de Yaoundé.

Les variations de la durée journalière d'insolation et des moyennes de températures sont parallèles et obéissent à un rythme saisonnier dont les amplitudes varient peu d'une année à l'autre. L'analyse factorielle des températures atmosphériques dans la cacaoyère met en évidence des différences nettes dans leur répartition spatiale.

La température des tissus foliaires ombragés est voisine de celle de l'air ou légèrement supérieure au cours des heures chaudes de la journée. Leur exposition aux radiations solaires élève anormalement leur température interne, surtout en période de pénurie d'eau du sol. Du point de vue thermique, une cacaoyère en bon état végétatif et sanitaire est soumise à un microclimat rappelant celui de la forêt secondaire dégradée.

L'humidité atmosphérique de la cacaoyère est élevée. Au cours de la matinée, les valeurs moyennes sont presque toujours voisines de 90 % en tous les points ; et l'après-midi entre 70 et 80 % sans ombrage et entre 50 et 60 % au cours de la période sèche hivernale. Les valeurs du pouvoir évaporant de l'air ont une évolution très parallèle à celle de l'humidité atmosphérique. Ces deux composantes montrent qu'on est en présence d'un microclimat forestier humide à caractère mésophylle.

Due to the fact that a cacao-plantation constitutes a forest environment of a special type, the object of the studies carried out by the author in the Cameroon was to emphasize the importance of getting to know the conditions of habitat which usually prevail there. Among the factors which more distinctly influence the behavior of cacao-plantations, the seasonal rainfall level and the intensity of solar radiation are in the forefront. In the Yaoundé region, the other components appear to be secondary.

In general, the illuminance is distributed rather uniformly in an old cacao-plantation whose vegetative and sanitary condition is satisfactory. In the case of light or moderate shade, the relative illuminance, which varies from 45 to 65 % at the top of the cacao-plantation coronas, amounts to only 6 to 10 % at the base and to 3 to 5 % at ground level. It is probable that a cacao-plantation then reproduces an environment which is close to the degraded hemi-ombrophilic forest which characterizes the Yaoundé region.

Variations in daily solar radiation time and temperature averages are parallel and obey a seasonal rhythm whose amplitudes show little variation from one year to the next. Factorial analysis of atmospheric temperatures in the cacao-plantation shows distinct differences in their spatial distribution.

The temperature of shaded foliar tissues is close to that of the air or slightly higher during the warm hours of the day. Their exposure to solar radiation abnormally raises their internal temperature, especially during a period of ground water scarcity. From the thermal point of view, a cacao-plantation in good vegetative and sanitary conditions is subjected to a microclimate recalling that of the secondary degraded forest.

The atmospheric humidity of the cacao-plantation is high. In the morning, the average values are almost always close to 90 % at all points ; and in the afternoon, they range from 70 to 80 % without any shade and from 50 to 60 % during the dry winter period. The values of the evaporation power of the air show a pattern which is highly parallel to the one of the atmospheric humidity. These two components show that a humid forest microclimate of mesophyllic character is involved.

Le régime saisonnier des précipitations est caractérisé par l'alternance de deux saisons pluvieuses et de deux périodes de sécheresse relative. Les déficits en eau du sol atteignent des valeurs voisines de 50 % de la teneur utilisable. Pendant la plus grande partie de l'année, ils sont rarement inférieurs à 20 % dans les horizons où se localisent la majorité des racines.

L'étude de la répartition des précipitations sous le couvert des cacaoyers montre qu'en moyenne 10 % de l'eau est retenue au niveau des strates végétales. Au niveau du sol, il peut se produire une interception par les litières et la strate herbacée.

BOYER (J.). — **Untersuchung der wesentlichen Komponenten des Mikroklimas einer Kakaopflanzung in Kamerun. Oekologische Bedeutung der räumlichen und Saisonschwankungen.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XV, n° 4, oct.-déc. 1971, p. 275-300, fig., tabl., réf.

Da eine Kakaopflanzung ein Forstmilieu besonderer Art darstellt, hat sich der Autor bei seiner Untersuchung in Kamerun zum Ziel gesetzt, die Bedeutung der Kenntnis der gewöhnlich dort herrschenden Standortverhältnisse zu unterstreichen. Unter den Faktoren, die am deutlichsten das Verhalten der Kakaobäume beeinflussen, stehen die saisonbedingten Regenverhältnisse und die Stärke der Sonneneinstrahlung im Vordergrund. Die übrigen Komponenten erscheinen in der Zone von Yaoundé als nebensächlich.

Im allgemeinen ist die Belichtung in einer älteren Kakaopflanzung mit befriedigendem vegetativem und Gesundheitszustand ziemlich gleichmäßig verteilt. Bei leichter oder mässiger Beschattung beträgt die relative Belichtung zwischen 45 und 65 % an der Spitze der Kakaobaumkrone, jedoch nur 6 bis 10 % an ihrer Basis und 3 bis 5 % in Bodenhöhe. Eine Kakaopflanzung stellt dann vermutlich ein Milieu ähnlich demjenigen des halbschattenliebenden abschattierten Waldes dar, welcher für die Zone von Yaoundé charakteristisch ist.

Die Schwankungen der täglichen Sonneneinstrahlungsdauer und die Durchschnittstemperaturen sind gleichlaufend und entsprechen einem Saisonrhythmus dessen Amplituden jahres jahrein nur wenig variieren. Die faktorielle Analyse der Lufttemperatur in der Kakaopflanzung hebt die klaren Unterschiede in ihrer räumlichen Verteilung hervor.

Die Temperatur der beschatteten Blattgewebe grenzt an die Lufttemperatur oder ist leicht höher während der Tageshitze. Ihre Bestrahlung durch die Sonne erhöht ihre innere Temperatur auf anormale Weise, besonders bei Wassermangel im Boden. Vom thermischen Standpunkt aus ist eine Kakaopflanzung in gutem vegetativem und Gesund-

The seasonal rainfall pattern comprises an alternation of two rainy seasons and two periods of relative drought. The soil moisture deficits reach values which are close to 50 % of the usable content. During the greatest part of the year, they are rarely below 20 % in the horizons in which the majority of roots are located.

The study of rainfall distribution under the cover of the cacao-plantations shows that, on the average, 10 % of the water is retained at the level of the aerial part of the plant. At ground level, an interception by the beds and herbaceous stratum may occur.

BOYER (J.). — **Estudio de los principales componentes del microclima en un cacaotal en Camerún. Importancia ecológica de las variaciones espaciales y estacionales.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XV, n° 4, oct.-déc. 1971, p. 275-300, fig., tabl., réf.

Como un cacaotal constituye un medio forestal de un tipo especial, el objetivo de los estudios hechos por el autor en Camerún han sido destacar la importancia que tiene el conocimiento de las condiciones en que viven los cacaos habitualmente. Entre los factores que influyen más sobre el comportamiento de los cacaos cabe mencionar en primer lugar el régimen estacional de las precipitaciones y de la intensidad de las radiaciones del sol. En la zona de Yaoundé los demás factores parecen secundarios.

Generalmente la iluminación se distribuye de modo bastante regular en un viejo cacaotal cuyo estado vegetativo y sanitario se halla satisfactorio. Con una sombra ligera y moderada la iluminación relativa, que varía entre un 45 % y un 65 % en la cumbre de las coronas de los cacaos, sólo alcanza un 6-10 % en su base y un 3-5 % al nivel del suelo. Hay buenas razones para creer que un cacaotal reproduce entonces un medio vecino de la selva hemisombrofilo degradada que caracteriza la zona de Yaoundé.

Las variaciones de la duración cotidiana de insolación y de las medias de temperaturas son paralelas y obedecen a un ritmo estacional cuyas amplitudes varían poco de un año a otro. El análisis factorial de las temperaturas atmosféricas en el cacaotal pone de relieve marcadas diferencias en su repartición espacial.

La temperatura de los tejidos foliares sombreados está vecina de la del aire o un poco superior durante las horas cálidas del día. Siendo expuestos a las radiaciones solares se eleva de modo anormal su temperatura interna, sobre todo durante el período de escasez de agua en el suelo. Desde el punto de vista térmica, un cacaotal en buen estado vege-

heitszustand von einem Mikroklima abhängig, das an jenes des abschattierten Nebenwaldes erinnert.

Die Kakaopflanzung verzeichnet eine hohe Luftfeuchtigkeit. Am Vormittag liegen die Durchschnittswerte fast immer bei 90 % an allen Stellen und am Nachmittag zwischen 70 und 80 % ohne Schatten und zwischen 50 und 60 % während der Wintertrockenperiode. Die Werte der Verdunstungsfähigkeit der Luft machen eine Entwicklung mit, die parallel mit der Luftfeuchtigkeit verläuft. Es ergibt sich aus diesen beiden Komponenten, dass man sich in Gegenwart eines feuchten Waldmikroklimas mit Charakterisierung beim Blattgewebe befindet.

Die saisonbedingten Regenverhältnisse werden durch die Wechselfolge von zwei Regenperioden und zwei Perioden relativer Trockenheit gekennzeichnet. Der Wassermangel im Boden erreicht Werte von fast 50 % des verwendbaren Gehalts. Während des grössten Teils des Jahres liegt er selten unter 20 % in den Horizonten wo sich die meisten Wurzeln befinden.

Die Prüfung der Regenmengeverteilung unter dem Blätterdach der Kakaobäume zeigt dass im Durchschnitt 10 % des Wassers auf der Höhe der Pflanzenschichten zurückgehalten wird. In Bodenhöhe kann es zu einer Hemmung durch die Bodenbedecker oder die Grasschicht kommen.

tativo y sanitario se halla sujeto a un microclima que recuerda el de la selva secundaria degradada.

La humedad atmosférica del cacaotal es alta. Durante la mañana, los valores medios se acercan casi siempre en todos los puntos al 90 % ; y durante la tarde alcanzan un 70-80 % sin sombra y un 50-60 % durante el período seco de invierno. Los valores de la capacidad de evaporación del aire tienen una evolución muy paralela a la de la humedad atmosférica. Ambos factores muestran que se trata de un microclima forestal húmedo con carácter mesófilo.

El régimen estacional de las precipitaciones está caracterizado por la alternancia de dos estaciones húmedas y de dos períodos de relativa sequía. Los déficit hídricos del suelo alcanzan valores próximos de un 50 % del contenido utilizable. Durante la mayor parte del año se hallan raramente inferiores al 20 % en los horizontes donde se localiza la mayor parte de las raíces.

El estudio de la distribución de las precipitaciones en el espacio cubierto por los cacaos muestra que en término medio el 10 % del agua se conserva al nivel de los estratos vegetales. Al nivel del suelo, puede producirse una interceptación por la cubierta y el estrato herbáceo.