

INFLUENCE DES RÉGIMES HYDRIQUE, RADIATIF ET THERMIQUE DU CLIMAT SUR L'ACTIVITÉ VÉGÉTATIVE ET LA FLORAISON DE CACAOYERS CULTIVÉS AU CAMEROUN

J. BOYER

*Maître de recherches de l'O. R. S. T. O. M.
Laboratoire de physiologie de l'I. F. C. C. au Cameroun*

INTRODUCTION

La littérature qui traite de l'influence des régimes hydrique, radiatif et thermique sur l'activité végétative et la floraison des cacaoyers est assez vaste, mais les connaissances acquises sur cet important problème sont encore fragmentaires et ne permettent aucune vue synthétique. Les études de LEMÉE (1965) en Côte d'Ivoire, ALVIM (1952-67) et MURRAY (1955-67) en Amérique tropicale exposent les principaux résultats acquis dans ce domaine. Dans un récent ouvrage, BRAUDEAU (1969) passe en revue l'ensemble des travaux effectués jusqu'à maintenant ; cette anthologie constitue une intéressante mise au point et une source de références à laquelle le lecteur pourra se reporter. Cependant, il est remarquable de noter que dans les pays africains qui produisent à l'heure actuelle près des trois quarts du cacao mondial, si peu d'études éco-physiologiques suivies aient été entreprises au cours de ces dernières années. C'est pour essayer de contribuer à répondre à la question que pose BRAUDEAU dans le chapitre III de son ouvrage (1969) : « comment déterminer le milieu écologique idéal qui permettrait au cacaoyer d'exprimer toutes ses potentialités et de fournir ses meilleurs rendements », qu'une étude des facteurs écologiques de la production du cacaoyer est entreprise au Centre de recherches de l'I. F. C. C. du Cameroun (Nkolbisson) depuis 1967.

Le présent article expose une partie des résultats acquis au cours de deux années d'observations continues réalisées dans le milieu même d'une cacaoyère typique de la région de Yaoundé.

Elle constitue donc une contribution, bien qu'encore très incomplète, aux connaissances déjà acquises dans ce domaine. En outre, les conclusions rapportées ne sont valables que pour le matériel végétal représenté dans le milieu étudié, sans qu'il soit possible de généraliser à l'ensemble des cacaoyers cultivés.

Parc de récolte des eaux de pluie sous couvert



21 DEC. 1983

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

Café Cacao Thé, vol. XIV, n° 3, juillet-septembre 1970

189

N° : 4282
Cote : B

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

Collection de Référence

n° 4744

15 JUN 1971

4282
B

CHOIX DE L'EMPLACEMENT ET DISPOSITIFS D'OBSERVATION

Les points d'observation ont été groupés en un seul lieu, de façon à permettre des mesures directes simultanées aussi comparables que possible, dans les trois types d'environnement qui règnent le plus souvent en cacaoculture au Cameroun :

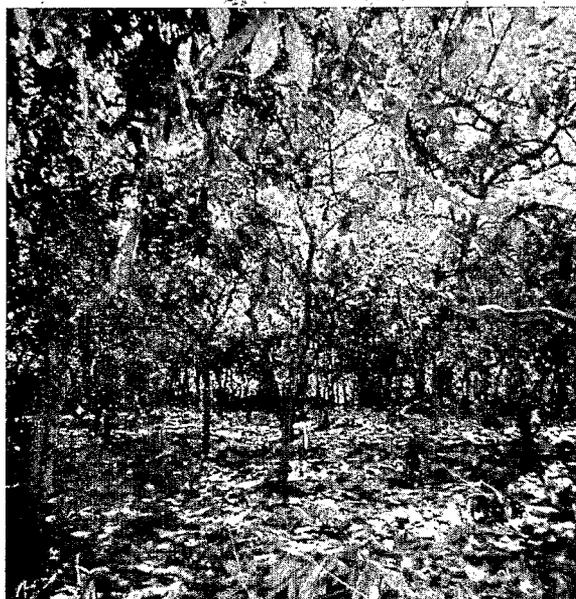
— absence d'ombrage, par suite de la disparition des essences forestières naturelles habituellement utilisées ;

— ombrage léger, laissant passer environ les deux tiers de la radiation solaire, où dominent les essences à feuilles caduques ; dans le milieu étudié, c'est le cas le plus fréquent ;

— ombrage moyen ou « modéré », laissant passer en moyenne la moitié de la radiation solaire, composé de fruitiers ou d'espèces à feuillage plus dense et permanent. Ce dernier cas tend d'ailleurs à se raréfier et ne subsiste qu'en quelques taches peu étendues.

Notre choix s'est donc porté sur une cacaoyère présentant la majorité des caractères typiques de cette zone culturale : plantation familiale de faible étendue (1,5 ha environ) située en haut de pente et sommet de plateau, établie sur défrichement forestier après quelques années de cultures vivrières. Le sol est du type ferrallitique rouge, argilo-sableux, à horizon superficiel faiblement humifère, très homogène sur toute la profondeur du profil racinaire des cacaoyers (0 à 1 m). Les arbres sont en général âgés de vingt-cinq à trente ans, et plantés irrégulièrement, avec une densité moyenne évaluée à 1.000 arbres/ha. De nombreux types y sont représentés, par suite des introductions successives de matériel étranger. Si le caractère Amelonado domine, la plantation est néanmoins composée d'une population de Trinitario, donc de

Aspèct de la cacaoyère



toute une série d'hybrides qui présentent une multitude de combinaisons. D'après BRAUDEAU (1969), cette règle semble assez générale au Cameroun.

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

— sur trois tours d'observation en bois (une par condition écologique) : au pied des cacaoyers, à la base des couronnes, dans leur moitié supérieure et 1 m environ au-dessus de la limite supérieure des frondaisons ; un appareillage standard d'enregistrement est utilisé pour établir les gradients verticaux de la température et de l'humidité atmosphérique ; des contrôles fréquents sont effectués à l'aide de thermomètres et psychromètres de référence ; le pouvoir évaporant de l'air est apprécié aux mêmes niveaux par relevés hebdomadaires d'évaporimètres Piche ;

— 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 de 10 m de long à intervalles de 0,20 m (répartition verticale de l'éclairement dans la phyllosphère des cacaoyers).

Les caractères physiques des sols liés à la rétention en eau (capacité en champ, point de fanaison permanente, marge d'eau utilisable par la plante, densité apparente du sol) et les variations saisonnières des profils d'humidité sont déterminés dans la zone racinaire des cacaoyers par prélèvements à la tarière hélicoïdale de 20 en 20 cm jusqu'à 1 m de profondeur, en trois séries de points différents.

Les observations biométriques relatives aux activités végétatives et florales sont effectuées sur vingt arbres marqués par objet : rythme et intensité des poussées foliaires, croissance des troncs et branches en épaisseur (activité cambiale), comptages périodiques des fleurs épanouies. Sous chacun de ces arbres, une aire grillagée de 1 m² permet la récolte régulière des feuilles tombées, afin d'établir la périodicité et l'intensité des chutes dans les trois principales conditions écologiques observées. « L'indice de surface foliaire » (leaf area index = L. A. I.) est déterminé simultanément.

L'étude des facteurs éco-climatiques, qui fera l'objet ultérieurement d'une publication séparée, ne sera pas exposée ici dans sa totalité, étant donné l'ampleur du sujet. En outre, comme leur impor-

tance relative est très variable, il sera simplement adjoint quelques courbes climatiques saisonnières, dont les données paraissent le plus étroitement liées aux deux types d'activités étudiées ici : la croissance végétative et la floraison. Ces comparaisons n'ont qu'une valeur d'orientation, n'étant pas encore étayées par l'établissement de coefficients de corrélation. L'interprétation statistique, si elle est possible, sera envisagée par la suite avec des résultats plus complets.

Une tour d'observations
(la partie supérieure est cachée par le feuillage des cacaoyers)



ACTIVITÉ VÉGÉTATIVE

Périodicité de l'activité végétative

La fréquence et l'intensité des poussées et des chutes de feuilles sont les deux phénomènes qui frappent tout d'abord l'observateur. Depuis longtemps, le rôle de l'humidité du sol et de la température a été reconnu, mais les corrélations supposées reposent essentiellement sur la simple comparaison de courbes saisonnières qui représentent des moyennes très générales.

Nos propres observations sont schématisées par les figures 1, 2 et 3 (p. 192) qui établissent les résultats obtenus dans les trois conditions types étudiées. Les chutes de feuilles se produisent en général de décembre à février. Une seconde période, mais beaucoup moins intense, a lieu en été (juillet-août) ou bien en automne (septembre-octobre). Celle-ci peut d'ailleurs passer presque inaperçue, comme ce fut le cas en 1969. L'examen des graphiques des figures 1 et 3 semble montrer que ces périodes de chute coïncident avec les époques de déficits hydriques les plus élevés (période de sécheresse relative). Mais en réalité, elles correspondent plutôt à la fin de la période de vie des feuilles, qui est généralement de onze à douze mois, ces chutes pouvant se produire lorsque le sol est encore bien alimenté en eau. Ceci semble d'ailleurs démontré par le fait que les émissions foliaires se produisent le plus souvent presque simultanément, comme l'a déjà signalé ALVIM (1965). Dans ce type de climat en effet, l'action de la sécheresse édaphique et atmosphérique est rarement assez forte pour provoquer des chutes anormales de feuilles.

L'examen du **rythme des poussées foliaires** montre également, en parallélisme avec le phénomène de chute, deux périodes principales au cours de l'année : décembre-avril et septembre-octobre. La première, qui est de beaucoup la plus importante, se produit le plus souvent en deux phases correspondant à deux périodes où l'humidité du sol est satisfaisante : décembre-janvier (fin de la grande saison des pluies) et mars-avril (début de la petite saison pluvieuse). L'existence d'une chute très nette de la croissance terminale au mois de février démontre l'effet du déficit en eau du sol qui atteint et même dépasse 40 % de la teneur utilisable par la plante. Cette sensibilité à la carence en eau avait déjà été signalée par LEMÉE (1956) et ALVIM (1965). Il est donc fort probable que, sans cette période de sécheresse, les deux maxima de croissance de décembre-janvier et mars-avril n'en formeraient qu'un seul.

L'examen des graphiques des figures 1 à 3 révèle d'intéressantes différences de comportement entre les arbres soumis ou non à l'action d'un ombrage naturel. Il montre que l'action de l'humidité du sol, bien que très importante, n'est pas seule en cause. Chez les arbres en pleine lumière, le maximum d'activité se produit nettement en décembre-janvier. L'action d'un ombrage naturel par contre semble déplacer ce maximum en mars-avril. C'est sans doute une des raisons pour lesquelles BRAUDEAU (1969) ne signale dans son ouvrage que les poussées principales de mars-avril et septembre-octobre, sans mentionner celle de décembre-janvier. Jusqu'ici, en effet, une des règles de la cacaoculture était le maintien obligatoire d'un

ombrage naturel permanent. Il est également probable que l'importance relative de ces poussées foliaires subisse de nettes variations suivant l'âge et la nature génétique du matériel végétal étudié.

D'après ces résultats, on peut donc se demander quels sont les facteurs écologiques, outre l'humidité du sol, qui agissent le plus fortement sur le rythme et l'intensité des poussées foliaires. Parmi tous ceux qui ont été avancés jusqu'ici, l'action de la température a longtemps semblé la plus vraisemblable. Si dans certains cas extrêmes son action peut être limitante, comme l'ont montré MURRAY et ses collaborateurs (1961, 1964, 1965, 1967), les variations saisonnières de ce facteur, le plus souvent assez faibles comme le montrent les figures 1 et 3, ne suffisent pas à expliquer l'évolution du rythme et de l'intensité des poussées foliaires telles qu'on les

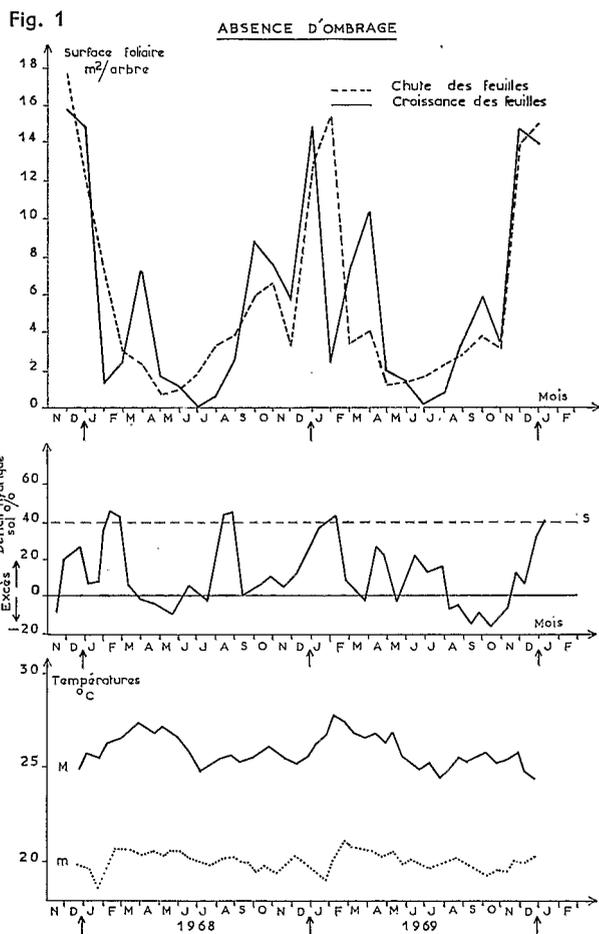
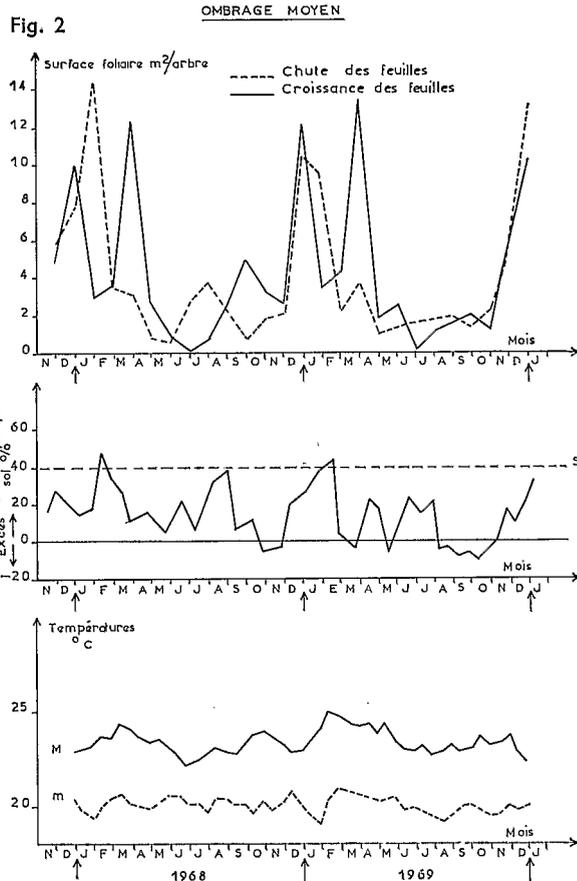
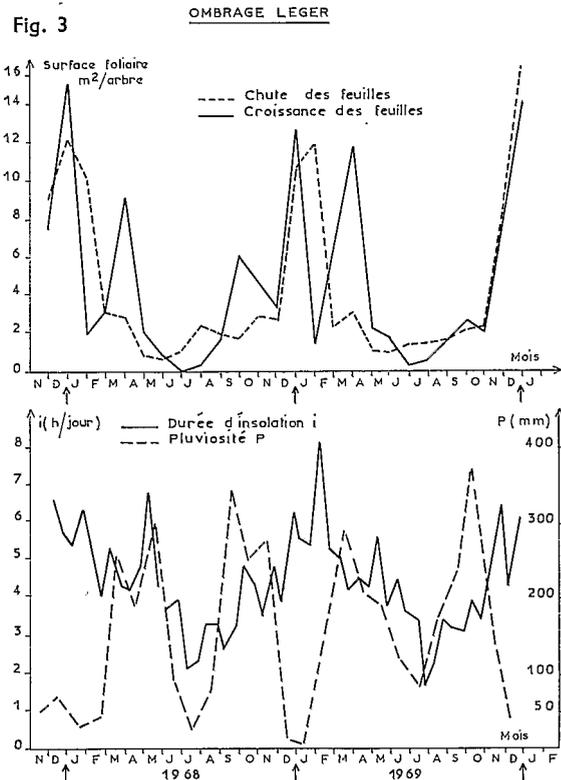


Fig. 1 à 3. — Rythme saisonnier des poussées et des chutes de feuilles et évolution comparative de quelques composants du microclimat (M = \bar{x} diurnes, m = \bar{x} nocturnes dans la couronne)





Récolte des feuilles tombées dans les aires grillagées

observe dans la nature. ALVIM (1965) pense plutôt qu'il s'agit là d'une action énergétique des radiations solaires, la corrélation avec les écarts de température n'ayant alors qu'un caractère fortuit. Cette hypothèse semble beaucoup plus vraisemblable, bien que nous n'ayons pas eu jusqu'à présent les moyens de la contrôler. L'examen de la figure 2 montre en effet que les périodes d'activité de croissance correspondent globalement aux plus grandes valeurs de la durée d'insolation : 4, 5 à 6 h/jour en moyenne de novembre à avril. Par contre, ces valeurs tombent entre 2 et 3,5 h/jour au cours de la période estivale où l'apparition des poussées foliaires est très réduite, et même parfois nulle. On peut également observer que la durée moyenne d'insolation en septembre-octobre offre des valeurs intermédiaires entre les maxima hivernaux et les minima estivaux. L'intensité des poussées foliaires est nettement plus réduite qu'en début d'année. Les chiffres des années 1968 et 1969 peuvent également, dans une certaine mesure, étayer cette supposition : le nombre de « flushes » apparus a été nettement plus élevé en septembre-octobre 1968, où la durée moyenne d'insolation a été d'environ 4 h/jour, qu'au cours de la même période en 1969 où cette valeur a été sensiblement réduite à 3,5 h/jour en moyenne. Mais comme ces différences sont toutefois faibles et assez peu convaincantes, le parallélisme est seulement approché. On peut supposer que la valeur énergétique et la qualité des radiations solaires sont plus en cause que leur durée globale, valeur relative qui manque de précision et ne peut être utilisée à établir des corrélations valables.

Cette constatation a amené certains auteurs à penser que les phénomènes de chutes et de poussées foliaires ont des causes internes qui seraient essentiellement sous la dépendance de l'humidité du sol et de la valeur énergétique de l'insolation. Mais ceci n'a encore à l'heure actuelle qu'une valeur d'hypothèse, en l'absence de toute démonstration formelle. Là encore, on doit insister sur la valeur limitée de

toute conclusion, qui ne saurait être appliquée à un matériel végétal de nature génétique et d'âge différents. Ceci n'est pas toujours précisé dans les travaux qui existent actuellement.

Valeur des surfaces foliaires totales et de l'indice de surface foliaire (L. A. I.)

Nos observations relatives à la croissance montrent qu'au cours d'une année, l'intensité des poussées foliaires est sensiblement plus élevée chez les arbres en zone de lumière que chez ceux soumis à l'ombrage le plus dense. La surface foliaire développée chez ces arbres au cours d'une année, laps de temps qui correspond à peu près à la durée moyenne de vie des feuilles, a été respectivement par arbre, en chiffres arrondis :

- en trouées de lumière : 54,5 et 51 m² au cours des années 1968/1969 ;
- sous ombrage léger : 49 et 43,5 m² ;
- sous ombrage moyen : 48 et 45 m².

Ces valeurs correspondent à un indice de surface foliaire (*), pour une densité moyenne de plantation de 1.000 arbres/ha, de 5,1 à 5,45 pour les arbres en zones de lumière, 4,35 à 4,9 et 4,5 à 4,8 pour ceux subissant l'influence d'un ombrage léger ou modéré. Ces valeurs sont relativement faibles si l'on considère l'âge des arbres. ALVIM (1965) trouve des valeurs voisines à Bahia (4,5 à 5,6) pour des cacaoyers âgés de dix-neuf ans, mais signale qu'elles peuvent s'élever jusqu'à 8 et 9 chez certains arbres âgés d'environ quarante ans. Cette faible densité du feuillage explique les valeurs relativement élevées de l'éclaircissement résiduel que nous avons pu enregistrer au niveau du sol. Elle peut également être interprétée comme preuve du déclin physiologique de ces arbres.

Croissance en épaisseur des troncs et des branches

La croissance en épaisseur des troncs et des branches est souvent désignée par « activité cambiale » dans la littérature. Elle constitue, au même titre que la croissance foliaire, une part importante de l'activité végétative rythmique des cacaoyers.

(*) L'indice de surface foliaire ou « leaf area index » (L. A. I.) exprime la surface totale du feuillage développée par unité de surface horizontale de terrain.

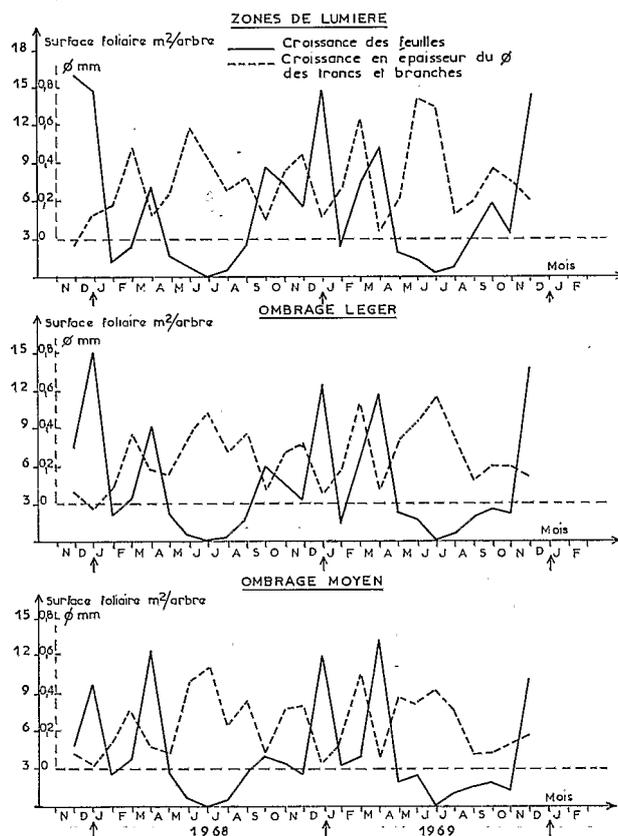
C'est en effet au niveau des troncs et sur les ramifications du bois qu'apparaissent les inflorescences, dans des zones préférentielles appelées « coussinets floraux ». Nos mesures ont été effectuées par évaluation périodique de leur diamètre (mesures au pied à coulisse de précision) à quatre niveaux différents marqués par des repères :

- sur le tronc à 50 cm du sol et à 20 cm de l'insertion des ramifications principales ;
- sur les branches principales à 10 et 50 cm de leur niveau d'insertion sur le tronc.

A chaque niveau, deux mesures sont effectuées suivant une perpendiculaire, les sections transversales étant le plus souvent irrégulières. Les résultats représentent donc les moyennes de huit mesures par arbre.

Sur les graphiques de la figure 4, ces valeurs sont portées en comparaison avec celles de l'intensité des poussées foliaires. En règle générale, il apparaît que ces deux activités fondamentales présentent une sorte d'alternance périodique. Les maxima de croissance du bois en épaisseur correspondent en général à une activité minimale de la croissance terminale. ALVIM (1956, 1967) a fait la même constatation au Costa Rica et à Bahia (Brésil). Les poussées foliaires, bien qu'elles compensent approximativement les chutes, puisque ces deux phénomènes sont presque simultanés, doivent néanmoins provoquer une élévation périodique et temporaire de l'activité photosynthétique des arbres, les tissus âgés étant remplacés par un matériel végétal jeune. On peut donc supposer qu'il s'ensuit une augmentation consécutive des activités générales du métabolisme des arbres, et en particulier de l'assimilation au niveau des zones annulaires de croissance du bois. Les facteurs qui favorisent la croissance du bois en épaisseur seraient donc les mêmes que ceux qui agissent sur le taux d'assimilation photosynthétique des cacaoyers. Mais cette constatation n'implique pas obligatoirement une

Fig. 4. — Evolution saisonnière comparée de l'activité végétative de cacaoyers soumis à diverses conditions écologiques dans la région de Yaoundé (Cameroun)



Relevés biométriques de croissance en épaisseur des troncs et branches principales



dépendance étroite et exclusive entre la croissance du bois en épaisseur et la croissance terminale.

L'examen des graphiques de la figure 4 montre peu de différences entre le comportement des arbres soumis ou non à l'ombrage. Le taux de croissance du bois en épaisseur est en effet assez faible, les moyennes annuelles des deux années d'observation étant respectivement voisines de 3,5 mm pour les cacaoyers non ombragés, 3,1 et 2,9 mm pour ceux soumis à un ombrage léger ou « modéré ». Les observations seront encore poursuivies pendant au moins un an, de façon à pouvoir tenter de déterminer si les différences sont significatives. Chez ces arbres âgés en moyenne de 25 à 30 ans, les dimensions diamétrales des troncs et branches sont souvent importantes. Par conséquent, les écarts apparemment faibles de l'augmentation respective des diamètres peuvent néanmoins se traduire par de nettes différences dans la production annuelle de bois.

FLORAISON

Jusqu'à présent, il n'existe que très peu de travaux sur les relations entre l'activité de floraison des cacaoyers et les facteurs climatiques. Cependant, il est bien connu que l'intensité et la répartition des chutes de pluie ainsi que la température sont les principaux facteurs contrôlant l'émission des fleurs (ALVIM, 1965) dans les principales zones de culture du cacaoyer. Cet auteur signale par exemple que sur la côte atlantique du Costa Rica, où il n'existe pas de grandes différences saisonnières dans la répartition des pluies et la température, les cacaoyers peuvent fleurir pratiquement toute l'année. Par contre, il en va tout autrement sur la côte pacifique où il existe une nette saison sèche de décembre à mars. La floraison obéit alors à un rythme saisonnier, les fleurs n'apparaissant qu'à la reprise des pluies en avril-mai. Mais cet auteur ne précise pas s'il s'agit là de cacaoyers d'origine génétique et d'âge semblables.

Etant donné l'importance que revêtent ces facteurs climatiques et l'âge des arbres en observation, nos propres mesures ont été effectuées dans les trois conditions types définies plus haut et aux trois principaux niveaux de la charpente des arbres, c'est-à-dire :

- sur les troncs (TR),
- sur les branches principales (BR),
- sur les ramifications secondaires (RS).

L'importance relative de ces trois niveaux différents varie en effet au cours de l'âge des cacaoyers.

Les observations consistent en un décompte périodique des fleurs épanouies sur les soixante arbres marqués, généralement un tous les dix jours, ce qui écarte la possibilité de compter plusieurs fois les mêmes fleurs. Mais il est probable que les chiffres ainsi obtenus sous-estiment la quantité réelle de fleurs émises, un grand nombre tombant rapidement si elles ne sont pas pollinisées.

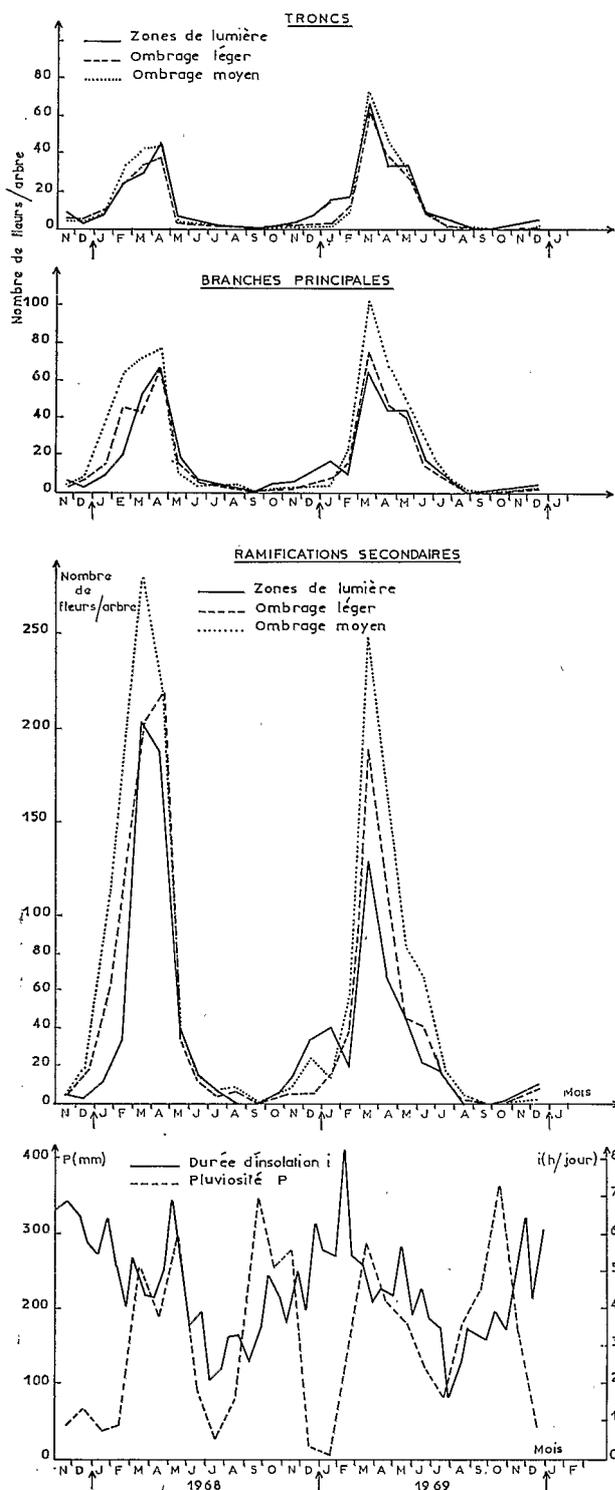
Les résultats obtenus sont schématisés par les graphiques des figures 5, 6 et 7 (p. 196). On remarque tout de suite que ce phénomène obéit à un rythme saisonnier très net. Dans tous les cas, la majorité des floraisons est groupée de février à mai, avec un maximum très accusé en mars-avril, c'est-à-dire dès la reprise des pluies et à une époque où la durée d'insolation est supérieure à 4 h/jour. La floraison est pratiquement nulle de juillet à octobre, période où l'insolation et les températures moyennes sont les plus basses. Ces constatations rejoignent celles effectuées par ALVIM (1964, 1965) à Bahia (Brésil) et selon lesquelles une température moyenne inférieure à 23 °C inhiberait complètement la floraison.

L'examen des graphiques des figures 5 et 6 montre que les différences dues aux conditions d'environnement que nous avons observées sont d'autant plus accusées que les fleurs apparaissent en des endroits de la charpente des arbres les plus exposés aux facteurs de l'environnement. Sur les troncs, les écarts sont très faibles, plus nets sur les grosses branches situées à la base des couronnes, encore plus accusés sur les ramifications secondaires généralement situées dans les secteurs les plus exposés de la couronne. Ces constatations tendraient donc à confirmer l'action importante de la température, mais plus vraisemblablement encore de l'effet énergétique des radiations solaires. Tout se passe comme si l'intensité des floraisons tendait à se réduire au-dessus d'un certain seuil calorifique. SALE (1967) a d'ailleurs signalé un fait semblable. La figure 6 montre clairement que le nombre de fleurs apparues au cours des mois de mars 1968 et 1969 est nettement plus important sous ombrage qu'en plein soleil. Cela explique donc que le nombre total de fleurs apparues en une année soit plus élevé à l'ombre qu'au soleil, comme le montrent les chiffres suivants, qui n'ont pour le moment qu'une valeur indicative, en l'absence de toute interprétation statistique :

Ambiance forestière régnant au dessus des cimes des cacaoyers (on aperçoit vers le fond le sommet de la tour située sous ombrage léger)



Fig. 5 et 6. — Evolution saisonnière de la floraison des cacaoyers soumis à diverses conditions écologiques en fonction de certaines données climatiques (pluies = P, durée d'insolation = i)



	1967-68				1968-69			
	TR	BR	RS	Total	TR	BR	RS	Total
Sans ombrage	121	185	524	830	187	215	397	799
Ombrage léger	113	200	668	981	159	211	462	832
Ombrage « modéré »	143	277	866	1286	175	290	689	1154

Mais l'action supposée de ces facteurs externes ne peut être seule en cause. Le déterminisme de la floraison ainsi que les diverses étapes du développement des bourgeons inflorescentiels conduisant à l'anthèse dépendent largement de processus physiologiques à causes strictement internes. Dans ce cas, l'action des facteurs externes ne se manifesterait que de façon indirecte. Nous avons également évoqué la difficulté d'évaluer toutes les fleurs épanouies sans risque d'erreurs. Toutefois, la valeur comparative de cette méthode demeure.

Fig. 7. — Evolution saisonnière de la floraison des cacaoyers soumis à diverses conditions écologiques en fonction de la durée moyenne d'insolation dans la région de Yaoundé

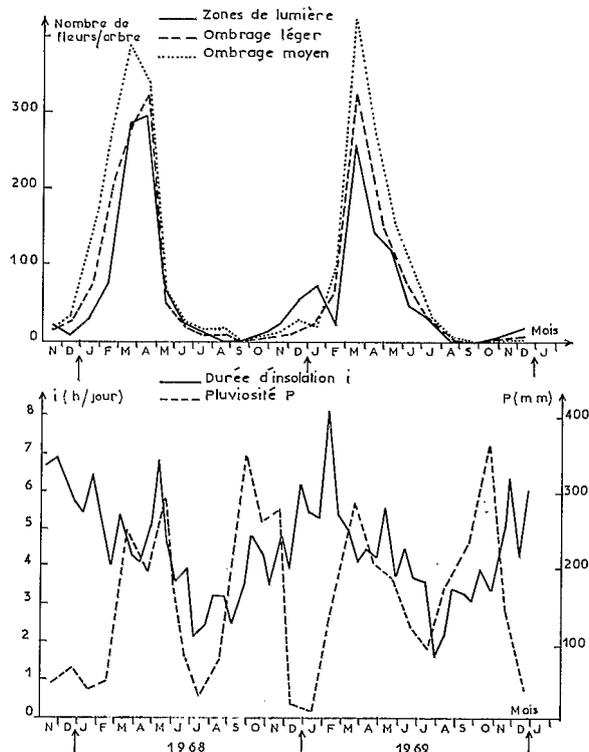
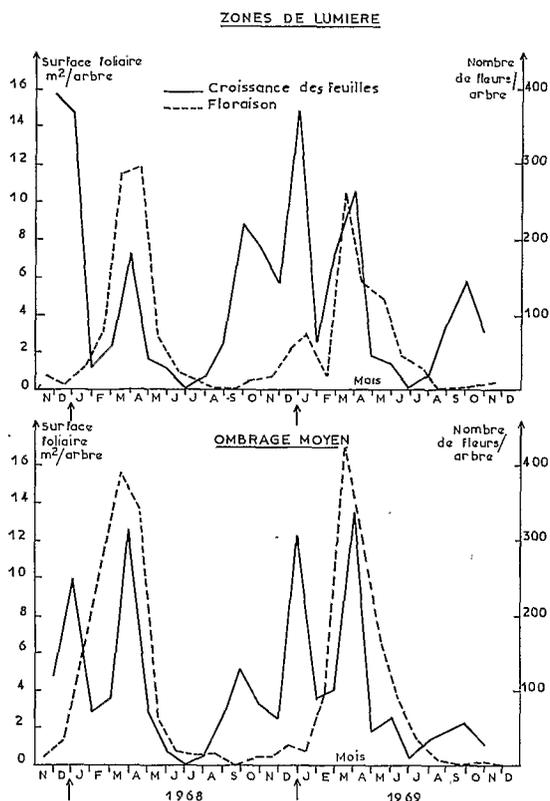


Fig. 8. — Evolution saisonnière comparée de l'intensité des poussées foliaires et des émissions florales chez des cacaoyers subissant ou non l'influence d'un ombrage naturel



Le plus souvent, les phénomènes de poussées foliaires et de floraison semblent étroitement liés. La figure 8 montre par exemple que cette correspondance est nette au cours des périodes où ces deux activités sont maximales. Mais il existe également d'autres périodes, bien que de moindre importance (septembre-octobre), où cette correspondance n'apparaît plus aussi nettement. On peut donc penser qu'un certain nombre de conditions, liées aux facteurs externes, doivent être requises pour amener les cacaoyers à fleurir. Si elles ne sont pas prépondérantes, elles peuvent toutefois agir comme facteurs limitants. Mais l'influence des facteurs internes tels que la nature génétique et l'âge des sujets en observation doit néanmoins être la plus grande, comme le pense BRAUDEAU (1969). Le premier facteur n'est pas contrôlable dans les conditions qui règnent actuellement dans la majorité des cacaoyères camerounaises. Quant au second, ALVIM (1965) rapporte à ce sujet que de très jeunes cacaoyers, qui émettent constamment des « flushes », peuvent avoir une floraison continue pendant toute l'année. Ce qui laisse penser que les processus de mise à fleurs sont probablement de nature hormonale et auraient leur origine dans les tissus assimilateurs jeunes. Cette observation d'une floraison continue n'est probablement valable que pour certains cultivars, peut-être même à quelques stades de leur développement. Ces facteurs échappent à l'observation écologique effectuée sur une population hétérogène.

Si l'on considère la floraison globale au cours d'une année, il est net que ce phénomène est plus intense sous ombrage, dans le cas où l'on a affaire à une population très variable d'arbres âgés, bien que l'activité végétative n'apparaisse pas supérieure à celle de ceux situés en zone de lumière.

CONCLUSIONS

L'examen des facteurs du microclimat qui règne dans une cacaoyère type de la région de Yaoundé montre l'importance particulière que revêtent le régime saisonnier des précipitations et l'intensité du rayonnement solaire. Mais l'utilisation des eaux météoriques par la plante dépend beaucoup des caractères physiques des sols liés à la rétention en eau. Avec les quantités et la répartition saisonnière des pluies, ils déterminent les périodes au cours desquelles il y a risque de pénurie ou d'excès d'eau.

La valeur énergétique de l'insolation, donnée généralement très peu connue, peut également être

évaluée par le jeu des fluctuations de la température atmosphérique qui sont en général plus connues et plus aisément mesurables. Sous ce type de climat, les autres facteurs sont secondaires et leurs variations saisonnières sont trop faibles pour influencer de façon nette les diverses phases du développement des cacaoyers. La cacaoyère sous ombrage naturel constitue en outre un milieu assez fermé et confiné, où les principales composantes du microclimat varient peu d'un point à un autre. Les différences de comportement n'apparaissent donc nettement qu'entre groupes d'arbres situés en zones d'ombre et de lumière, à cause de la répar-

tition différente de l'énergie solaire dans les couronnes.

Sous le climat de la zone culturale de Yaoundé, où le régime des pluies est caractérisé par l'alternance de deux saisons pluvieuses et de deux saisons de sécheresse relative, les périodes optima d'apparition des « flushes » se situent à la fin de la grande saison des pluies (fin novembre, début janvier) pour les arbres en taches de lumière, au début de la petite saison pluvieuse (mars-avril) pour ceux qui subissent l'action d'un ombrage « modéré ». Dans tous les cas, les émissions de feuilles nouvelles cessent totalement lorsque le déficit du sol en eau utilisable s'élève au-dessus de 40 %. Il existe également un autre maximum en septembre-octobre (début de la grande saison des pluies), mais dont l'importance est d'autant moins grande que les cacaoyers subissent davantage l'influence d'un ombrage naturel. Ces observations démontrent l'importance de l'action calorifique des radiations solaires qui, dans un sens ou dans l'autre, jouent le rôle de facteur limitant. Il semble bien en effet que l'émission des « flushes » soit optimum, dans le cas où l'humidité du sol est satisfaisante, si la durée moyenne d'insolation est comprise entre 4 et 6 h/jour. La mise en route prochaine d'un solarigraphe enregistreur nous permettra sans doute dans l'avenir d'être plus précis à ce sujet.

Les phénomènes de chute et d'apparition de feuilles nouvelles sont presque toujours simultanés. Mais comme la durée moyenne de vie des feuilles est voisine d'un an, il est possible que ce soit avant tout pour cette raison que l'on observe une telle coïncidence. Si les chutes se produisent parfois au cours de périodes de pénurie en eau du sol, la correspondance entre ces deux phénomènes est fortuite, car les déficits hydriques saisonniers ne sont jamais assez poussés pour provoquer des chutes anormales et suffisamment importantes. En outre, des chutes peuvent être observées en période de bonne alimentation en eau. Par contre, on ne peut contester qu'il existe en général une relation étroite entre les chutes et l'apparition des feuilles nouvelles. Si ce fait ne peut être expliqué par l'action directe des facteurs de l'environnement, il n'est pas exclu qu'il puisse y avoir une corrélation interne entre le phénomène d'abscission et l'activité des méristèmes terminaux. Certains auteurs, qui ont pu provoquer l'apparition de « flushes » par chute artificielle de feuilles âgées, pensent en effet que ces phénomènes trouvent leur origine dans un mécanisme hormonal qui provoquerait la migration des substances nutritives des tissus assimilateurs sénescents vers les étages jeunes en voie d'activité.

La croissance du bois en épaisseur, processus de développement important, puisque c'est à ce niveau que se forment les fleurs, alterne avec les

périodes d'apparition des poussées foliaires. Les facteurs externes qui la favorisent sont donc vraisemblablement les mêmes que ceux qui élèvent le taux d'assimilation photosynthétique. De là proviennent sans doute les quelques différences que l'on peut observer entre le comportement des cacaoyers subissant ou non l'influence d'un ombrage naturel, mais qui seraient sans doute plus révélatrices si l'on pouvait comparer des sujets d'origine génétique et d'âges semblables.

Le rythme et l'intensité des émissions florales, étroitement liés à l'activité végétative, dépendent eux aussi largement du régime des précipitations et de la répartition saisonnière des radiations solaires. Si des conditions optima existent dans ce sens pendant toute l'année, la floraison des cacaoyers peut, théoriquement, être continue. Mais en fait, il est encore probable que leur comportement dépende, pour une large part, de leur âge et surtout de leur origine génétique.

D'autres facteurs internes, mais qui sont actuellement très mal connus, interviennent certainement pour déclencher ou empêcher la floraison. L'hypothèse d'une régulation hormonale, qui pourrait intervenir pour arrêter la floraison lorsque l'arbre porte déjà un certain nombre de fruits, est couramment admise. On constate en effet que l'on peut prolonger la durée de la période de floraison et augmenter son intensité en supprimant toutes les chérelles déjà formées. Ce phénomène peut être rapproché du cas des arbres stériles qui fleurissent intensément et presque toute l'année. Mais dans les conditions dans lesquelles nous avons effectué ces observations, il est clair que l'émission des fleurs obéit à un rythme saisonnier très net. Dans tous les cas, la majorité des floraisons est groupée de février à mai, avec un optimum très marqué en mars-avril, qui peut représenter 50 à 70 % du total des fleurs émises en une année. Ce maximum correspond à une période de bonne alimentation en eau et où la durée d'insolation est supérieure à 4 h/jour. D'autre part, le nombre total des fleurs émises en une année est supérieur chez les arbres cultivés sous ombrage « modéré ». Cette différence s'explique par un nombre nettement plus élevé de fleurs émises sur les ramifications secondaires, et en général dans les parties les plus exposées aux facteurs de l'environnement, des arbres soumis à l'ombrage (environ 70 % de plus que chez les arbres en taches de lumière). Il est donc probable que l'effet calorifique des radiations solaires joue, une fois de plus, un rôle limitant.

On peut donc en conclure que dans tous les cas où les cacaoyers ne forment pas un couvert suffisamment dense, c'est-à-dire lorsque l'indice de surface foliaire est inférieur à 5-6, ou par suite d'une densité de plantation inadéquate, un ombrage léger ou « modéré » est souhaitable.

BIBLIOGRAPHIE

- ALVIM (P. de T.). — 1952. Some physiological studies at the Inter-American Cacao Center. *Int. Am. Inst. Agr. Sc. (Turrialba)*, 19, 13 p.
- ALVIM (P. de T.). — 1957. Factores que controlam os lançamentos de cacauero, 6th. *Int. Am. Cacao Conf. (Bahia)*, 117-25.
- ALVIM (P. de T.). — 1958. The problem of shading of cacao from the point of view of plant physiology. 7th. *Int. Am. Cacao Conf. (Palmira)*, 13-19.
- ALVIM (P. de T.). — 1964. Tree growth periodicity in tropical climates. In « Formation of wood in forest trees ». Acad. Press (New-York), 479-95.
- ALVIM (P. de T.). — 1965. Ecophysiology of the cacao tree. 1^{re} Conf. Intern. Rech. Cacaoyères (Abidjan), 23-35.
- ALVIM (P. de T.), MACHADO (A. D.), GRANGIER (A.). — 1967. Studies on water, soil and growth relationships on the cacao plant. 2^e Conf. Intern. Rech. Cacaoyères (Bahia), 316-24.
- BRAUDEAU (J.). — 1969. Le cacaoyer. *Techn. Agr. et Prod. Trop.* (Coll. dirigée par R. COSTE), XVII, éd. Maisonneuve et Larose, Paris, 304 p.
- GREENWOOD (M.), POSNETTE (A. F.). — 1950. The growth flushes of cacao. *J. Hort. Sc.*, 25, 164-74.
- HUMPHRIES (E. C.). — 1944. A consideration of the factors controlling the opening of buds in the cacao tree. *An. Bot.*, 8, 259-67.
- LEMÉE (G.). — 1956. Recherches éco-physiologiques sur le cacaoyer. *Rev. Gén. Bot.*, 63, 41-94.
- MURRAY (D. B.). — 1955. Climatic requirements of cacao with particular reference to shade. *Cacao Conf. (Londres)*, 17-22.
- MURRAY (D. B.). — 1961. The ICTA controlled environment growth rooms. *Rep. on Cacao Res., Trinidad, 1959-60*, 11-13.
- MURRAY (D. B.). — 1961. Soil moisture and cropping cycles in cacao. *Rep. on Cacao Res., Trinidad, 1954-60*, 18-22.
- MURRAY (D. B.), SALE (P. J. M.). — 1965. Growth studies on cacao in controlled environment rooms. 1^{re} Conf. Intern. Rech. Cacaoyères (Abidjan), 57-61.
- MURRAY (D. B.), SALE (P. J. M.). — 1967. Physiological research on cacao in Trinidad. 2^e Conf. Intern. Rech. Cacaoyères (Bahia), 311-15.
- MURRAY (D. B.), SPURLING (A. T.). — 1964. Effect of temperature on growth. *Rep. on Cacao Res., Trinidad, 1963*, 42-47.
- PYKE (E. E.). — 1933. The physiology of cacao. I. General observations on growth, flowering and fruiting. *Rep. on Cacao Res., Trinidad, 1932*, 37-40.
- SALE (P. J. M.). — 1967. Effect of temperature on growth. *Rep. on Cacao Res., Trinidad, 1966*.
- VALLAEYS (G.). — 1954. Le problème de l'ombrage du cacaoyer. *Bull. Inform. I. N. E. A. C.*, 3, 192-215.

BOYER (J.). — **Influence des régimes hydrique, radiatif et thermique du climat sur l'activité végétative et la floraison de cacaoyers cultivés au Cameroun.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 3, juill.-sept. 1970, p. 189-201, fig., réf.

Une étude a été entreprise en 1967 au Centre de recherches de l'I. F. C. C. au Cameroun pour tenter de déterminer le milieu écologique idéal qui permettrait au cacaoyer d'exprimer toutes ses potentialités et de fournir ses meilleurs rendements. Dans cet article sont exposés une partie des résultats obtenus au cours de deux années d'observations dans une cacaoyère typique de la région de Yaoundé dans les trois conditions d'environnement qui règnent le plus souvent en cacaoculture au Cameroun (absence d'ombrage, ombrage léger, ombrage moyen).

L'examen des facteurs du microclimat montre l'importance du régime saisonnier des précipitations et de l'intensité du rayonnement solaire. Mais l'utilisation des eaux météoriques par la plante dépend beaucoup des caractères physiques des sols liés à la rétention en eau. Avec la quantité et la répartition saisonnière des pluies, ils déterminent les périodes au cours desquelles il y a risque de pénurie ou d'excès d'eau. L'intensité et la valeur énergétique de l'insolation peuvent être évaluées par le jeu des fluctuations de la température atmosphérique. Les autres facteurs sont secondaires. Les différences de comportement n'apparaissent donc nettement qu'entre groupes d'arbres situés en zones d'ombre et de lumière, en raison de la répartition différente de l'énergie solaire dans les couronnes.

Sous le climat de la zone de Yaoundé, les périodes optima d'apparition des « flushes » se situent à la fin de la grande

BOYER (J.). — **The influence of moisture, radiation and thermal conditions of the climate upon the vegetative and flowering activity of cacao in Cameroon.** *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 3, juill.-sept. 1970, p. 189-201, fig., réf.

In 1967 work was begun at the Research Centre of the I. F. C. C. in Cameroon with the object of determining the ideal ecological conditions under which the realization of the potentialities and yield of the cacao tree would be at its optimum. This article presented some of the results obtained over two years of observation made on a typical cacao plantation of the Yaoundé region and under the environmental conditions that normally prevailed in Cameroon cacao cultivation (no shade, slight shade, medium shade).

A study of the microclimatic factors demonstrated the importance of seasonal precipitation and the intensity of solar radiation. The utilization of meteoric water by the tree, however, depended greatly upon the physical characteristics of the soil that were concerned with its water retention. These, together with the amount and seasonal distribution of the rainfall, determined the periods during which there was likely to be a shortage or an excess of water. The intensity and the energy value of the insolation could be revealed by the movement of the variations in atmospheric temperature. Other factors were secondary. Hence the difference in behaviour of the trees was clearly seen only between groups situated in well lit and shaded zones respectively, and this was due to differences in the distribution of solar energy within their crowns.

For the Yaoundé climate the optima periods for the appea-

saison des pluies (fin novembre, début janvier) pour les arbres au soleil, au début de la petite saison des pluies (mars-avril) pour les arbres sous ombrage moyen. Les émissions de feuilles nouvelles cessent totalement lorsque le déficit du sol en eau utilisable s'élève au-dessus de 40%. Il existe un autre maximum en septembre-octobre, début de la grande saison des pluies, mais dont l'importance est d'autant moins grande que les cacaoyers subissent davantage l'influence d'un ombrage naturel. Les radiations solaires peuvent donc jouer le rôle de facteur limitant. L'émission des « flushes » est optimum si la durée moyenne d'insolation est comprise entre 4 et 6 h/jour, dans le cas d'une humidité du sol satisfaisante.

La chute des feuilles et l'apparition de feuilles nouvelles sont presque toujours simultanées. La croissance du bois en épaisseur alterne avec les périodes d'apparition des poussées foliaires.

Le rythme et l'intensité des émissions florales, étroitement liés à l'activité végétative, dépendent aussi largement du régime des précipitations et de la répartition saisonnière des radiations solaires. L'hypothèse d'une régulation hormonale qui pourrait intervenir pour arrêter la floraison lorsque l'arbre porte déjà un certain nombre de fruits est couramment admise. Dans tous les cas, la majorité des floraisons sont groupées en février-mai, avec un optimum très marqué en mars-avril, période de bonne alimentation en eau et où la durée d'insolation est supérieure à 4 h/jour. Le nombre total des fleurs émises en une année est supérieur chez les arbres sous ombrage moyen. Les radiations solaires jouent encore un rôle limitant.

On peut conclure de toutes ces observations que dans tous les cas où les cacaoyers ne forment pas un couvert suffisamment dense, un ombrage léger ou moyen est souhaitable.

BOYER (J.). — Einfluss der hydrischen, radiativen und thermischen Klimabedingungen auf die vegetative Aktivität und das Blühen des in Kamerun angepflanzten Kakaobaumes. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 3, juill.-sept. 1970, p. 189-201, fig., réf.

Im Jahre 1967 wurde im Forschungszentrum I. F. C. C. in Kamerun eine Studie unternommen, um zu versuchen das ideale ökologische Milieu, das gestatten würde, alle Potentialitäten des Kakaobaumes auszudrücken, und eine bessere Leistung zu erreichen, zu finden. In dieser Arbeit wird ein Teil der im Laufe der zwei jährigen Beobachtung in einer typischen Kakaopflanzung, in der Gegend von Yaoundé, erhaltenen Ergebnisse aufgezeigt, und zwar unter den drei Umweltsbedingungen, die am häufigsten in den Kakaopflanzungen in Kamerun vorgefunden werden (kein Schatten, leichter Schatten, mittlerer Schatten).

Die Untersuchung der Faktoren des Mikroklimas zeigt die Bedeutung der saisonbedingten Einflüsse der Niederschläge und der Intensität der Sonnenbestrahlung. Aber die Verwendung der meteorologischen Wässer hängt stark von den physikalischen an die Wasserretention gebundenen Bodenverhältnissen ab. Mit der Quantität und der saisonbedingten Verteilung des Regens bestimmen sie die Perioden,

rance of the « flushes » occurred at the end of the main wet season (end of November to beginning of January) for trees growing in direct sunlight, and at the beginning of the subsidiary wet season (March to April) for trees growing in medium shade. The sprouting of new leaves stopped completely when the deficiency in available soil water exceeded 40%. Another maximum existed in September-October at the beginning of the heavy rains, but the importance of this was increasingly reduced as the cacao trees were subjected to more and more natural shade. Thus, solar radiation could act as a limiting factor. With a satisfactory soil water content, the sprouting of the « flushes » was optimum if insolation averaged between 4 and 6 h/day.

Leaf fall and the appearance of new leaves were almost always simultaneous. The growth in thickness of the wood alternated with the periods of leaf growth.

The rhythm and intensity of flowering which were closely linked with vegetative activity also depended largely upon the rainfall regime and the seasonal distribution of solar radiation. The hypothesis that a hormonal control intervened in order to stop flowering if the tree was already bearing a certain quantity of fruit was commonly accepted. In any case, most of the flowering periods were grouped from February to May with a very marked optimum in March-April which was a period of good water intake and during which insolation was over 4 h/day. Trees grown under medium shade produced the greatest number of flowers in a year. Solar radiation still played a limiting role.

The conclusion to be drawn from these observations was that in all cases in which the cacao trees did not produce a sufficiently dense cover, the introduction of slight and medium shade conditions was advisable.

BOYER (J.). — Influencia de los regímenes hídrico, radiativo y térmico del clima sobre la actividad vegetativa y la floración de los cacaos cultivados en Camerún. *Café Cacao Thé* (Paris), vol. XIV, n° 3, juill.-sept. 1970, p. 189-201, fig., réf.

En 1967 se empezó un estudio en Camerún en el centro de investigaciones del I. F. C. C. para tratar de determinar el ambiente ecológico ideal que permitiera al cacao expresar todas sus potencialidades y dar sus mejores rendimientos. En este artículo se presenta una parte de los resultados obtenidos durante dos años de observaciones en un cacaotal típico de la región de Yaoundé, en las tres condiciones de ámbito prevaletientes en el cultivo del cacao en Camerún (falta de sombra, sombra ligera, sombra mediana).

Un estudio de los factores del microclima muestra la importancia del régimen estacional de las lluvias y de la intensidad de las radiaciones solares. Pero la utilización por la planta de las aguas meteóricas depende mucho de los caracteres físicos de los suelos asociados a la retención de agua. Con las cantidades de lluvia y su distribución estacional, determinan los períodos durante los cuales podría verificarse una falta o un exceso de agua. La intensidad y el

während derer das Risiko eines Wassermangels oder eines Wasserüberschusses besteht. Die Intensität und der energetische Wert der Sonnenbestrahlung können sich durch das Spiel der atmosphärischen Temperaturschwankungen zeigen. Die anderen Faktoren sind sekundär. Die Unterschiede des Verhaltens zeigen sich also deutlich nur zwischen den Baumgruppen, die in Schatten oder Lichtzonen liegen, und zwar infolge der verschiedenen Verteilung der Sonnenenergie in den Kronen.

Unter dem Klima der Zone von Yaoundé liegen die optimalen Perioden des Auftretens der « Flushes » am Ende der grossen Regensaison (Ende November, Anfang Januar) für die Bäume in der Sonne, zu Beginn der kleinen Regensaison (März-April) für die Bäume unter mittlerem Schatten. Das Erscheinen neuer Blätter hört vollständig auf, wenn das Defizit des Bodens an verwendbarem Wasser über 40 % beträgt. Es besteht ein anderes Maximum im September-Oktober zu Beginn der grossen Regensaison, aber seine Bedeutung ist geringer, wenn die Kakaobäume stärker dem Einfluss einer natürlichen Beschattung ausgesetzt sind. Die Sonnenstrahlen können also die Rolle eines einschränkenden Faktors spielen. Die Emission der « Flushes » ist optimal, wenn die mittlere Dauer der Sonnenbestrahlung zwischen 4 und 6 Stunden täglich, bei einer befriedigenden Bodenfeuchtigkeit, liegt.

Der Fall der Blätter und das Auftreten neuer Blätter finden fast immer gleichzeitig statt. Das Wachstum des Holzes in die Breite wechselt mit Perioden des Erscheinens neuer Blätter ab.

Der Rhythmus und die Intensität des Erscheinens der Blüten, die eng mit der vegetativen Aktivität verbunden sind, hängen auch weitgehendst von den Niederschlägen und der saisonbedingten Verteilung der Sonnenbestrahlung ab. Die Hypothese einer hormonalen Regulierung, die eingreifen könnte, um das Auftreten der Blüten aufzuhalten, wenn der Baum schon eine gewisse Zahl von Früchten trägt, wird im allgemeinen angenommen. Bei allen Fällen findet der Höhepunkt des Blühens im Februar-Mai statt, mit einem deutlichen Optimum in den Monaten März-April, Periode der guten Wasserversorgung, während derer die Sonnenbestrahlung über 4 Stunden täglich liegt. Die Gesamtzahl der auftretenden Blüten in einem Jahr ist bei den Bäumen unter mittlerer Beschattung höher. Die Sonnenstrahlen spielen also eine einschränkende Rolle.

Alle diese Beobachtungen führen zu der Schlussfolgerung, dass bei allen Fällen, bei denen die Kakaobäume kein genügend dichtes Blätterdach bilden, eine leichte oder mittlere Beschattung wünschenswert ist.

valor energético de la insolación pueden evaluarse mediante las variaciones de la temperatura atmosférica. Los demás factores son secundarios. Pues las diferencias de comportamiento sólo aparecen netamente entre grupo de árboles situados en zonas de sombra y de luz en razón de la distribución diferente de la energía solar en las coronas.

Bajo el clima de la zona de Yaoundé, los períodos óptimos de aparición de los « flushes » son el fin de la gran estación húmeda (fines de noviembre, principio de enero) para los árboles al sol, el principio de la pequeña estación húmeda (marzo-abril) para los árboles bajo sombra mediana. Las emisiones de hojas nuevas cesan totalmente cuando el déficit de agua utilizable del suelo es superior al 40 %. Hay otro máximo en septiembre-octubre (principio de la gran estación húmeda), pero su importancia es tanto menos grande como los cacaos se hallan más bajo la influencia de una sombra natural. Las radiaciones pueden, pues, desempeñar el papel de factor limitante. La emisión de los « flushes » es óptima cuando la duración mediana de la insolación varía entre 4 y 6 horas por día, en el caso de humedad del suelo apropiada.

La caída de las hojas y la aparición de las hojas nuevas son casi siempre simultáneas. El crecimiento del leño en espesor alterna con los períodos en que brotan muchas hojas.

El ritmo y la intensidad de las emisiones florales, estrechamente relacionados con la actividad vegetativa, dependen mucho también del régimen de las precipitaciones y de la distribución estacional de las radiaciones solares. Se admite generalmente la hipótesis de una regulación hormonal que podría intervenir parando la floración cuando el árbol lleva un número determinado de frutos. En todos los casos, la mayoría de las floraciones se verifican entre febrero y mayo, con un óptimo muy marcado en marzo-abril, período caracterizado por una buena alimentación hídrica y una insolación que excede 4 horas por día. Los árboles bajo sombra mediana emiten anualmente un número total de flores superior a los demás. Las radiaciones solares tienen también un efecto limitante.

Basándose en todas las observaciones hechas se recomienda la instalación de una sombra ligera o mediana en todos los casos en que la vegetación del cacaotal no es bastante densa.