



**HAL**  
open science

## Couvert angulaire et architecture forestière: Etudes en Côte d'ivoire

Jean-Louis Devineau

► **To cite this version:**

Jean-Louis Devineau. Couvert angulaire et architecture forestière: Etudes en Côte d'ivoire. Annales de l'université d'Abidjan sér. E, 1980, XIII, pp.7 - 37. hal-00753228

**HAL Id: hal-00753228**

**<https://hal.science/hal-00753228>**

Submitted on 18 Nov 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Couvert angulaire et architecture forestière Études en Côte d'ivoire**

par J.-L. DEVINEAU

## *INTRODUCTION*

### I. — *LES METHODES D'ETUDE DE LA STRUCTURE DU COUVERT*

### II. — *LA TECHNIQUE UTILISEE*

- 1 - Matériel employé
- 2 - Conduite de l'échantillonnage sur le terrain
- 3 - Dépouillement des photographies
- 4 - Méthode de calcul

### III. — *DEUX EXEMPLES*

- 1 - Analyse de quelques parcelles
- 2 - Confrontation avec les données architecturales  
d'un ensemble de relevés

## *CONCLUSIONS*

*Mots-clés* : Architecture forestière, recouvrement linéaire, couvert angulaire, photographies hémisphériques.

## **RESUME**

Une méthode d'étude du couvert sous forêt est décrite. Les possibilités d'utilisation de la méthode sont développées sur deux exemples, l'un consistant en l'analyse de quelques parcelles, l'autre portant sur un ensemble de relevés caractérisés par leur architecture.

\* Laboratoire d'Écologie Tropicale de Lamto, B.P. 28 N'Douci (Côte d'Ivoire) et

Laboratoire de Zoologie, E.N.S., 46, rue d'Ulm, 75005 Paris (France).

*Ann. Univ. Abidjan*, série É (Ecologie), tome XIII, 1980.

J.-L. DEVINEAU

#### SUMMARY

This study investigates a method of determining forest canopy cover. The method, developed through the analysis of several study plots, is also applied in a more general evaluation of a series of architectural analysis.

#### INTRODUCTION

La notion de recouvrement, relative à des espèces ou à des strates, est couramment utilisée (RAUNKIAER, 1918 ; BRAUN-BLANOUET, 1932 ; SAUVAGE, 1961 ; GODRON et al. 1968 ; GOUNOT, 1969 ; GUINOCHE, 1973 ; etc...) ; elle est définie comme le rapport entre l'aire de la projection sur le plan horizontal d'un élément de végétation et l'aire totale de la station. C'est un critère important, souvent discriminant, dans la recherche des unités physiologiques de la végétation. Les travaux de J.-C. MENAUT (1974) et de P. HIERNAUX (1975) en sont de bons exemples concernant la détermination des types structuraux de la strate ligneuse de savanes guinéennes.

En forêt, à l'échelle stationnelle, le recouvrement des différentes strates est en rapport étroit avec les divers stades de la sylvigénèse. La taille et l'abondance des trouées sont des caractéristiques importantes des types forestiers ; elles sont dans les forêts naturelles en relation avec la distribution horizontale des tiges, la forme des couronnes et la fréquence des chablis. Cette dernière dépend de facteurs tels que l'âge de la formation, la stabilité des arbres selon les caractéristiques édaphiques, l'importance des intempéries, et conditionne la physiologie et le fonctionnement de l'écosystème forestier qui est une mosaïque de phases sylvigénétiques initiées par la chute et la mort des grands arbres (OLDEMAN, 1972, 1978 ; HARTSHORN, 1978).

Une autre notion, souvent utilisée, est celle de « couvert angulaire » (DEBRACH in SAUVAGE, 1961 ; BECKER, 1971). Elle tient compte de la densité de la végétation ainsi que de la topographie et correspond à la « portion de la voûte céleste qui est occultée par la végétation des strates supérieures ou par les accidents du terrain » (SAUVAGE, 1961). Une étude du couvert angulaire intégrera donc aussi les trouées dues aux caractéristiques morphologiques et architecturales du feuillage des espèces constituant le couvert (EVANS, 1965 ; HORN, 1971 ; NORMAN et al., 1971 ; HALLE et al., 1978). A l'échelle de la formation, le couvert angulaire résultera de la combinaison de deux types de structure, l'une attribuable à la succession spatiale des phases sylvigénétiques, l'autre due à l'organisation structurale et démographique au sein de chaque phase sylvigénétique.

Un des problèmes essentiels de l'écologie des forêts naturelles tropicales est de localiser au mieux ces « unités de fonctionnement » que doivent être les phases sylvigénétiques. C'est le préalable à toute étude plus approfondie sur, par exemple, le microclimat, les biomasses ou la productivité. A cet égard, l'étude systématique du couvert angulaire revêt une importance particulière. Il conditionne pour une large part l'interception des pluies et le pluviollessivage (MITCHELL, 1929 ; GRAH et al., 1944 ; VOIGT, 1960 ; ANDERSON R.C., 1969 ; HORN, 1971), ainsi que le climat lumineux du sous-bois, en déterminant notamment la répartition des taches de lumière au sein de la végétation (EVANS, 1956 ; ANDERSON M., 1965).

#### I. — *LES METHODES D'ETUDE DE LA STRUCTURE DU COUVERT*

Les méthodes d'étude du recouvrement, ou du couvert angulaire, sont variées et leur élaboration n'est pas le fait des seuls phytoécologues, plusieurs d'entre elles furent mises au point lors d'études de faune, notamment par des ornithologues, pour qui la connaissance de la structure du couvert végétal est primordiale (MAC ARTHUR et al., 1961, 1969 ; EMLÉN, 1967 ; DES DIGUERES, 1971 ; BLONDEL et al., 1973).

Un premier type de mesure du recouvrement consiste en la planimétrie de la projection des cimes. Elle peut être réalisée soit à partir de photographies aériennes (LE RAY, 1958, 1965 ; FRANCIS, 1966 ; GODRON, 1967 ; MUTOJI-A-KAZADI, 1977), — mais en forêt cette méthode sera limitée à l'étude du recouvrement de la strate supérieure —, soit à partir de plans dressés du sol qui permettent de déterminer l'importance des trouées dans la végétation pour l'ensemble du couvert végétal et même à différents niveaux ou par espèce (CURTIS, 1970 ; DESMARATS et al., 1970 ; OLDEMAN, 1972, 1978).

Une autre façon d'estimer le recouvrement, soit à partir du sol, soit à partir de photographies aériennes est de mesurer le « recouvrement linéaire » (BUELL et al., 1950 ; EMLÉN, 1967 ; GODRON, 1968). Il est possible par exemple de déterminer sur une ligne la longueur recouverte par les couronnes. Le recouvrement linéaire, pour chaque élément considéré (ensemble de la végétation, strate, espèce, etc...) s'écrit alors :

$$RL = \frac{LE}{LL} \times 100$$

où LE est la longueur de ligne recouverte par l'élément, LL la longueur totale de la ligne. Il est aussi possible de déterminer, le long d'une ligne, la fréquence des segments recouverts, mais il est alors généralement plus intéressant d'opérer par points (WARREN-WILSON, 1959, 1960 ; GREIG-SMITH, 1964 ; GODRON, 1971 ; ELWELL et al., 1977).

Diverses méthodes font appel à des instruments optiques. Ainsi BUELL et al. (1950) repèrent l'extrémité des couronnes avec un appareil muni d'un jeu de miroirs ; MAC ARTHUR et al. (1961), EMLEN (1967), HADFIELD (1974) procèdent de manière similaire. BLONDEL (1973) avec son stratiscope détermine le couvert angulaire à la verticale. LEMMON (1956), LONG (1977) utilisent un miroir sphérique gravé d'une grille.

D'autres méthodes ont été développées, fondées sur l'utilisation de techniques photographiques.

BROWN (1958) réalise des prises de vue verticales de la voûte à l'aide d'un objectif de focale 50 mm ; les clichés, bien contrastés, sont dépouillés à l'aide d'une grille de 400 carrés dans lesquels sont notés les pourcentages de trouées à l'aide d'indices.

ANDERSON R.C. et al. (1969) utilisent aussi des photographies prises verticalement ; la lecture est faite sur les clichés à l'aide d'une grille de points (10 lignes de 10 points) placée sur le centre de chaque photographie. Le nombre de points correspondant à des trouées est divisé par le nombre de points échantillonnés (100) afin d'obtenir une valeur d'ouverture du couvert en pourcentage.

NEAL D.G. (1967) utilise un grand angulaire de 28 mm. Dans chacune de ses stations il fait des mesures en 15 points. En chaque point cinq photographies sont réalisées, l'une verticalement, les quatre autres dans des directions perpendiculaires et sous un angle de visée de 52°. Le dépouillement est effectué à l'aide de mires afin d'estimer le recouvrement en pourcentage.

Cependant, afin d'obtenir l'image la plus complète possible de la voûte, la tendance est à l'utilisation d'objectifs « grand angulaire » (Suzuki et al. 1954) et notamment d'objectifs couvrant un angle de 180°.

#### LA TECHNIQUE DES PHOTOGRAPHIES HÉMISPHÉRIQUES

Parmi les instruments donnant une photographie « hémisphérique » on peut citer celui de CODD (1959) et d'ADAMS (1962). BROWN et al. (1965) s'en servent pour estimer le degré de couverture et la pénétration du rayonnement solaire, déterminer la pente, mesurer

des distances et des hauteurs et aussi calculer la surface terrière en s'inspirant de la méthode de BITTERLICH. DUCREY (1974) se sert lui aussi des photographies hémisphériques pour le calcul de la surface terrière ainsi que pour le cubage des arbres sur pied...

En ce qui concerne la mesure du couvert, BROWN et al. font des distinctions selon les facteurs climatiques considérés. Ainsi toute la photographie sera concernée pour le climat lumineux, par contre seulement 15 % du cliché autour du zénith influenceront la pénétration de la pluie à la verticale de la prise de vue. CLARK (1961), HORN (1971) ont une opinion similaire.

L'instrument le plus employé dans ce domaine est l'objectif décrit par HILL (1924) et appelé communément « fish-eye ». De nombreux auteurs l'ont utilisé pour des études de structure du couvert (DES DIGUERES, 1971 ; BONHOMME, 1974 ; J.M. WALTER, 1976 et travaux en cours) et surtout de pénétration du rayonnement lumineux (EVANS et al, 1959 ; ANDERSON M., 1964 ; MADGWICK et al., 1969 ; BONHOMME, 1974 ; DUCREY, 1975 ; HUTCHISON, 1975).

## II. — LA TECHNIQUE UTILISEE

### 1 - MATÉRIEL EMPLOYÉ

Nous avons, pour nos recherches, employé cette technique des photographies hémisphériques et utilisé un « fish-eye » Nikkor 7,5 mm f. 5,6 couvrant un angle de  $180^{\circ}$ . Les caractéristiques principales de cet objectif ont été décrites par BONHOMME (1974) et DES DIGUERES (1971). On peut en retenir qu'il existe une relation linéaire entre l'angle zénithal et la distance d'un point au centre de l'image (projection équidistante) :

$$Y = C \Theta$$

(Y : distance d'un point de l'image au centre du cliché ;  $\Theta$  : angle zénithal ; C : constante.)

Il existe un autre type d'objectif — à projection orthographique (Nikkor 5,6/10 mm - OP par exemple) — où :

$$Y = \sin \Theta$$

spécialement prévu pour des études d'éclairement.

### 2 - CONDUITE DE L'ÉCHANTILLONNAGE SUR LE TERRAIN

On dispose d'assez peu de précision sur les types d'échantillonnages utilisés par les divers auteurs, notamment en ce qui concerne

les intervalles entre les points de mesure. D'une manière générale, pour obtenir des valeurs moyennes concernant un couvert donné, la pratique de mesures en série est préconisée.

BROWN (1958) utilise un échantillonnage linéaire, ses lignes ont environ 400 mètres (20 chains), l'intervalle entre les photographies, — qui ne sont pas hémisphériques —, est de 2 mètres (10 links). MADWICK (1969) calcule moyenne et erreur standard de la mesure de l'ouverture du couvert à partir de 8 photographies. BONHOMME (1974) calcule, pour différentes cultures, le nombre de photographies nécessaires pour obtenir une précision donnée sur ses mesures. HORN (1971) se place au-dessus des jeunes arbres des espèces qu'il veut étudier et dont il peut ainsi déterminer les exigences vis-à-vis du couvert.

Notre but étant de rendre compte des variations horizontales du couvert, à un niveau donné, nous avons utilisé un échantillonnage systématique en ligne, en espaçant sur les parcelles d'essai, les photographies de 2 mètres.

### 3 - DÉPOUILLEMENT DES PHOTOGRAPHIES

Les méthodes de dépouillement proposées sont diverses.

Le pourcentage de trouées peut être déterminé par planimétrie ou découpage et pesage des zones de ciel (BONHOMME, 1974 ; HORENT, 1977). Il peut être aussi défini à partir d'une estimation visuelle réalisée à l'aide d'une grille (ANDERSON M.C., 1964 ; CLARK, 1971) ou bien encore à partir de la mesure de la densité optique portant sur l'ensemble ou partie du cliché (MADWICK et al., 1969 ; BECKER, 1971). DES DIGUERES (1971) et BONHOMME (1974) déterminent la longueur d'intersection des trouées sur des cercles d'isohauteur. La mesure peut aussi être réalisée par points, soit manuellement à l'aide de grilles (BROWN H.E. et al., 1965) soit de manière automatique (BONHOMME et al., 1972 ; DUCREY, 1975).

A l'aide d'un dépouillement automatique, DUCREY notamment, arrive à une très bonne précision dans l'estimation de l'ouverture du couvert forestier. Cependant cette précision du dépouillement implique qu'un très grand soin soit apporté à la réalisation de la prise de vue ainsi qu'au tirage. Il devient très important de réaliser les clichés dans des conditions de ciel uniformément couvert afin d'éliminer les risques d'erreur dus à l'éclairement solaire direct.

Si l'on veut mener à bien une étude du couvert portant sur de nombreuses parcelles, conjointement par exemple avec une série de relevés phytécologiques, il est très peu probable que l'on puisse

se trouver toujours dans des conditions optimales de prise de vue. Dès lors, il nous a semblé préférable d'en rester, du moins pour la phase exploratoire, au niveau des relevés de reconnaissance, à un système de dépouillement manuel rapide qui permet d'interpréter le cliché et de décider si telle ou telle partie claire est bien une trouée. Nous avons donc adopté la technique suivante :

Après développement, les négatifs, — ou contretypes positifs —, sont lus, grâce à une mire sur un appareil de projection à écran opaque. La lecture est faite sur cinq hauteurs angulaires (15, 30, 45, 60 et 75") à raison de trente deux points par quartier (cependant pour une meilleure lisibilité de la mire utilisée, il n'y a que seize points pour la hauteur angulaire 75").

Les contacts entre les points et les trouées sont dénombrés, la longueur des suites de ces contacts positifs est notée : deux contacts feront partie de la même suite si l'arc de cercle qui les sépare ne recoupe aucune tache de végétation, ainsi la longueur des suites correspondra à la « taille » des trouées. On obtiendra le tableau suivant :

Longueur des suites	t1	t2	t3	ti	tn
Effectif	e1	e2	e3	ei	en

4 - MÉTHODE DE CALCUL

a) Ouverture relative de la voûte

L'ouverture relative à la voûte (OR) correspond au pourcentage de trouées, c'est le complément à cent du couvert angulaire :

$$OR = \frac{\sum_{i=1}^n e_i \times t_i}{n}$$

où n est le nombre de points échantillonnés. Cette valeur peut être calculée pour chaque hauteur angulaire puis par photographie.

Sur un relevé on dispose ainsi d'un tableau de N valeurs dont on calcule la moyenne (Tc), la variance (s<sup>2</sup>) et l'erreur standard

$$\left( \sqrt{\frac{s^2}{N}} \right)$$

Il est possible alors, à partir d'un échantillonnage quelconque de déterminer le nombre (NP) de photographies nécessaires pour avoir une valeur donnée (D) de l'erreur standard (BONHOMME, 1974)

$$NP = \frac{s^2}{D^2 \times \bar{x}^2}$$



L'homogénéité d'un relevé quant aux valeurs d'ouverture relative est estimée grâce à un test  $\chi^2$  effectué sur un tableau de contingence 2 X N, faisant intervenir le nombre de contacts positifs et le nombre de contacts négatifs par photographie.

b) *Distribution et taille des trouées*

Le dépouillement des photographies consistant en une lecture en séquence de « présence - absence », il est possible de déterminer si la distribution des trouées est aléatoire ou non. Pour cela nous avons utilisé le test des suites de WALD-WOLFOWITZ (GOUNOT, 1962 ; LEBART et al., 1975). Pour chaque hauteur angulaire, pour chaque photographie ou pour chaque relevé, le nombre de séquences de contacts positifs (SP) est déterminé, ainsi que le nombre de contacts positifs (n1) et le nombre de contacts négatifs (n2).

Le nombre théorique de séquences (S) est une variable aléatoire de moyenne :

$$E(S) = \frac{2 \times n1 \times n2}{n1 + n2} + 1$$

et de variance :

$$\text{var}(S) = \frac{2 \times n1 \times n2 \times (2 \times n1 \times n2 - n1 - n2)}{(n1 + n2)^2 \times (n1 + n2 - 1)}$$

l'intervalle

$$E(S) \pm 1,96 \times \sqrt{\text{var}(S)} \text{ a 95 chances sur 100 de contenir } S$$

$$E(S) \pm 2,58 \times \sqrt{\text{var}(S)} \text{ 99 chances sur 100.}$$

Si le nombre de séquences observées est significativement plus faible que le nombre attendu, la distribution sera à tendance agrégative, si au contraire il est plus élevé, la distribution sera plus régulière qu'une distribution aléatoire. Le rapport du nombre de séquences observées au nombre de séquences théoriques précisera la tendance vers une agrégativité, ou une régularité, plus ou moins forte.

A partir de la distribution des fréquences des tailles des trouées, il est possible de calculer une taille moyenne de trouée, par photographie ou par relevé :

$$\text{TMT} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i \times t_i}{\sum_{i=1}^n e_i}$$

L'homogénéité d'un relevé, relativement à la taille des trouées, peut être précisée par une analyse de variance permettant la comparaison des valeurs moyennes obtenues pour chaque photographie.

c) *Répartition des plages claires et sombres en sous-bois*

On peut obtenir une image simplifiée des relations spatiales entre plages claires et plages sombres le long de la ligne d'échantillonnage, en distinguant, par exemple, les valeurs de l'ouverture relative qui sont inférieures ou égales à la moyenne de celles qui lui sont supérieures. On obtient alors une série de suites qui schématisera la répartition plus ou moins agrégative des valeurs élevées de l'ouverture relative (GOUNOT, 1962 ; CHESSEL, 1975). Il est possible d'utiliser ici aussi le test des suites,  $S_p$  sera le nombre de séquences des valeurs supérieures à la moyenne,  $n_1$  le nombre de valeurs supérieures à la moyenne et  $n_2$  le nombre de valeurs qui lui sont inférieures.

A titre d'essai nous avons appliqué cette méthode de mesure du couvert angulaire à l'analyse d'un nombre restreint de parcelles puis au traitement d'un ensemble de relevés.

### III. — DEUX EXEMPLES

Les formations forestières de la réserve de Lamto (5°02' de longitude ouest, 6° 13' de latitude nord), où fut réalisé le présent travail, appartiennent au groupe de forêts semi-décidues à *Celtis spp.* et *Triplochiton scleroxylon*. On peut distinguer : les lambeaux forestiers de plateau, typiquement à *Celtis et Triplochiton*, les forêts galeries et bosquets secs en savane, la forêt riveraine (DEVINEAU, 1976). Ces formations sont pluristratifiées. La reconstitution forestière, soit après culture soit en zone de lisière, se réalise à partir d'un fourré bas (SPICHIGER, 1973 ; DEVINEAU, 1975).

#### 1 - ANALYSE DE QUELQUES PARCELLES

Deux parcelles, PR1 et PR2, concernent des fourrés secondaires bas, plans et profils, — ces derniers construits en prenant en compte

les individus recouvrant la ligne d'échantillonnage (\*) —, (figures 1 et 2) mettent en évidence le caractère relativement discontinu du recouvrement lié à une architecture peu structurée, présentant des variations horizontales importantes. Le recouvrement total, estimé à partir du recouvrement linéaire (RL), y est plus faible que sur les autres parcelles (tableau I).

TABLEAU I.  
Recouvrement linéaire en pourcentage.

Formation	Forêt de plateau			Galerie	Bosquet	Lisière	Fourré secondaire <sup>1</sup>	
Parcelle	PR3	P3	P94	MS	SP22	SP21	PR2	PR1
Total	97	100	96	100	100	85	82	88
H > 16 m	41	93	72	95	84	17	48	68
8 < H ≤ 16 m	68	9	53	29	0	31	30	0
2 < H ≤ 8 m	18	54	57	84	100	43	67	71

Les parcelles PR4, PR3 (figures 3 et 4), P3 et MS (DEVINEAU, 1976) représentent des formations mieux structurées, bien qu'y soient toujours discernables des perturbations dues à des chablis récents

FIGURE 1.

Profil de la parcelle PR2 (Forêt de plateau).

- |                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 <i>Olax subscorpioidea</i>   | 12 <i>Antidesma membranaceum</i>  |
| 2 <i>Newbouldia laevis</i>     | 13 <i>Milletia zechiana</i>       |
| 3 <i>Baphia pubescens</i>      | 14 <i>Ficus exasperata</i>        |
| 4 <i>Ficus mucoso</i>          | 15 <i>Musanga cecropioides</i>    |
| 5 <i>Microdesmis puberula</i>  | 16 <i>Caloncoba gilgiana</i>      |
| 6 <i>Cola caricaefolia</i>     | 17 <i>Dialium guineense</i>       |
| 7 <i>Antiaris africana</i>     | 18 <i>Morus mesozygia</i>         |
| 8 <i>Lannea nigriflora</i>     | 19 <i>Ficus capensis</i>          |
| 9 <i>Diospyros heudelotii</i>  | 20 <i>Albizia ferruginea</i>      |
| 10 <i>Holoptelea grandis</i>   | 21 <i>Mallotus oppositifolius</i> |
| 11 <i>Malacantha alnifolia</i> |                                   |

\*La technique des profils est utilisée par de nombreux auteurs (ROLLET, 1969). La taille des parcelles est très variable et déterminée, le plus souvent, empiriquement. Parfois des couloirs de différentes largeurs sont utilisés pour analyser les diverses strates (HALLE et al., 1978).

Une solution plus rapide et qui évite tout a priori sur la stratification, est de prendre en compte les individus recouvrant une ligne. Elle vaut pour toutes les classes de taille, des semis aux émergents, et permet l'analyse architecturale (OLDEMAN, 1972). Enfin elle se prête bien à l'analyse statistique (GODRON, 1971, 1972).

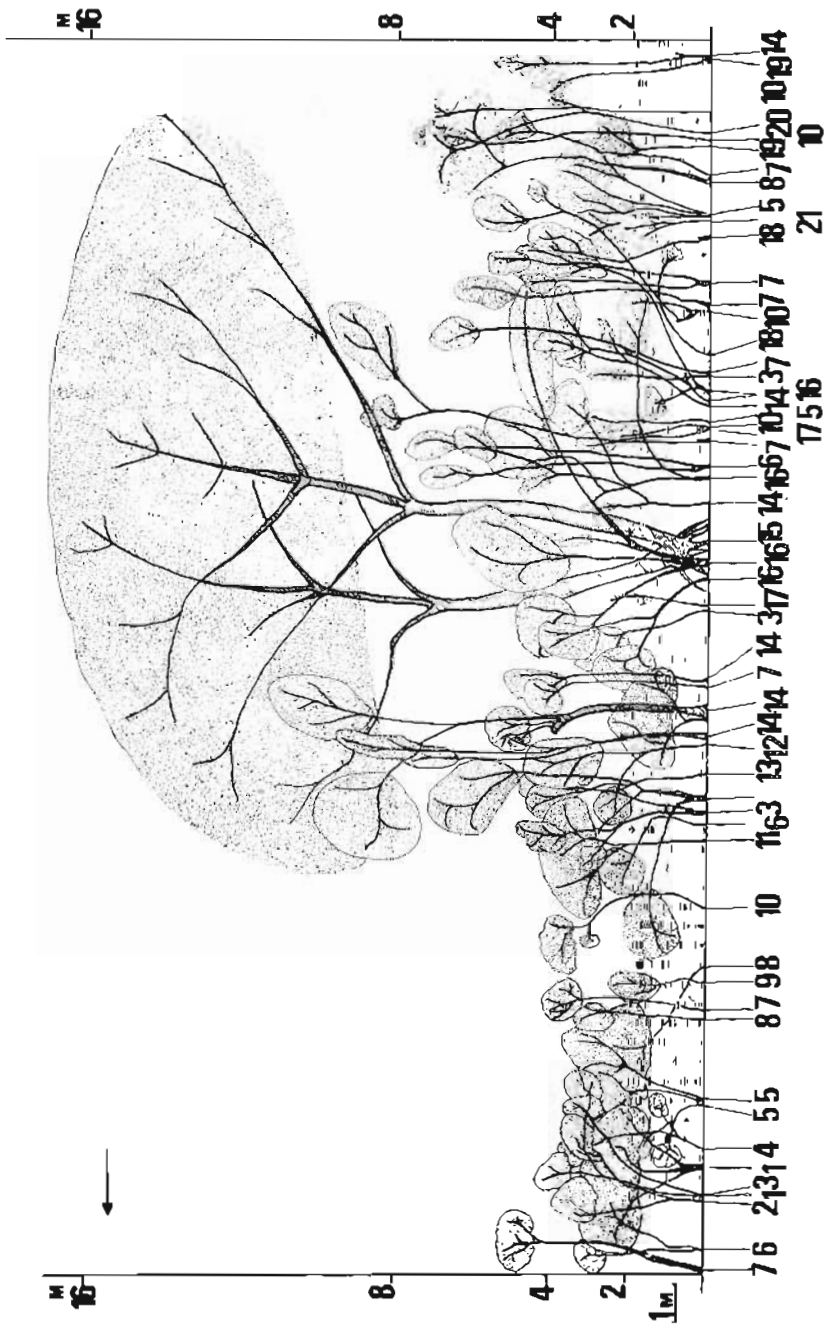


FIGURE 1.

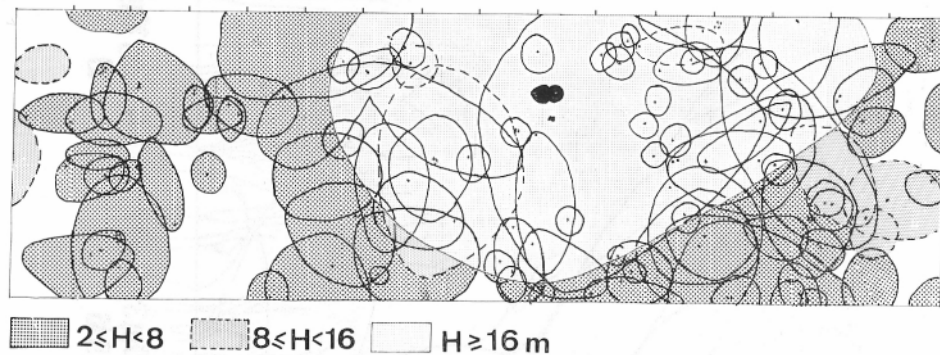


FIGURE 2.

Figure 2a : Plan de la parcelle PR2.

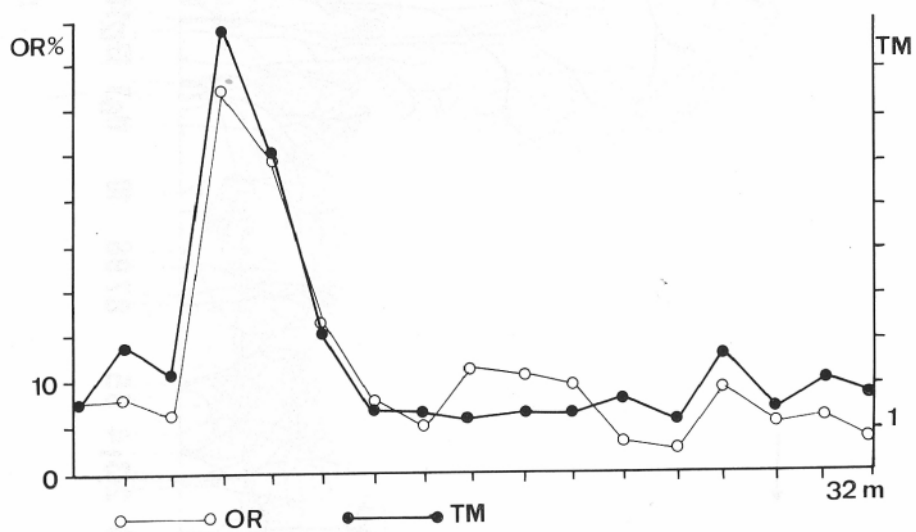


Figure 2b : Variation de l'ouverture relative (OR) et de la taille moyenne des trouées (TM) le long de la ligne d'échantillonnage sous la parcelle PR2.



FIGURE 3.

Profil de la parcelle PR3 (Forêt de plateau).

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 <i>Lecaniodiscus cupanioides</i> | 12 <i>Milletia zechiana</i>        |
| 2 <i>Rothmannia</i> sp.            | 13 <i>Leptonychia pubescens</i>    |
| 3 <i>Griffonia simplicifolia</i>   | 14 <i>Antiaris africana</i>        |
| 4 <i>Chaetacme aristata</i>        | 15 <i>Holarrhena africana</i>      |
| 5 Liane indéterminée               | 16 <i>Erythroxylum emarginatum</i> |
| 6 <i>Anthostema senegalense</i>    | 17 <i>Celtis zenkeri</i>           |
| 7 <i>Dialium guineense</i>         | 18 <i>Motandra guineensis</i>      |
| 8 <i>Malacantha alnifolia</i>      | 19 <i>Ehretia cymosa</i>           |
| 9 <i>Celtis prantlii</i>           | 20 Liane indéterminée              |
| 10 <i>Cola gigantea</i>            | 21 <i>Dracaena perrottetii</i>     |
| 11 <i>Spondias mombin</i>          |                                    |

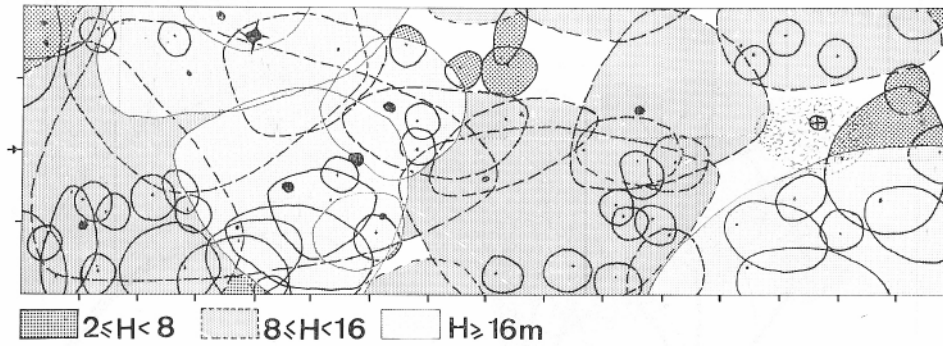


FIGURE 4.

Figure 4a : Plan de la parcelle PR3.

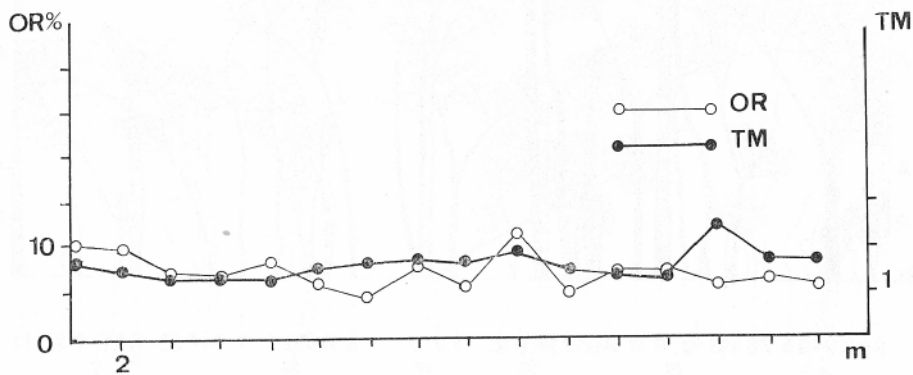


Figure 4b : Variation de l'ouverture relative (OR) et de la taille moyenne des trouées (TM) le long de la ligne d'échantillonnage sous la parcelle PR3.

sur PR4, plus anciens sur les autres parcelles. Les valeurs du recouvrement total y sont sensiblement égales mais on note des différences assez nettes entre les valeurs relatives aux diverses strates.

En outre, deux lignes ont été réalisées dans un bosquet en savane protégée des feux, l'une au centre du bosquet (SP22), l'autre en lisière (SP21). Ce bosquet, établi sous un grand *Erythrophleum suaveolens* (Guill. et Perr.) Brenan, se caractérise par l'importance

des espèces ligneuses de savane (*Cussonia barteri* Seeman, *Ficus capensis* Thunb.) qui paraissent en expansion et par l'implantation d'espèces plus forestières qui constituent ensemble une strate basse relativement régulière (figure 5, 6 et tableau I). Par ailleurs on n'y trouve pas trace de chablis ni même d'importantes chutes de branches.

Les photographies pour l'étude du couvert angulaire ont été réalisées, en saison humide, pendant les mois de mai à août.

#### *Ouverture relative de la voûte*

Aucun relevé n'apparaît homogène en ce qui concerne les valeurs d'ouverture relative, le test  $\chi^2$  rejette en effet toujours cette hypothèse (tableau II). Cependant les parcelles de fourré bas PR2 et PR1 présentent des valeurs de la variance et de l'erreur standard particulièrement élevées, ce qui souligne l'importance des variations de l'ouverture relative enregistrées le long de la ligne.

Sur les autres parcelles, l'erreur standard se situe aux environs de 7 %. Sept à neuf photographies sont alors nécessaires pour obtenir une erreur de 10 % et, en pratique sur le terrain, un espacement de quatre mètres entre les photographies est suffisant.

TABLEAU II.  
Ouverture relative.

Formation	Forêt de plateau			Galerie	Bosquet	Lisière	Fourré secondaire	
Parcelle	PR3	P3	PR4	VS	SP22	SP21	P02	PR1
NP	16	16	16	17	15	17	13	16
Moyenne	7,3	10,1	11,3	12,0	11,0	12,6	10,6	13,6
Variance	4,1	7,3	8,8	12,7	11,9	14,3	104,8	69,6
Erreur standard	0,51	0,67	0,74	0,84	0,89	0,92	2,3	2,1
NP (10 %)	7	7	6	8	9	8	100	37
	60,7	76,2	86,0	132,1	109,8	130,5	1 375	567,2
NDL	15	15	15	16	14	16	17	15
NP = Nombre de Photographies NP (10 %) - Nombre de photographies nécessaires pour une erreur standard de 10 % NDL = Nombre de degrés de liberté								

#### *Répartition des plages claires et sombres*

La répartition, le long des lignes, des valeurs supérieures et inférieures à la moyenne montre que l'existence de plages claires et sombres est plus affirmée dans les parcelles de bosquet et de fourré



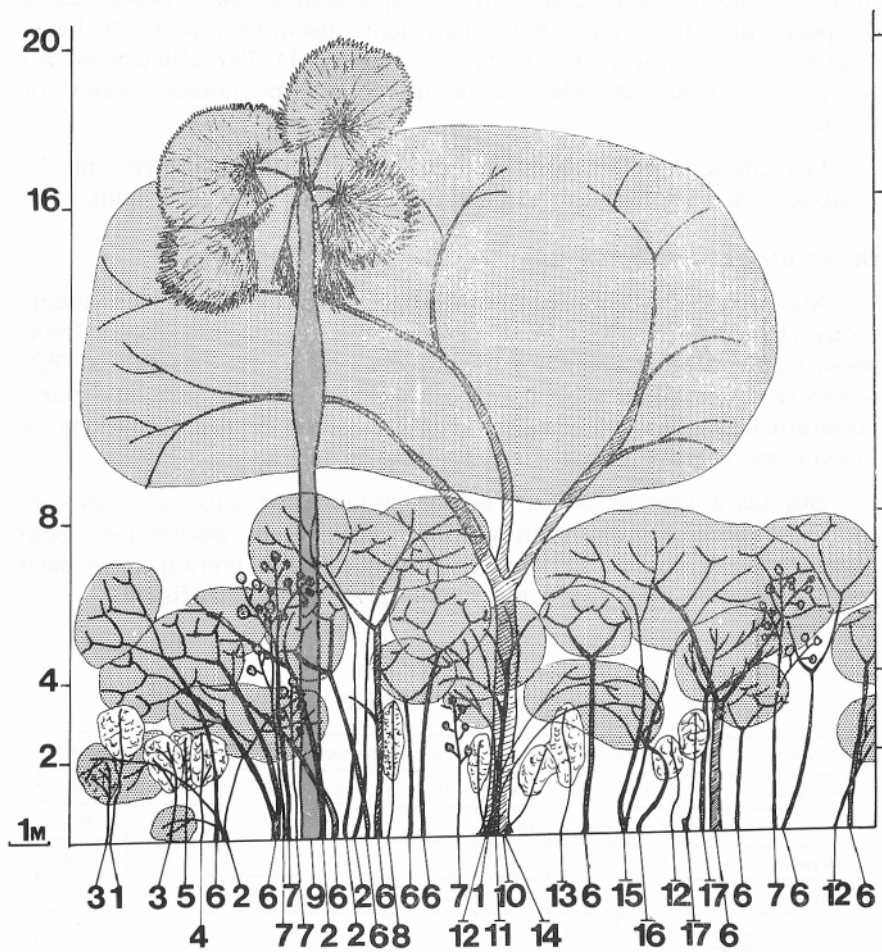


FIGURE 5.

## Profil de la parcelle SP2 (Bosquet).

- |                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 <i>Rytigynia canthioides</i>     | 10 <i>Erythrophleum guineense</i>  |
| 2 <i>Ficus capensis</i>            | 11 <i>Albizzia zygia</i>           |
| 3 <i>Bridelia ferruginea</i>       | 12 <i>Ptilostigma thonningii</i>   |
| 4 <i>Mimusops kummel</i>           | 13 <i>Allophylus africanus</i>     |
| 5 <i>Fagara xanthoxyloides</i>     | 14 <i>Erythroxylum emarginatum</i> |
| 6 <i>Cussonia barteri</i>          | 15 <i>Lanea kerstingii</i>         |
| 9 <i>Cola gigantea</i>             | 16 <i>Lonchocarpus cyanescens</i>  |
| 8 <i>Pseudospondias microcarpa</i> | 17 <i>Terminalia pubescens</i>     |
| 9 <i>Borassus aethiopum</i>        |                                    |

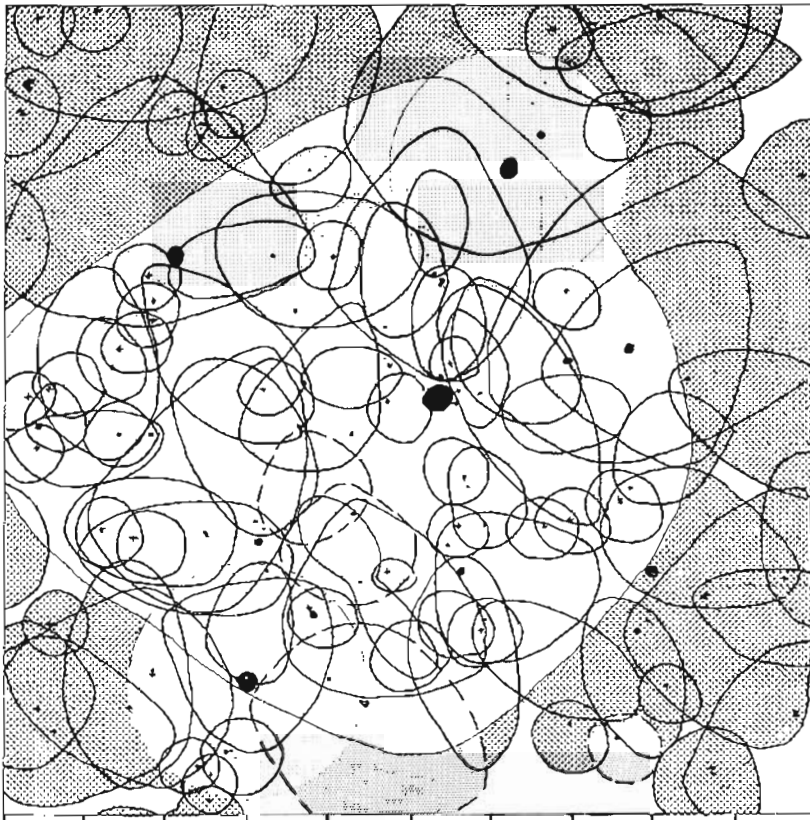


FIGURE 6.  
Figure 6a : Plan de la parcelle SP2.

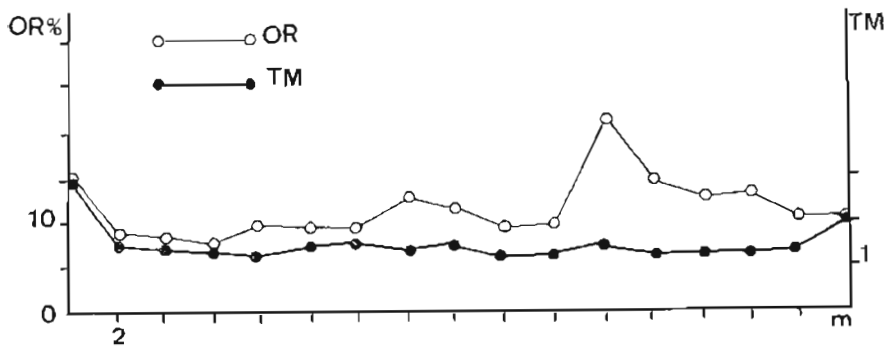


Figure 6b : Variation de l'ouverture relative (OR) et de la taille moyenne des trouées (TM) sous la parcelle SP2.

bas (tableau III). La ligne de lisière (SP21) présente l'agrégativité la plus affirmée. En revanche le caractère aléatoire est plus marqué sous les formations hautes.

TABLEAU III.

Répartition des plages sombres et claires le long des lignes.

III a. - Valeurs observées de l'ouverture relative.

*Forêt de plateau*

PR3 5,2 6,3 5,7 **7,5 7,5** 5,0 **11,6 5,5 8,8** 4,6 6,2 **8,3 7,4** 7,2 **10,0 10,1**  
 P3 **10,4** 5,0 6,8 **11,9** 7,1 6,8 **10,6** 9,9 **13,7 13,2 12,9** 10,1 **10,7 8,2**  
**13,6 11,5**  
 PR4 **12,7** 9,7 9,4 **18,2** 6,0 10,5 9,5 9,5 **11,7 13,7 12,3** 10,6 **12,1 16,6**  
 9,6 9,7

*Forêt galerie*

MS 9,1 **12,8 16,9 16,6 13,3** 6,3 10,1 11,5 **18,4 12,9** 5,5 11,5 **15,0 12,3**  
 9,6 7,7 **12,7**

*Bosquet*

SP22 10,1 10,5 **12,8 12,5 14,6 21,1** 9,4 9,4 **11,2 12,8** 9,2 9,2 9,3 7,5  
 7,6 8,5 **14,9**

*Fourré secondaire*

PR2 2,4 3,8 5,9 5,1 9,2 2,6 3,3 9,7 10,6 **11,2 5,4 7,9 16,4 34,5 42,1**  
 6,4 7,7  
 PR1 **16,3** 9,6 11,1 6,3 6,1 4,1 10,6 4,8 **31,3 29,3 22,2 18,5 18,2** 9,3  
 8,4 11,9

*Lisière*

SP21 10,8 10,2 10,0 8,4 8,9 11,5 11,9 **14,1 15,9** 9,7 8,6 9,6 **15,0 13,6**  
**18,8 20,6 17,6**

En romain : valeurs inférieures ou égales à la moyenne ; en caractères gras : valeurs supérieures à la moyenne.

III b. - Test des suites appliqué aux valeurs supérieures et inférieures à la valeur moyenne de l'ouverture relative.

Formation	Forêt de plateau			Galerie	Bosquet	Fourré secondaire		Lisière
Parcelle	P3	PR3	PR4	MS	SP22	PR2	PR1	SP21
Test	-			-	-	-		++
R %	122	111	89	84	65	70	47	44
- : répartition aléatoire (risque 5 %) + : répartition agrégative (risque 5 %) ++ : répartition agrégative (risque 1 %) R % : (Nombre de séquences observées/nombre de séquences théoriques) X 100								

Les histogrammes de fréquence des ouvertures relatives (figure 7) illustrent le fait que les parcelles de fourré bas se caractérisent par une grande amplitude des valeurs observées. Au niveau d'observa-

très contrasté sur le plan horizontal, faisant alterner, à côté de plages d'intensité moyenne, des plages très ouvertes et des plages

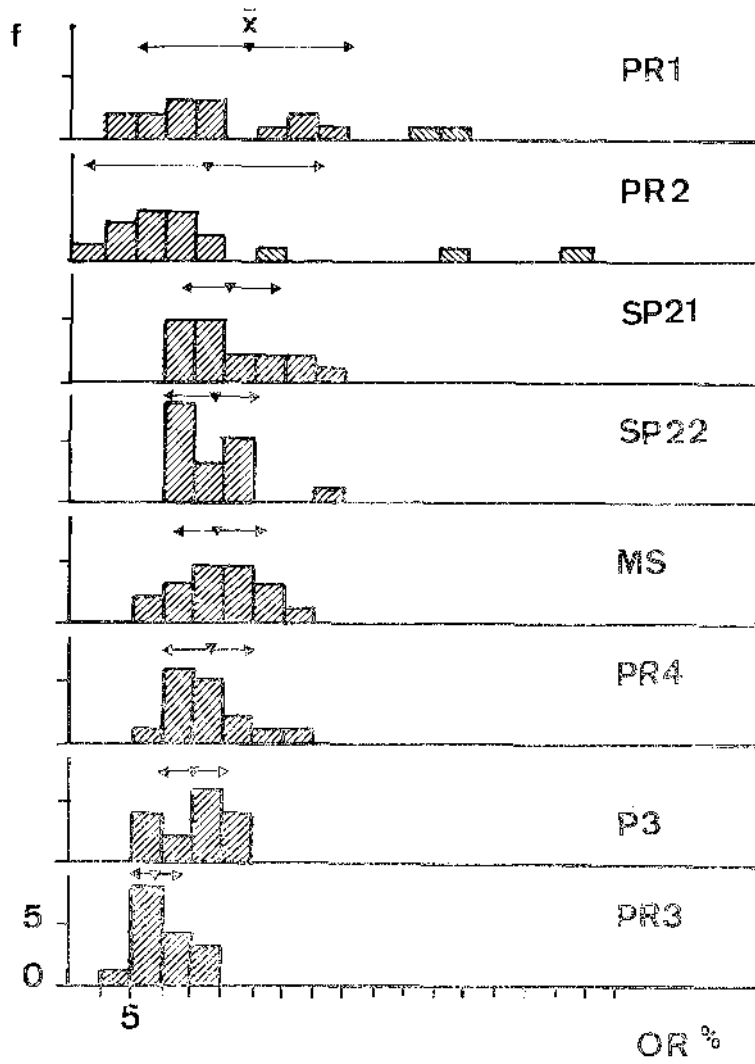


FIGURE 7.  
Histogrammes des fréquences des ouvertures relatives.

très fermées, c'est ainsi que les valeurs les plus faibles de l'ouverture relative  $y$  sont enregistrées. L'amplitude est moins forte dans les formations plus âgées et plus hautes.

#### *Distribution et taille des trouées*

Rappelons ici que les résultats obtenus concernent les valeurs relatives des tailles *de* trouées, observées au niveau 2 m.

Le test des suites rend compte dans tous les cas d'une distribution agrégative des trouées du feuillage. L'examen du rapport du nombre de séquences observées au nombre de séquences théoriques permet cependant *de* nuancer cette appréciation (tableau IV).

Formation	Bosquet	Galerie	Forêt de plateau			Lisière	Fourré secondaire	
Parcelle	SP22	MS	PR3	P3	PR4	SP21	PR1	PR2
NSO	1 850	1 674	1 000	1 342	1 334	1 308	1 224	1 049
ES	2 220	2 329	1 422	1 911	2 104	2 451	2 447	2 227
+ I (95 0)	41,6	43,7	27,5	37,0	41,5	45,9	48,3	40,5
R (%)	83	72	70	70	63	53	50	47
NSO = Nombre de séquences observé ES = Nombre de séquences théorique I = Intervalle de confiance (95 5) R % = (NSO/ES) X 100								

C'est dans le fourré secondaire et en lisière que le caractère agrégatif est le plus marqué — ce qui confirme la présence de trouées de grande taille, — il s'atténue dans les parcelles de forêt de plateau, mais reste cependant assez affirmé sur la parcelle PR4 affectée d'un chablis récent. Enfin le bosquet de savane présente l'agrégativité la plus faible. Ceci est bien illustré par les histogrammes des tailles des trouées (figure 8) dont l'étalement caractérise les fourrés secondaires et la lisière, où la voûte apparaît comme formée de trouées de tailles très différentes, contrairement aux parcelles SP22, MS et PR3 où la taille des trouées est beaucoup plus constante.

Par ailleurs le test F (tableau V) met en évidence des différences significatives entre la taille moyenne des trouées d'une photographie à l'autre sur les relevés de lisière, de fourré secondaire et, dans

une moindre mesure, sur la parcelle PR4 alors que les parcelles de forêt mieux structurée et le bosquet paraissent homogènes de ce point de vue

TABLEAU V.  
Taille des trouées.

Formation	Bosquet	Galerie	Forêt de plateau			Lisière	Fourré secondaire	
Parcelle	SP22	MS	!	P3	PR4	SP21	!	PR2
Moyenne	1,3	1,6	1,5	1,6	1,8	2,2	2,5	2,3
Variance	3,5	4,4	4,2	5,5	7,2	12,6	13,2	21,7
F	0,99	1,58	1,08	1,49	2,80	4,36	8,12	9,04
NDL1	14	16	15	15	15	16	15	17
NDL2	844	869	484	655	651	637	596	563
Test	-	-	-			++	++	+

Test ++ : différence hautement significative entre les valeurs moyennes des tailles de trouées ( $F > F_{0,01}$ )  
 + : différence significative ( $F > F_{0,05}$ )  
 - : différence non significative

2 - CONFRONTATION AVEC LES DONNÉES ARCHITECTURALES D'UN ENSEMBLE DE RELEVÉS

L'étude qui suit porte sur un ensemble d'environ 80 relevés effectués pendant la saison sèche dans les principales formations forestières de la réserve de Lamto .

Sur chaque relevé (10 x 30 ni) trois ou quatre photographies ont été réalisées. En outre un profil de la parcelle a été établi : il est utilisé pour l'analyse architecturale. Les relevés sont répartis en fonction de leur appartenance à telle ou telle classe architecturale préalablement définie. A chacune de ces classes correspond alors une valeur moyenne des paramètres caractérisant le couvert. Ces valeurs moyennes sont comparées à l'aide d'une analyse de variance. Nous avons utilisé ici les valeurs moyennes d'ouverture relative par relevé ainsi que la valeur moyenne des tailles des trouées et de trouées.

La définition des classes architecturales est fondée sur les conceptions d'OLDEMAN (1972) qu'il convient de rappeler.

*Les données architecturales*

Dans sa description des arbres et des forêts, OLDEMAN introduit la notion de *modèle initial*, qui est l'unité architecturale fonamen-

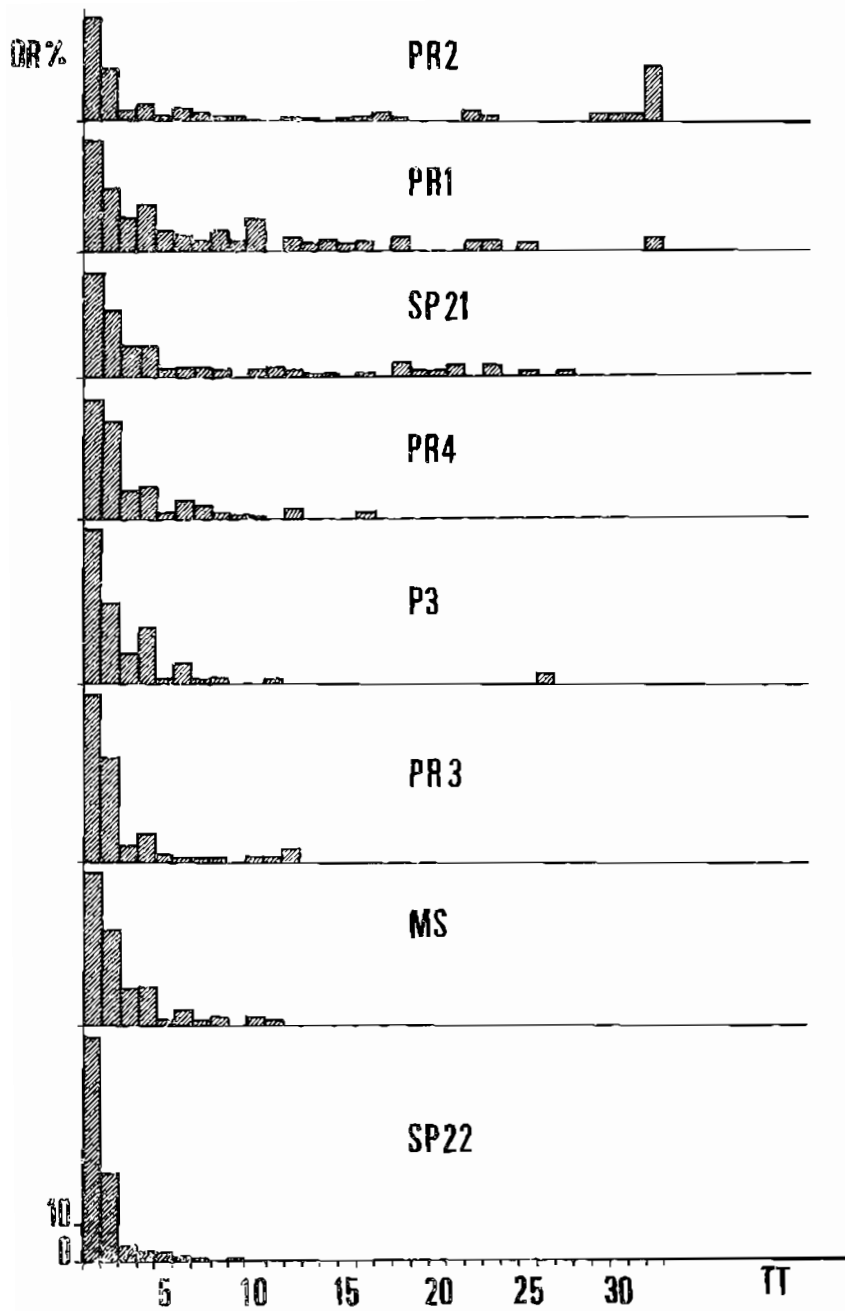


FIGURE 8.

Histogrammes de la contribution des différentes tailles de trouées à l'ouverture relative.

tale. En forêt l'ensemble des arbres conformes au modèle initial, — ou l'ayant peu réitéré —, constitue *l'ensemble d'avenir*, dans lequel subsiste une forte potentialité d'expansion. Les arbres ayant abondamment réitéré leur modèle initial possèdent une potentialité d'expansion faible et constituent *l'ensemble du présent*, — puis du *passé* —, lui même stratifié en ensembles structuraux.

Selon l'« âge » de la station considérée, la « fermeture » du couvert peut être réalisée par l'un, l'autre ou plusieurs des ensembles structuraux et éventuellement, dans des formations en croissance, par des ensembles d'arbres moins bien caractérisés du point de vue de leur appartenance à l'ensemble du présent et qui, d'après ce que l'on peut en connaître par ailleurs, du point de vue notamment de leur architecture, laissent prévoir des possibilités d'expansion importantes (transition avenir - présent).

Les premières fourches marquent des points d'inversion morphologiques au-delà desquels l'arbre réalise son expansion en multipliant le modèle initial. En forêt l'ensemble des points d'inversion permet de caractériser des *surfaces d'inversion morphologique*.

Une formation forestière sur sol homo<sup>s</sup>ène peut être considérée comme une mosaïque de *phases sylvigénétiques* représentant divers stades de reconstitution forestière.

Les notions rappelées très brièvement ci-dessus permettent de décrire d'une manière précise l'architecture forestière.

#### *Description architecturale du relevé*

Le relevé est d'abord caractérisé par le nombre, l'aspect et le niveau moyen approximatif des surfaces d'inversion morphologique qui sont déterminées par l'analyse du profil (tableau VI). Celle-ci peut faire apparaître une ou plusieurs phases sylvigénétiques, chacune d'elles est alors caractérisée (tableau VI) et l'on détermine le nombre et le niveau des ensembles structuraux que l'on peut y discerner, ainsi que l'ensemble de fermeture (tableau VI). Le degré de fermeture est estimé à partir du recouvrement linéaire.

#### *Principaux résultats*

Nous avons successivement comparé (tableau VII) les valeurs du couvert pour les relevés classés selon : le *type de formation* (seuls les relevés ne présentant qu'une seule phase sylvigénétique bien à moyennement structurée ont été pris en compte), la hauteur de *l'ensemble de fermeture*, la *hauteur de la surface d'inversion* la mieux constituée, le *nombre des surfaces d'inversion* (des classes 4 et 5, bien constituées à moyennement perturbées) et enfin le *type de phase sylvigénétique* (déterminé sur les relevés ne présentant qu'une seule phase sylvigénétique).



TABLEAU VI.

## Codage des caractéristiques architecturales.

<i>Caractéristique des surfaces d'inversion morphologiques</i>	
Pas de surface discernable .....	0
Très fragmentaire	1
Fragmentaire	2
Perturbée	3
Moyennement ou légèrement perturbée .....	4
Bien constituée	5
<i>Type de phase sylvigénétique</i>	
Premiers stades de reconstitution ou chablis récent (stades herbacé + ligneux bas) .....	1
Fourré bas .....	2
Fourré bas + établissement des strates supérieures (ou strates supérieures relictuelles )	3
Peuplement unistrate d'arbres jeunes, en croissance .....	4
Perturbée, faiblement structurée .....	5
Faiblement perturbée, moyennement structurée .....	6
Bien structurée	7
<i>Ensemble de fermeture</i>	
Pas d'ensemble de fermeture .....	0
Ensemble structural inférieur	1
Ensemble structural moyen	2
Ensemble structural supérieur	3
Transition avenir - présent .....	4

Aucune différence significative ne peut être mise en évidence si l'on compare les phases les mieux structurées entre les diverses formations (tableau VII-1). En revanche, la mesure est sensible à la diminution apparente de la taille des trouées due à une élévation du couvert (tableau VII-2), et, des différences très significatives apparaissent lorsque l'on considère la répartition des relevés en fonction du nombre des surfaces d'inversion (tableau VII-4). Dans ce dernier cas, les résultats sont très semblables à ceux obtenus à partir d'une caractérisation globale des phases sylvigénétiques (tableau VII-5), ce qui souligne l'intérêt de la notion de surface d'inversion morphologique dans la description architecturale. L'interprétation du tableau VII-3 relatif à la hauteur de la surface d'inversion va dans le même sens. Les relevés, en formation non structurée (LESCURE, 1978), où aucune surface d'inversion n'a pu être décrite (classe 0) se différencient nettement de ceux où une surface d'inversion bien constituée est mise en évidence.

**TABLÉAU VII :**  
Valeurs des paramètres du couvert pour différents facteurs architecturaux  
(saison sèche).

TYPE DE FORMATION						
	120	130	140	F	Test	
DR	$\bar{x}$	2,4	8,3	7,6	0,96	-
	$\sigma$	6,6	1,0	1,7		
TM	$\bar{x}$	1,3	1,5	1,4	0,44	-
	$\sigma$	0,3	0,2	0,2		
VR	$\bar{x}$	3,7	2,5	3,2	0,63	-
	$\sigma$	1,6	0,9	1,2		
NDL1 = 1		NDL2 = 11				

①

HAUTEUR DE L'ENSEMBLE DE FERMETURE								
Mètres		0	2-4	6-8	8-16	16-32	F	Test
DR	$\bar{x}$	10,0	17,8	19,2	13,9	10,1	2,12	-
	$\sigma$	10,7	14,6	1,3	5,7	4,0		
TM	$\bar{x}$	1,2	2,4	3,0	1,0	1,1	3,19	+
	$\sigma$	0,5	1,1	0,5	0,3	0,2		
VR	$\bar{x}$	5,3	4,6	5,1	3,1	3,7	2,93	+
	$\sigma$	2,9	3,3	1,9	1,4	1,0		
NDL1 = 4		NDL2 = 49						

②

HAUTEUR DE LA SURFACE D'INVERSION							
Mètres		0	2-4	6-8	8-16	F	Test
DR	$\bar{x}$	26,3	-	11,1	11,1	20,30	++
	$\sigma$	11,3	-	5,9	6,3		
TM	$\bar{x}$	2,2	-	3,0	1,5	7,06	!
	$\sigma$	0,8	-	0,4	0,1		
VR	$\bar{x}$	5,2	-	3,7	3,4	7,73	++
	$\sigma$	2,7	-	1,7	1,8		
NDL1 = 2		NDL2 = 60					

③

NOMBRE DE SURFACES D'INVERSION (classes 4 et 5)						
	>1	1	0	F	Test	
DR	$\bar{x}$	9,2	10,9	26,3	20,90	++
	$\sigma$	4,7	7,4	11,3		
TM	$\bar{x}$	1,5	1,7	2,0	0,90	++
	$\sigma$	0,4	0,4	0,8		
VR	$\bar{x}$	3,3	5,3	6,2	13,20	++
	$\sigma$	1,5	1,9	2,7		
NDL1 = 2		NDL2 = 61				

④

TYPE DE PHASE SYLVICÉTIQUE						
	I	II	III	F	Test	
DR	$\bar{x}$	29,0	15,1	9,0	15,6	**
	$\sigma$	7,4	9,4	4,1		
TM	$\bar{x}$	2,3	1,7	1,3	5,16	H
	$\sigma$	0,9	0,5	0,2		
VR	$\bar{x}$	6,7	4,5	3,1	7,32	++
	$\sigma$	1,5	2,4	1,2		
NDL1 = 2		NDL2 = 61				

⑤

Légendes :

Type de formation

120 = forêt galerie  
130 = forêt riveraine  
140 = bosquet

Type de phase sylvicétiq

I - tourné bas et premiers stades de reconstitution (classes 1 + 2 + 3)  
II - en croissance ou faiblement structurée (classes 4 - 5)  
III - bien ou moyennement structurée (classes 6 + 7)

$\bar{x}$  = moyenne  
 $\sigma$  = écart type

DR = couverture relative

TM = taille moyenne des trouées

VR = variance relative de la distribution des tailles des trouées

NDL = nombre de degrés de liberté

- = différence non significative

+ = différence significative (au risque de 5 %)

++ = différence hautement significative (au risque de 1 %)

## CONCLUSIONS

Après un défrichement, ou sur des zones de reconquête forestière sur la savane, se constitue après une dizaine d'années, dans la zone des forêts semi-décidues au contact de la savane, un fourré secondaire dont le couvert au niveau 2 mètres se caractérise par une forte hétérogénéité. Si pour ce fourré secondaire, et, d'une manière plus générale, pour toutes les formations peu ou pas structurées, il est difficile d'utiliser les valeurs moyennes d'ouverture relative ou de taille des trouées, étant donné leur grande variabilité, en revanche dans les phases suivantes, à deux mètres, le couvert s'homogénéise comme en témoigne la diminution de la variance et de l'agrégativité des trouées du feuillage. On observe alors une diminution de l'ouverture relative et de la taille des trouées au cours de la succession forestière, résultats comparables à ceux obtenus classiquement lors d'études de séries évolutives (HORN, 1971).

Le fourré secondaire apparaît comme une succession de micro-milieus très différents quant au couvert. Les strates herbacées et de régénération y sont soumises à un climat lumineux contrasté, dû à d'importantes variations des conditions du couvert et à la faiblesse des phénomènes de pénombre (HORN, 1971).

Le tableau VIII donne, à titre indicatif, quelques caractéristiques de la régénération au-dessous de deux mètres, pour deux parcelles

TABLEAU VIII.

Caractéristiques des strates de régénération (0,25 à 2 m).

	Fourré		Forêt secondaire	
	PR1	PR2	PR3	PR4
D (I)	0,8	1,6	17,3	22,9
D (j + h)	0,9	2,1	19,2	29,7
N	15	25	48	58
Ish	3,4	4,2	4,0	4,3
EQ	0,9	0,9	0,7	0,7

D (j) = densité des jeunes d'arbres et de lianes, par m<sup>2</sup>  
D (j+h) = densité des jeunes et herbacées par m<sup>2</sup>  
N = Nombre d'espèces (jeunes et herbacées)  
Ish = Indice de diversité de SHANNON  
 $(Ish = - \sum_{i=1}^Q \frac{Q_i}{Q} \log_2 \frac{Q_i}{Q})$  = effectif total de l'échantillon, Q<sub>i</sub> = effectif de l'espèce de rang i)  
EQ = équitabilité (diversité observée / diversité maximale :  $\frac{Ish}{\log_2 N}$ )

de fourré secondaire PR1 et PR2) et pour deux parcelles de forêt secondaire âgée (PR3 et PR4). On peut penser que le morcellement du milieu est la cause des faibles densité et richesse spécifique des strates de régénération sous le fourré secondaire, en revanche il faut remarquer leur forte équitabilité (DAGET *J.*, 1979). signe, peut être, d'une utilisation optimale des conditions offertes.

### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement M. R. BONHOMME de l'I.N.R.A. pour l'aide amicale qu'il nous a apportée dans la réalisation de ce travail.

### BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS (L.), 1962. — The variable plot tree stem count versus. The photocopymeter as a measure of overstory. *J. Forest.*, 60, 567.
- ANDERSON (M.C.), 1964. — Studies of the woodland light climate: I, the photographie computation of light conditions. *J. Ecol.*, 52, 27-41. II, Seasonal variation in the light climate. *J. Ecol.*, 52, 643-663.
- ANDERSON (M.C.), 1965. — Some problems of simple characterisation of the light climate in plants communities. British Ecological symposium. In : EVANS, Light as an Ecological factor, 77-90. BlackWell Scientific publications (1966).
- ANDERSON (M.C.), 1966. — Stand structure and light penetration. II, a theoretical analysis. *J. Appl. Ecol.*, 3, 41-54.
- ANDERSON (R.C.), LOUCKS (O.L.), SWAIN (A.M.), 1969. — Herbaceous response to canopy cover, light intensity and throughfall precipitation in coniferous forests. *Ecology*, 50 (2), 255-263.
- BECKER (M.), 1971. — Une technique nouvelle d'utilisation des photographies hémisphériques pour la mesure du climat lumineux en forêt. *Ann. Sci. Forest.*, 28 (4), 425-442.
- BLONDEL (J.), FERRY (C.), FROCHOT (B.), 1973. — Avifaune et végétation. Essai d'analyse de la diversité. *Alauda*, 41 (1-2), 63-84.
- BONHOMME (R.), 1970. — L'analyse de la surface foliaire, des taches de soleil, de l'indice foliaire et de l'inclinaison moyenne des feuilles à l'aide des photographies hémisphériques. *Document I.N.R.A.*, Colloque sur la réponse des plantes aux facteurs climatiques. Uppsala, Suède, 15-20 septembre 1970.
- BONHOMME (R.), 1974. — Détermination des profils d'indice foliaire et de rayonnement dans un couvert végétal à l'aide de photographies hémisphériques faites *in-situ*. Thèse, C.N.R.S. A.O. 9675, Université d'Aix-Marseille.
- BONHOMME (R.), CHARTIER (P.), 1972. — The interpretation and automatic measurement of hemispherical photographs to obtain sunlit foliage area and gap frequency. *The Israel J. of Agr. Res.*, 22 (2).

- BRAUN-BLANQUET (J.), 1932. — Plant sociology. Mac Graw Hill Book Cie, New York, 439 p.
- BROWN (G.S.), 1958. — Light in the forest. *Empire Forest. Rev.*, 37, 222-232.
- BROWN (H.E.), 1962. — The canopy camera. Rocky mountain For. and range Exper. Sta., *Station paper*, N° 72.
- BROWN (H.E.), WORLEY (D.P.), 1965. — Some application of the canopy camera in forestry. *J. Forest.*, 63, 674-680.
- BUELL (M.F.), CANTLON (J.E.), 1950. — A study of two communities of the New Jersey pine barrens and a comparison of methods. *Ecology*, 31, 567-586.
- CHARTIER (Ph.), BECKER (M.), BONHOMME (R.), BONY (J.P.), 1973. — Effets physiologiques et caractérisation du rayonnement solaire dans le cadre d'une méthode d'aménagement sylvicole en forêt dense africaine. *Bois et forêts des tropiques*, (152), 19-35.
- CHESSEL (D.), 1975 — Mesure de dispersion spatiale et méthodes d'échantillonnage. Laboratoire de biométrie, Université de Lyon (France). Ronéoté.
- CLARK (F.G.), 1961. — An hemispherical forest photocanopymeter. *J. Forest.*, 59, 103-105.
- CODD (A.R.), 1959. — The photocanopymeter. *West Snow Conf. proc.*, 27, 17-21.
- CURTIS (R.O.), 1970. — Stand density measures : an interpretation. *Forest Sci.*, 16 (14), 403-414.
- COOMBE (D.E.), EVANS (G.C), 1965. — Hemispherical photography in studies of plants. British Ecological symposium. In EVANS, Light as an Ecological factor, 417. Blackwell Scientific publication (1966).
- DAGET (J.), 1979. — Les modèles mathématiques en écologie. Masson et Cie, Paris, 172 p.
- DAUBENMIRE (R.), 1959. — A canopy coverage method of vegetational analysis. *Northern Sci.*, 33, 43-64.
- DESMARAIS (A.P.), VASQUEZ (A.), 1970. — Upper canopy crown closure at El Verde. In : ODUM, A tropical rain forest. Off. inform U.S. Atomic Energy Commission, 3 vol.
- DES DIGUERES (P.), 1971 a. — Le couvert en zone de culture, facteur abiotique pouvant influencer le maintien de la Perdrix grise *Perdix Perdix*. Etude critique des travaux antérieurs et méthode de mesure. Diplôme de conseiller écologiste, Université d'Orléans, (France), 76 p., Ronéoté.
- DES DIGUERES (P.), 1971 b. — L'estimation du couvert. Deux méthodes de mesure optique de la couverture végétale des sols. Union internationale des biologistes du gibier. Actes du X<sup>e</sup> congrès, 3-7 mai 1971, Paris (France).
- DEVINEAU (J.L.), 1975. — Étude quantitative des forêts galeries de Lamto (moyenne Côte d'Ivoire). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Paris (France), 190 p., Ronéoté.
- DEVINEAU (J.L.), 1976. — Principales caractéristiques physiologiques et floristiques des formations forestières de Lamto (moyenne Côte d'Ivoire). *Ann. Univ. Abidjan*, série E (Écologie), 9, 274-303.
- DUCREY (M.), BARTOLI (M.), 1974. — Utilisation des photographies hémisphériques pour le cubage des arbres sur pied. *Ann. Sci. Forest.*, 31 (4), 229-248.

- DUCREY (M.), 1975. — Utilisation des photographies hémisphériques pour le calcul de la perméabilité des couverts forestiers au rayonnement solaire. I, Analyse théorique de l'interception, *Ann. Sci. Forest.*, 32 (2), 73-92. II, Etude expérimentale, *Ann. Sci. Forest.*, 32 (4), 205-221.
- ELWELL (H.A.), WENDELAAR (F.E.), 1977. — To initiate a vegetal cover data bank for soil loss estimation. *Research Bulletin*, N° 23, Department of conservation and extension, Salisbury (Rhodesia), Ronéoté, 42 p.
- EMLÉN (J.T.), 1967. — A rapid method for measuring arboreal canopy cover. *Ecology*, 48 (1), 158-160.
- EVANS (G.C.), 1939. — Ecological studies on the rain forest of southern Nigeria. II, The atmospheric environmental conditions. *J. Ecol.*, 27, 436-482.
- EVANS (G.C.), 1956. — An area method of investigating the distribution of light intensity in woodlands with particular reference to sunflecks, including an analysis of data from a rain forest in southern Nigeria. *J. Ecol.*, 44, 391-428.
- EVANS (G.C.), 1965. — Model and measurement in the study of woodland light climate. British Ecological symposium. In EVANS, Light as an Ecological factor, 53-76, Blackwell Scientific publications (1966).
- EVANS (G.C.), COOMBE (D.E.), 1959. — Hemispherical and woodland canopy photography and light climate. *J. Ecol.*, 47, 103-113.
- EVANS (G.C.), WHITMORE (T.C.), WONG (Y.K.), 1960. — The distribution of light reaching the ground vegetation in a tropical rain forest. *J. Ecol.*, 48, 193-204.
- FRANCIS (E.C.), 1966. — Crowns, boles and timber volume from aerial photographs and field surveys. *Commonw. Forest. Rev.*, 45, 32-66.
- GODRON (M.), 1967. — Délimitation des régions et échantillonnage. Symp. Int. Probl. Théor. Rech. biol. Régionale, académie des Sciences, Bratislava.
- GODRON (M.), 1971. — Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse, C.N.R.S. AO 2820, Montpellier, 247 p.
- GODRON (M.), 1972. — Echantillonnage linéaire et cartographie. *Inv. Pesq.*, 36 (1), 171-174.
- GODRON (M.), DAGET (Ph.), LONG (G.), SAUVAGE (Ch.), EMBERGER (L.), LÉ FLOCH (H.E.), POISSONNET (J.), WACQUANT (J.P.), 1968. — Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Principes et transcription sur cartes perforées. Éd. C.N.R.S., 291 p.
- GOUNOT (M.), 1962. — Etude statistique d'une pelouse à *Brachypodium ramosum* II, étude de la distribution des espèces au moyen d'un test non paramétrique. *Bull. Serv. Carte phytogéographique sér. B*, 7 (1), 65-84.
- GOUNOT (M.), 1969. — Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson (Paris), 314 p.
- GUINOCHET, 1973. — La phytosociologie. Masson (Paris), 227 p.
- GRAH (R.F.), WILSON (C.C.), 1944. — Some components of rainfall interception. *J. Forest.*, 42, 890-898.
- GREIG-SMITH (P.), 1964. — Quantitative plant Ecology. Butterworths, London, 255 p.

- HADFIELD (W.), 1974. — Shade in north east indian plantations. I, Shade pattern. *J. Appl. Ecol.*, *11* (1), 151-178. II, Foliar illumination and canopy characteristics. *J. Appl. Ecol.*, *11* (1), 179-199.
- HALLE (F.), OLDEMAN (R.), TOMLINSON (P.B.), 1978. — Tropical trees and forests. Springer Verlag.
- HARTHORNS (G.S.), 1978. — Tree falls and tropical forests dynamics. In TOMLINSON and ZIMMERMAN, Tropical trees as living systems. Cambridge University press.
- HIERNAUX (P.), 1975. — Etude phytoécologique du pays Baoulé méridional (Côte d'Ivoire centrale). Thèse docteur ingénieur C.N.R.S. A.O. 11957, Montpellier (France).
- HILL (R.), 1924. — A lens for whole sky photographs. *Quart. J.R. Met. Soc.*, *50*, 227-235.
- HORENT (P.), 1977. — Remplacement de la forêt par des plantations de type industriel. Première approche des conséquences bioclimatiques. Diplôme, Université Nationale de Côte d'Ivoire, Faculté des lettres et Sciences humaines, Géographie, Ronéoté.
- HORN (H.W.), 1971. — The adaptive geometry of trees. Princeton University press, Princeton N.J., 144 p.
- HUTCHISON (B.), 1975. — Photographie assesment of deciduous forest radiation regimes. Thesis Ecology, Yale University.
- JOHNSON (P.L.), 1970. — Hemispherical photographs at el Verde. In ODUM, A tropical rain forest, (2), 309-311. Off. inform. serv. U.S. atomic energy commission (3 vol.).
- LEBART (L.), FENELON (J.P.), 1975. — Statistique et informatique appliquées. 3e édition, Dunod, Paris.
- LEMMON (P.E.), 1956. — A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *For. Sci.*, *2* (4), 314-320.
- LE RAY, 1958. — Aspects et possibilités de la photographie aérienne en zone de forêt dense africaine. *Bois et forêts des tropiques* (61).
- LÉ RAY, 1965. — L'interprétation des photographies aériennes verticales en forêt dense tropicale. Photographies aériennes, Panorama intertechniques. Gauthier-Villars, Paris, 237 p.
- LESCURE (J.P.), 1978. — An architectural study of the vegetation's regeneration in french Guiana. *Vegetatio*, *37* (1), 53-60.
- LONG (J.N.), 1977. — Trends in plant species diversity associated with development in a series of *Pseudotsuga menziesii*/*Gaultheria shallon* stands. *Northwest Sci.*, *51* (2), 119-130.
- LONGMAN (K.A.), JENIK (J.), 1974. — Tropical forest and its environment. In : EWER and GWYNNE, Tropical Ecology series. Longman group limited, London.
- MAC ARTHUR (R.H.), MAC ARTHUR (J.W.), 1961. — On bird species diversity. *Ecology*, *42* (3), 594-598.
- MAC ARTHUR (R.H.), HORN (H.S.), 1969. — Foliage profile by vertical measurements. *Ecology*, *50* (5), 802-804.

- MADWICK, BRUNFIELD, 1969. -- The use of hemispherical photographs to assess light climate in forest. *J. Ecol.*, 57 (2), 537-542.
- MÉNAUT (J.C.), 1974. - Le peuplement végétal. In : Analyse d'un écosystème végétal humide, la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). *Bull. liaison chercheurs de Lamto*, N° spécial, (2), 161 p.
- MITCHELL (F.A.), 1929. - Interception by the forest. *J. Forest.*, 28, 101-102.
- MUTOJI A. KAZADI, 1977. - Notes de sylvigénèse pur la Guyane. Transects et photographies aériennes. D.E.A., académie de Montpellier, 35 p., Ronéoté.
- NEAL (D.G.), 1967. - Statistical description of the forests of Thailand. Military research and development center, Bangkok (Thailand). A.R.P.A./ Technical information center.
- NILSON (T.), 1971. - A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands. *Agr. Meteor.*, 8, 25-38.
- NORMAN (J.M.), MILLER (E.E.), TANNÉR (C.B.), 1971. - Light intensity and sunfleck size in plant canopy. *Agr. J.*, 63, 743-748.
- OLDEMAN (R.A.A.), 1972. - L'architecture de la forêt guyanaise. Thèse, académie de Montpellier (France), C.N.R.S. A.O. 7787.
- OLDEMAN (R.A.A.), 1978. - Architecture and energy exchange of dicotyledonous trees in the forest. In : TOMLINSON and ZIMMERMAN, Tropical trees living systems. Cambridge University press.
- RAUNKIAER (C.), 1918. - Recherches statistiques sur les formations végétales. *Biologiske Meddelelser*, 13, 11-78.
- ROLLET (B.), 1974. - L'architecture des forêts denses humides sempervirentes de plaine. Publication C.T.F.T., 300 p., Paris.
- SAUVAGE (Ch.), 1961. - Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. *Trav. Inst. Scient. Chérifien sér. Botanique*, 21, 1-464.
- SPICHIGER (R.), PAMARD (C.), 1973. - Recherches sur le contact forêt-savane en Côte d'Ivoire : Etude du recrû forestier sur des parcelles cultivées en lisière d'un îlot forestier dans le sud du pays Baoulé. *Candollea*, 28, 21-37.
- SUZUKI (T.), SATOO (T.), 1954. - An attempt to measure the daylight factor under the crown canopy using a solid angle projectin<sup>s</sup> camera. *Bull. Tokyo Univ. For.*, 46, 169-180.
- VOIGT (G.K.), 1960. - Distribution of rainfall under forests stands. *Forest, Sci.*, 6, 2-10.
- WALTÉR (3.M.), 1976. - Arbres et forêts alluviales du Rhin. *Bull. Soc. Hist. Nat. Colmar*, 55, 37-88.
- WARREN WILSON (J.), 1959. - Analysis of the spatial distribution of foliage by two dimensional point quadrat. *The New Phytologist*, 58 (1), 92-99.
- WARREN WILSON (J.), 1960. - Inclined point quadrats. *The New Phytologist*, 59 (1), 1-7.
- WHITMORE (T.C.), WONG (Y. K.), 1959. - Pattern of sunfleck and shade light in tropical rain forest. *Malay. Forest.*, 22, 50-62.