

Ecole Nationale Supérieure  
Agronomique de Rennes

Office de la Recherche  
Scientifique et Technique  
Outre-Mer

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

présenté à

L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE RENNES

par

KAKOU TANO

DÉTERMINATION DES BESOINS HYDRIQUES D'UN COUVERT  
FORESTIER D'*HEVEA BRASILIENSIS*

RECHERCHES DES ZONES GÉOGRAPHIQUES À POTENTIALITÉS  
CLIMATIQUES POUR L'HÉVÉA CULTURE

## TABLE DES MATIERES

### I. INTRODUCTION GENERALE

### II. GENERALITES SUR L'HEVEA

#### 2.1. La botanique de l'hévéa

##### 2.1.1. Le système végétatif

##### 2.1.2. Le système racinaire

#### 2.2. Ecologie de l'hévéa

##### 2.2.1. Exigences climatiques

##### 2.2.2. Les caractéristiques édaphiques

###### 2.2.2.1. Le relief

###### 2.2.2.2. La profondeur, caractéristiques physiques et chimiques du sol.

#### 2.3. Production de latex

##### 2.3.1. La nature du latex

##### 2.3.2. La saignée de l'arbre

### III. METHODOLOGIE

#### 3.1. Considérations théoriques

##### 3.1.1. Analyse des échanges radiatifs

##### 3.1.2. Analyse du bilan d'énergie

##### 3.1.3. Analyse du bilan hydrique

#### 3.2. Expérimentation

##### 3.2.1. Lieu géographique

##### 3.2.2. Dispositif expérimental.

#### IV. RESULTATS - DISCUSSION

4.1. Etude des échanges radiatifs

4.2. Etude de l'évolution des différents termes du bilan d'énergie.

4.3. Etude de la corrélation LE - Rn

#### V. ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE.

5.1. La réserve hydrique, le stade phénologique du feuillage dans leur rapport avec la production de caoutchouc.

a. L'évapotranspiration standard : ETo.

b. L'évapotranspiration réelle : ETR.

c. La feuillage dans leur rapport avec la production de caoutchouc.

#### VI. APPLICATION A LA DETERMINATION DE REGION PRESENTANT UNE POTENTIALITE POUR L'HEVEACULTURE DU POINT DE VUE CLIMATOLOGIQUE.

#### VII. CONCLUSION GENERALE.

## REMERCIEMENT

Ce travail a été effectué sous la direction de Monsieur MONTENY qui m'a accordé toutes les facilités pour le mener à bien.

Je tiens à le remercier ici de l'aide efficace et des précieux conseils qu'il a bien voulu me prodiguer.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma reconnaissance à Madame Claire Marie BERNOS pour son aide précieuse, ainsi qu'à Monsieur YAPI K. Raymond qui a réalisé avec beaucoup de soins les graphiques.

Je tiens aussi à remercier la Direction du Centre qui m'a permis d'effectuer ce travail au Laboratoire de Bioclimatologie.

Enfin, mes remerciements vont à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

LISTE DES SYMBOLES UTILISES

Symboles	Dénomination	Unités
a	albedo	S.U.
cp	chaleur massique de l'air à pression constante	1,005 10 <sup>3</sup> J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
d	densité du latex	S.U.
D	rayonnement solaire diffus	W.m <sup>-2</sup>
D	eau de drainage	mm
dc	différence de concentration en vapeur d'eau de l'air entre deux niveaux de mesures	kg.m <sup>-3</sup>
dT	différence de température entre deux niveaux de mesure	mb.
E	quantité d'eau liquide perdue sous forme d'évapotranspiration	°C
e	pression réelle de vapeur d'eau dans l'air	mm j <sup>-1</sup>
ETM	évapotranspiration réelle maximale	mb. <sup>-2</sup>
ETR	évapotranspiration réelle	Wm <sup>-2</sup> ou mm j <sup>-1</sup>
ETo	évapotranspiration standard	Wm <sup>-2</sup> ou mm j <sup>-1</sup>
ETa	pression maximale de vapeur d'eau à la température de l'air	mm j <sup>-1</sup> ; Wm <sup>-2</sup>
G	flux conductif de chaleur à la surface du sol	mb. <sup>-2</sup>
Hd	réserve hydrique disponible	W.m
I	quantité d'eau d'irrigation	mm
K <sub>v</sub> , K <sub>H</sub> , K <sub>co2</sub>	Coefficient de diffusivité turbulente de vapeur d'eau, de chaleur et de co <sub>2</sub>	mm
L	chaleur latente de vaporisation de l'eau	m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
L	litrage récolté de latex	2440 J g <sup>-1</sup> (25°C)
P	Pluie	l
P'	pente de la courbe de pression saturante pour une température donnée	mm
Rg	rayonnement global (250 à 2800 nm)	mb C <sup>-1</sup>
Rr	rayonnement réfléchi (250 à 2800 nm)	W.m <sup>-2</sup>
Ra	rayonnement atmosphérique (> 3000 nm)	W.m <sup>-2</sup>
S	flux de chaleur sensible	W.m <sup>-2</sup>
Trx	température du point de rosée au niveau x	W.m <sup>-2</sup>
Ts	température de la surface du sol	°C
v	vitesse du vent	°C
de	différence de tension de vapeur d'eau entre deux niveaux de mesure.	m/s

SYMBOLES GRECS

ε	émissivité de la surface considérée	S.U.
γ	constante psychrométrique	0,67 mb°C <sup>-1</sup> (25°C)
β	rapport de Bowen	S.U.
ρ	masse volumique de l'air	g.m <sup>-3</sup>
σ	constante de Stefan - Boltzmann	5,67.10 <sup>-8</sup> w.m <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup>
Δw	variation du stock hydrique du sol.	mm.

## RESUME

L'évapotranspiration réelle d'un couvert d'hévéa a été évaluée par la méthode du bilan d'énergie - rapport de BOWEN pour différentes journées typiques du cycle végétatif.

Il a été montré qu'avec l'assèchement du sol, l'évapotranspiration réelle diminue ; par contre quand l'eau du sol n'est pas facteur limitant, 80 à 90 % de l'énergie absorbée est utilisée dans le processus d'évapotranspiration.

L'évapotranspiration journalière et le rayonnement net sont bien corrélés ; il en est de même du rayonnement global et du rayonnement net.

L'évolution de la production en caoutchouc montre une dépendance de cette dernière vis à vis de la réserve hydrique du sol ; elle chute quand le sol s'appauvrit en eau et augmente pour une bonne alimentation hydrique.

Ce comportement s'interprète comme étant la conséquence d'une réduction du métabolisme de l'hévéa en période de sécheresse. Aussi, la stimulation ne semble pas avoir d'effet sur la production pour une réserve hydrique du sol insuffisante.

Un moyen de calcul de l'évapotranspiration réelle a été proposé où un coefficient de modulation  $c$  intègre l'effet de la réserve hydrique du sol, du développement du système racinaire et de l'âge physiologique du feuillage et dans lequel l'impact des facteurs climatiques est réduit au rayonnement net, seul facteur présentant un caractère limitant en région tropicale humide. Ce modèle est utilisé pour la détermination de zones présentant des potentialités pédoclimatiques favorables à l'hévéaculture.

## I. INTRODUCTION GENERALE

Des 10 millions d'hectares de forêt qu'il y avait en Côte d'Ivoire, on en compte un peu moins de 4 millions à l'heure actuelle. En effet, pour promouvoir l'économie nationale, depuis les années dix neuf cent soixante, les plantations de café, de cacao, de palmier à huile, d'ananas, pour ne citer que celles-là se sont créées un peu partout, allant des petites plantations paysannes aux grandes plantations industrielles.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'hévéaculture qui occupe une place de plus en plus importante dans le développement national.

A partir du latex produit par l'hévéa, on obtient le caoutchouc naturel. Des lors l'intérêt de l'hévéaculture est certain en raison de l'importance du caoutchouc dans l'industrie. Cette substitution de la forêt naturelle par des cultures pérennes de type du cacao, du café et de l'hévéa entraîne des modifications des interactions qui existaient entre le couvert et l'atmosphère, exerçant un effet sur les paramètres climatiques. Mais l'hévéa étant une plante exigeante en eau, tant au stade de croissance qu'au stade de production, des études climatologiques s'imposent afin de mieux connaître l'effet des stress hydriques sur le comportement physiologique de l'arbre et sur la production du latex.

Le but de ce travail est d'estimer les besoins hydriques de l'hévéa et d'essayer de déterminer les régions présentant les grandes potentialités pédoclimatique pour l'hévéaculture. Dans ce cadre, l'analyse des interactions sol-plante-atmosphère nous permettra de tirer des renseignements sur le comportement physiologique de la plante en fonction du changement de certains paramètres climatiques et de la réserve en eau du sol afin de mieux cerner les possibilités d'adaptation de la culture. Le plan de cette étude se présente comme suit :

En premier lieu nous essayerons de caractériser l'hévéaculture tant au point de vue botanique, localisation écologique que production de latex.

Nous étudierons ensuite l'équilibre sol-hévéaculture-climat par le biais de mesures détaillées de bilan énergétique effectuées lors de journées caractéristiques et selon différents stades physiologiques du feuillage.

Nous passerons alors à l'intérêt pratique de cette étude en proposant un calcul d'évapotranspiration réelle de l'hévéaculture qui permettrait de déterminer les zones écologiques les plus susceptibles d'accueillir cette culture.

## II. GENERALITES SUR L'HEVEA

### 2.1. La botanique de l'hévéa

L'hévéa est un arbre dicotyledonne, atteignant 25 m de haut à l'âge adulte, originaire d'Amérique du Sud, qui a été introduit dans le Sud-Est asiatique à partir d'une collection de semences faites au Brésil (Mc FADYEAN, cité par WILLIAMS C.N. 1979).

#### 2.1.1. Le système végétatif

La figure 1 montre les différents aspects extérieurs de l'arbre. Les éléments importants, de point de vue production sont la circonférence du tronc et l'épaisseur de l'écorce. L'écorce de l'arbre (fig. 2), comme chez la plupart des arbres, comprend un cambium qui produit vers l'intérieur le bois et vers l'extérieur le phloème, au sein duquel se différencient les cellules laticifères. Celles-ci s'amastomosent entre elles formant des "vaisseaux". Le cambium ayant une activité cyclique (3 à 4 croissances par an), il se forme une série de manteaux laticifères concentriques.

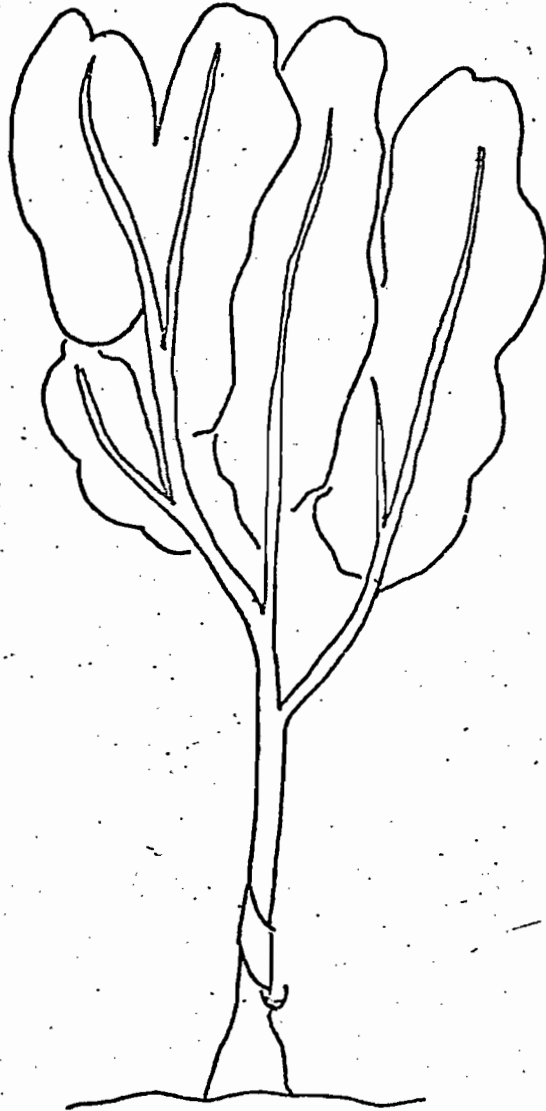
L'hévéa est un arbre à feuilles caduques. La face supérieure de la feuille possède une plus forte densité de stomates que la face inférieure.

Le jaunissement suivi de la chute des feuilles se situe vers la fin janvier pour aboutir à une défoliation complète au mois de février; La réfoliation s'effectue au mois de mars. La croissance de l'hévéa se fait avec la refoliation par une élongation des tiges et branches de 20 à 35-45 cm.

#### 2.1.2. Le système racinaire

OTOUL, cité par NINANE (1970), après des études de l'enracinement à Yangambi (Zaïre) conclut que l'hévéa a un système racinaire bien développé, en grande partie superficiel,





**Fig 1: Caractéristiques extérieures de l'hevea(clone GT1)**

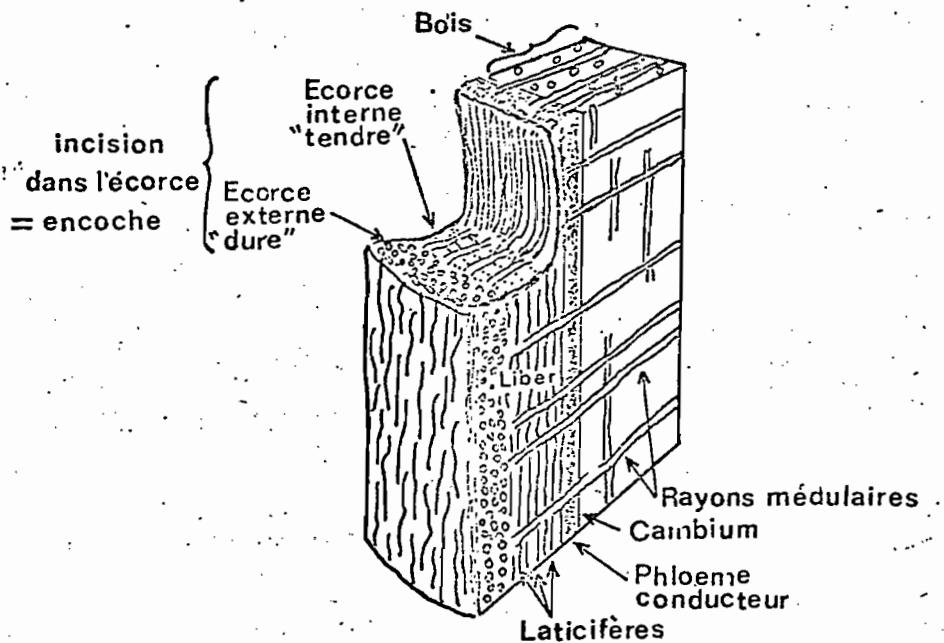


Fig.2 Bloc diagramme montrant de façon schématique, l'organisation générale de l'écorce d'*hevea brasiliensis* au niveau de l'encoche.

Source: d'après C. Hebant; C. Dervic et E. de Fay, 1981.

la plupart des radicelles se trouvant dans les 30 premiers centimètres du sol. Il souligne l'importance du pivot qui joue le rôle d'ancrage et de stock de matières nutritives. MONTENY (1981) ayant remarqué que l'hévéa ne réduisait que progressivement sa consommation en eau dans des conditions de sécheresse, a émis l'hypothèse que le pivot jouerait un rôle non négligeable dans l'alimentation hydrique en pompant l'eau dans les couches profondes du sol (3-4 m). Quoi qu'il en soit, dans les conditions d'alimentation hydrique normale, les radicelles jouent le rôle principal, fait que nous avons observé lors de la formation de chevelu racinaire dense à la surface du sol avec des pluies assez fréquentes peu après la saison sèche.

## 2.2. Ecologie de l'hévéa

L'hévéa est un arbre rustique et capable d'une bonne adaptabilité. Il peut se développer dans toutes les forêts de la zone intertropicale ayant une pluviométrie supérieure à 1800 mm et nécessite des sols profonds.

Comme la plupart des arbres, ses performances dépendent de sa croissance, de sa sensibilité aux maladies, et d'un métabolisme satisfaisant.

### 2.2.1. Exigences climatiques

- Pluviométrie : l'hévéa préfère les climats ne comportant pas de longues saisons sèches, mais une importante pluviosité (2000-3000 mm), avec un minimum de 1500 mm, bien répartie dans l'année.
- Une hygrométrie élevée favorise l'écoulement du latex et maintient le taux de transpiration à un niveau plus faible.
- La température, quand elle se situe entre 24 et 28°C est idéale pour l'hévéa, du fait qu'elle favorise l'écoulement du latex. Toutefois, ces conditions : température et forte humidité de l'air favorisent le développement des champignons qui nuisent à la croissance de l'hévéa.
- Insolation : l'hévéa supporte 1500 à 2000 heures d'insolation par an. Une bonne insolation favorise la photosynthèse et la croissance.

## 2.2.2. Les caractéristiques édaphiques

### 2.2.2.1. Le relief

Un terrain accidenté peut présenter des risques d'érosion par conséquent une diminution de la fertilité du sol et une augmentation des coûts d'exploitation.

L'idéal pour une plantation d'hévéa est un sol plat.

### 2.2.2.2. La profondeur, caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Le développement du pivot exige un sol profond. La texture la plus souhaitable est argilo-sableuse avec un bon drainage et une aération favorable. Les sols très argileux ou trop sableux, les sols hydromorphes ou à nappe phreatique très proche de la surface sont déconseillés. Le pH du sol doit être acide (4,5-5,5).

Une teneur convenable en P, K, Mg et Ca est requise de même que la présence des oligoéléments.

## 2.3. Production de latex

Les études de COOK et SEKHAR, cités par PAKIANATHAN (1979) ont montré après centrifugation que le latex n'est autre qu'un contenu cytoplasmique et formé de trois phases : une phase surnageante formée de particules de caoutchouc occupant 55 % du volume ; en dessous de celle-ci une autre plus dense (près de 35 % en volume du latex) englobe le cytoplasme cellulaire et toute la machine enzymatique et la troisième est formée des lutoïdes (vacuoles) et constitue 10 % du volume total du latex.

### 2.3.2. La saignée de l'arbre

Quand le latex était récolté dans la forêt amazonienne, la saignée consistait à taillader l'écorce des arbres (WILLIAMS (1979)). Les récents travaux de RIDLEY (cité par WILLIAMS) ont permis d'établir une technique moderne de saignée.

Elle consiste à couper une fine couche d'écorce de manière à blesser les vaisseaux laticifères qui libèrent leur contenu tout en évitant d'endommager le cambium qui assurera la régénération de l'écorce.

L'entaille peut se faire de haut en bas suivant une spirale complète ou une demi-spirale, ou de bas en haut suivant une demi spirale, de gauche à droite avec une inclinaison de 30° pour permettre au latex de couler vers le récipient.

Le latex est recueilli dans des bols reposant sur des bagues accrochées à l'arbre.

D'une manière générale, les arbres sont saignés lorsqu'ils présentent une circonférence de 50 cm et quand deux cents arbres par ha ont atteint cette circonférence.

### III. METHODOLOGIE

L'analyse du comportement d'un système biologique nécessite l'étude des interactions qui gouvernent son état d'équilibre. Cet équilibre provient des échanges tant radiatifs qu'énergétiques qui ont lieu à l'interface du système.

#### 3.1. Considérations théoriques

##### 3.1.1. Analyse des échanges radiatifs

Le bilan radiatif au dessus d'un couvert s'écrit :

$$R_n = R_g - R_r + h_a - \epsilon \sigma T_s^4 \quad (1) \quad \text{ou en posant } a = \frac{R_r}{R_g}$$

$$R_n = (1 - a) R_g + R_a - \epsilon \sigma T_s^4 \quad (1')$$

avec  $R_n$  : rayonnement net ;  $R_g$  : rayonnement global,  $R_a$  : rayonnement atmosphérique et  $R_r$  rayonnement réfléchi.

Le but de cette analyse est d'établir une relation entre le rayonnement net et le rayonnement global.

L'intérêt d'une telle relation est d'estimer le rayonnement net (dont la mesure est assez complexe et demande beaucoup de soins) à partir de mesures plus simples du rayonnement global ou de la durée d'insolation. Ces paramètres étant généralement mesurés au niveau d'un parc météorologique classique.

##### 3.1.2. Analyse du bilan d'énergie

L'étude du bilan d'énergie permet de déterminer le devenir du rayonnement absorbé dont une partie est utilisée par la plante pour la transpiration et pour la photosynthèse. Le bilan énergétique d'une culture s'écrit sous sa forme simplifiée :

$$R_n + LE + S + G = 0 \quad (2).$$

G : flux de chaleur à la surface du sol, LE flux de chaleur latente et S : flux de chaleur sensible. Les flux sortant du système sont considérés comme négatifs, les flux entrants, positifs.

Le rayonnement net et le flux conductif à la surface du sol sont mesurés directement.

Les flux de chaleur latente et sensible peuvent s'écrire, respectivement :  $LE = LKv \frac{dc}{dz} = \frac{\rho cp}{\gamma} Kv \frac{de}{dz}$  (3)

$$S = \rho cp KH \frac{dT}{dz} \quad (4).$$

Nous supposons que les conditions sont uniformes à l'horizontale, de manière à pouvoir évaluer LE et S à partir des profils verticaux, connaissant les gradients de, dT, et dz. Ces conditions sont réalisées compte tenu de l'importance de la superficie de la plantation d'hévéa.

Le rapport de BOWEN ( $\beta$ ) (BLACKWELL et TyLDESLEY 1965) exprimé par le rapport  $\beta = \frac{S}{LE} = \frac{\rho cp KH \frac{dT/dt}{\rho cp / \gamma Kv \frac{de}{dt}}}{\gamma \frac{dT}{de}}$  (5) permet de s'affranchir

de K si l'on admet l'hypothèse de similarité  $KH = Kv = Kco_2$  (DYER 1967, DENMEAD et Mc ILROY 1970).

Dès lors  $LE = (Rn-G)/(1+\beta)$  (6) ; s peut être considéré comme étant le terme résidu et  $s = -Rn-LE-G$ . (7)

### 3.1.3. Analyse du bilan hydrique

Comme tout autre bilan, le bilan hydrique traite des entrées et des sorties d'eau. L'eau est apportée sous forme de pluies (P) ou d'irrigation (I), perdue par évaporation directe du sol et de la transpiration des plantes (ETR), par ruissellement (R) et drainage (D). Il inclut ainsi la variation du stock d'eau du sol,  $\Delta W$ , de sorte que le bilan hydrique d'une culture peut s'écrire :

$$P + I - R - D - ETR + \Delta W = 0. \quad (7).$$

Pour l'établissement de ce bilan, nous avons adopté les hypothèses suivantes : (BROCHET, P. ; GERHIR N. 1975)..

- a - la totalité des précipitations s'ajoute à la réserve actuelle du sol pour constituer l'eau disponible qui alimente l'évapotranspiration sans dépasser 200 mm.

- b. L'évaporation joue, sans restriction, jusqu'à concurrence de l'ETM tant que l'eau disponible est supérieure ou égale à la réserve de survie ( $RS = R_U - R_{FU}$ ) : R.U. : réserve utilisable, R<sub>FU</sub> réserve facilement utilisable. R.S. : réserve de survie.
- c. Dès que ce seuil est franchi ( $H_d < RS$ ,  $H_d =$  réserve disponible  $H_d = r + P$  où  $r$  est la réserve réelle en début de la période d'étude), des contraintes freinent la circulation de l'eau vers la plante, et réduisent le taux d'extraction dans le rapport de cette réserve disponible à la réserve de survie.
- d. Si au cours de la période considérée, (la decade dans notre cas) la différence entre la réserve disponible et l'évapotranspiration, (alors égale à ETM) est supérieure à la réserve utilisable, le surplus alimente la percolation (D). Le sol étudié, homogène, est recouvert d'une culture d'hévéa dense à enracinement profond, La végétation adventice est pratiquement inexistante. On peut donc admettre que toute l'eau du sol est disponible pour l'hévéa.

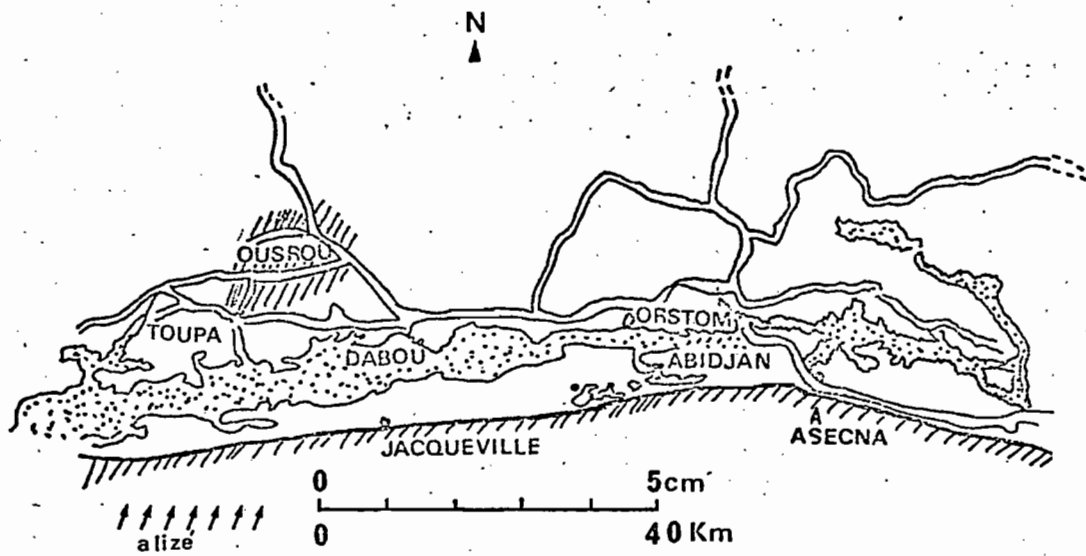
### 3.2. Expérimentation

#### 3.2.1. Lieu géographique

Le présent travail a été réalisé en Côte d'Ivoire. La plantation d'hévéa est située à Ousrou, à 57 km à l'ouest d'Abidjan (cf. carte).

Le sol d'Ousrou, selon FRITSCH, (communication personnelle) est un sol ferrallitique, développé sur sable tertiaire, poreux et coloré par la matière organique dans les horizons supérieurs, avec une structure peu développée et une porosité moyenne. Il se décompose de la manière suivante :

- 0 à 35 cm : horizon brun-noir (humifère) à structure massive avec une ébauche d'agencement massive subanguleux et une texture argileuse.
- 35 - 55 cm : horizon brun-jaune (humifère), à structure compacte caractérisé par une texture fortement argileuse et une cohésion moyenne à forte.



Situation géographique de l'hévéaculture (en hachuré)



55 - 90 cm : imbrication ocre et brun jaune (pénétration humifère) structure massive, texture moins argileuse et présence de sables fins et grossiers, induisant une forte porosité.

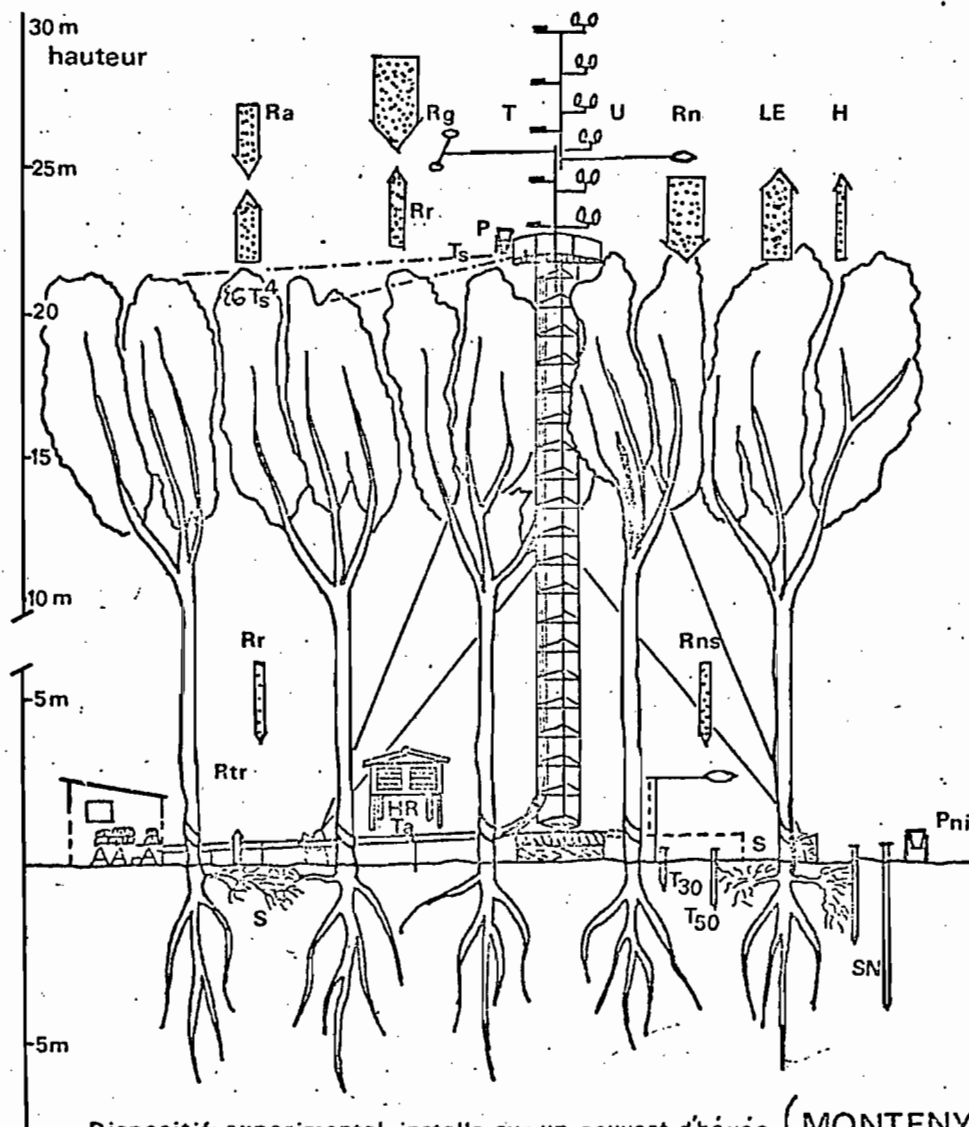
90 - 120cm : horizon ocre vif à structure massive et à texture fortement argileuse avec présence de sables fins et grossiers et une porosité moyenne.

Le climat de la région, du type tropical humide est caractérisé par deux saisons de pluies (mai-juillet et octobre-novembre) et deux saisons sèches (décembre-avril ; août-septembre) avec un vent dominant de secteur S-SW qui apporte une forte quantité de vapeur d'eau (>30 mb). (ELDIN 1971). La plantation très homogène, a une superficie de 9000 ha, répartie en blocs de 25 ha séparés par des pistes permettant la collecte du latex.

### 3.2.2. Dispositif expérimental (cf. schéma)

La station de mesure a été implantée au centre de la plantation d'un bloc de 25 ha. Elle comprend une tour haubannée de 22 m de haut, comportant une nacelle au niveau du couvert et un abri au sol où sont installés les appareils enregistreurs.

Les rayonnements solaires global ( $R_g$ ) et réfléchi ( $R_r$ ) sont mesurés à l'aide de pyranomètres thermoélectriques (KIPP et ZOUEN) maintenus en position horizontale par un bras, à 4 m au dessus du couvert. Le bilan des rayonnements  $R_n$  est mesuré à l'aide d'un pyrrodibilanmètre (SCHENK) disposé également à 4 m au-dessus de la canopée, quant à la température de surface  $T_s$ , elle est enregistrée par un radiothermomètre (BARNS). L'ensemble de ces appareils et leurs intégrateurs ont été étalonnés au préalable. Les profils de vitesses de vent ont été réalisés à l'aide d'anémomètres sensible CASELLA (T16110) dont le seuil de démarrage est de l'ordre de 0,1 à 0,15  $ms^{-1}$ . Ils sont fixés à des montants perpendiculaires au mât télescopique qui permet d'ajuster leur hauteur (MONTENY et al., 1979). Les températures ont été mesurées à l'aide de thermocouples cuivre-constantan par rapport à la température de la glace fondante. Chaque thermocouple avec son enregistreur a été étalonné au préalable. Parallèlement, l'air est prélevé à 2 niveaux avec deux pompes à membrane (débit : 120l/mn) pour la mesure directe de leur température du point de rosée à l'aide d'un hygromètre à effet Peltier, ainsi que de leur concentration en gaz carbonique.



Dispositif expérimental installé sur un couvert d'hévéa (MONTENY-1981)

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Rg: rayonnement global           | LE: flux de chaleur latente de vaporisation                   |
| Rr: rayonnement réfléchi         | H: flux de chaleur sensible                                   |
| Ra: ——— atmosphérique            | S: flux de chaleur entrant dans le sol                        |
| $\epsilon G T_s^4$ ——— terrestre | T <sub>30</sub> -T <sub>50</sub> température du sol à 30-50cm |
| Rn: bilan des rayonnements       | SN: tubes de sonde à neutron                                  |
| Rt: rayonnement transmis         | Ta: HR température et humidité relative                       |
| Rtr: ——— réfléchi par le sol     | T: profil de température                                      |
| P: Pni pluviomètres              | U: profil des vitesses de vent                                |

Le flux de chaleur conductif à la surface du sol G est enregistré par un fluxmètre (SRi 9) installé à 3 cm de profondeur entre deux rangées d'arbres. Toutes ces tensions captées sont transmises à des intégrateurs disposés dans le laboratoire. La précision de ces intégrateurs est de  $\pm 0,5 \%$

Toutes les 15 minutes, l'acquisition des données permet une intégration et une impression des données enregistrées. Un ordinateur Hp 41C sert au traitement des données et fournit à chaque instant les valeurs des différents termes du bilan d'énergie.

La teneur en eau du sol est obtenue par pesée avant et après séchage à  $105^\circ$  pendant 48 h du sol prélevé tous les 25 cm sur une profondeur de 3 m.

#### IV. RESULTATS - DISCUSSION

##### 4.1. Etude des échanges radiatifs

Le rayonnement net est le plus important paramètre climatique utilisé dans les formules météorologiques d'estimation des pertes en eau des cultures tant dans la méthode combinée (PENMAN 1948) que dans la méthode du rapport de BOWEN (TANNER 1960 ; FRITSCHEN 1965).

Compte tenu de la difficulté qui réside dans la mesure du rayonnement net, une relation permettant sa détermination à partir du rayonnement global serait d'un grand intérêt pratique.

Dans ce but, nous avons essayé d'établir une relation entre le rayonnement net ( $R_n$ ) et le rayonnement solaire global ( $R_g$ ) pour différentes périodes de l'année. (cf. fig. 3)

Les équations obtenues sont (valeurs instantanées en  $Wm^{-2}$ )

$R_n = 0,72 R_g - 4$ ;  $r = 0,99$  phase feuillée (réfoliation et feuille âgée) 28-12-82 (8)  
air océanique et 11-04-83

$R_n = 0,8 R_g - 50$ ;  $r = 0,98$  avant de foliation 17-01-83  
air continental.

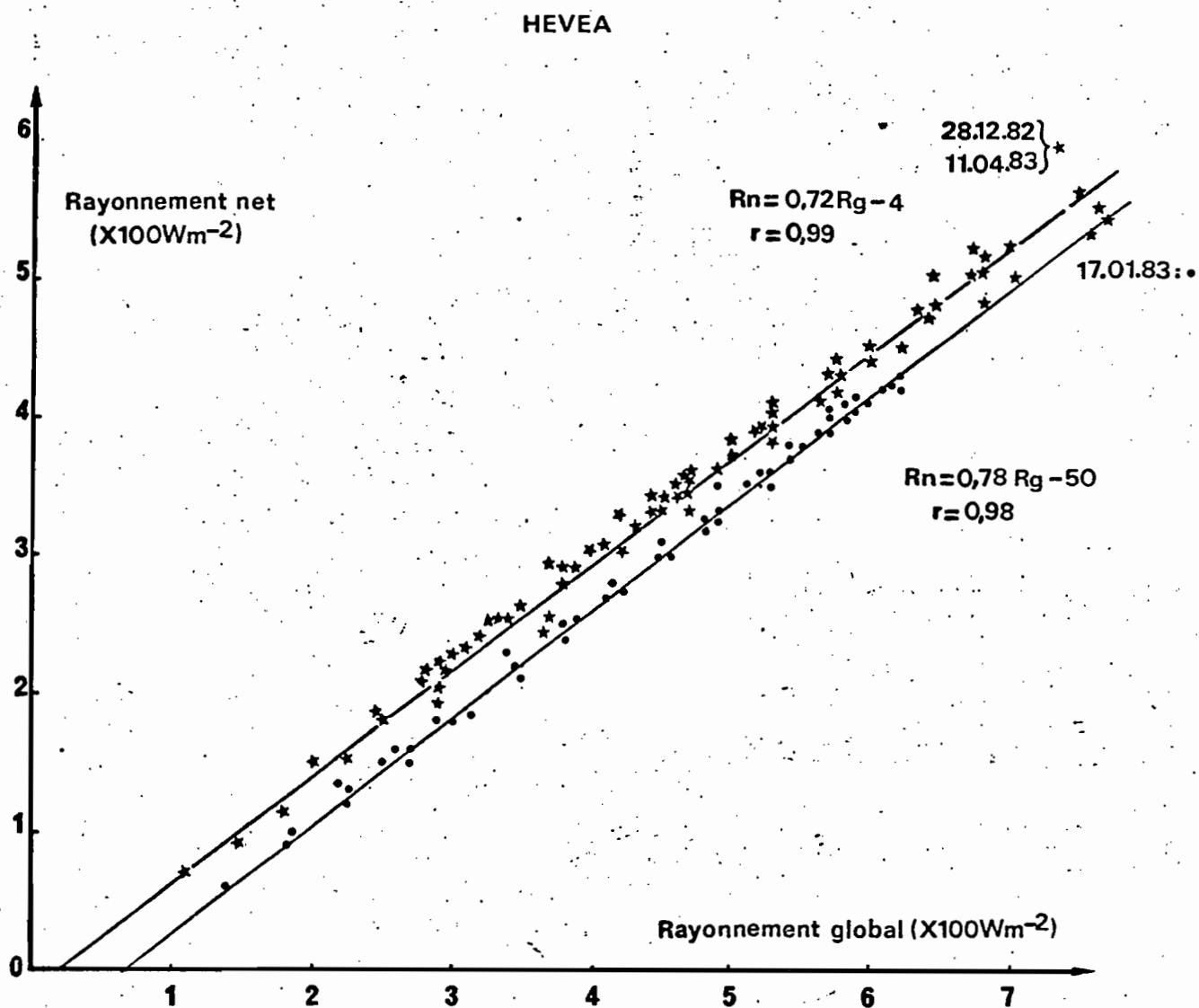


Fig 3 : Relation entre le bilan radiatif  $R_n$  et le rayonnement global  $R_g$

D'autres résultats obtenus précédemment sont du même ordre de grandeur (MONTENY et *al.*, 1981).

$R_n = 0,70 R_g + 0,8; r = 0,99$  ( $W.m^{-2}$ ) pour la phase feuillée.

$R_n = 0,62 R_g + 4,0; r = 0,99$  ( $W.m^{-2}$ ) pour la phase defeuillée.

La différence constatée entre les pentes est liée à la variation de l'albedo en relation avec l'état végétatif du couvert (cf. fig 4) et aux caractéristiques atmosphériques (concentration de vapeur d'eau). En effet, la figure 4 montre l'évolution de l'albedo à différentes époques de l'année. La réflexion de l'énergie dépend de la déclinaison solaire (14.12 et 17.04) et de l'état végétatif du couvert végétal (feuillé - defeuillé)

Juste avant et pendant la période de défoliation, la quantité d'énergie absorbée  $R_n$  est inférieure de 10 % à celle de la phase feuillée. Par ailleurs, la différence de pente peut être également attribuée au bilan des grandes longueurs d'onde qui varie selon la quantité de vapeur d'eau contenue dans la masse d'air alors que la température de surface du système est quasi identique. En effet, des études antérieures, (MONTENY 1976) ont montré que le rayonnement atmosphérique est dû en grande partie à la vapeur d'eau contenue dans l'air, et qu'il est en étroite corrélation avec la pression partielle "e" de vapeur d'eau des basses courbes de l'atmosphère - (TRIPLET J.P. et ROCHE, G. 1979). Les nuages, quant à eux, s'ils sont épais, se comporteraient comme des corps noirs et leur émission dépendrait de la température de leur surface (émissivité maximale  $\epsilon = 0,97$ ). Ainsi, pour des périodes de ciel nuageux (ex : journées du 28-12 ; 17-04) très courants en basses Côte d'Ivoire, avec des concentrations élevées vapeur d'eau dans l'atmosphère, ( $e > 30$  mb), on constate une élévation de la température du ciel et donc du rayonnement atmosphérique, ce qui contribue à augmenter le bilan des grandes longueurs d'onde. Au contraire, durant la période de l'har-mattan, la concentration de vapeur d'eau devient faible (5-8 mb), (donc peu de nuages), le rayonnement atmosphérique se réduit, amoindrissant le bilan des rayonnements de grandes longueurs d'onde.

L'analyse du bilan radiatif, nous permis de constater que l'albedo d'un couvert est sujet à des variations pendant le cycle de la culture considérée et que l'abondance de vapeur d'eau et des nuages agit essentiellement sur le bilan des grandes longueurs d'onde. Leurs effets conjugués exercent donc une influence sur le bilan radiatif ( $R_n$ ).

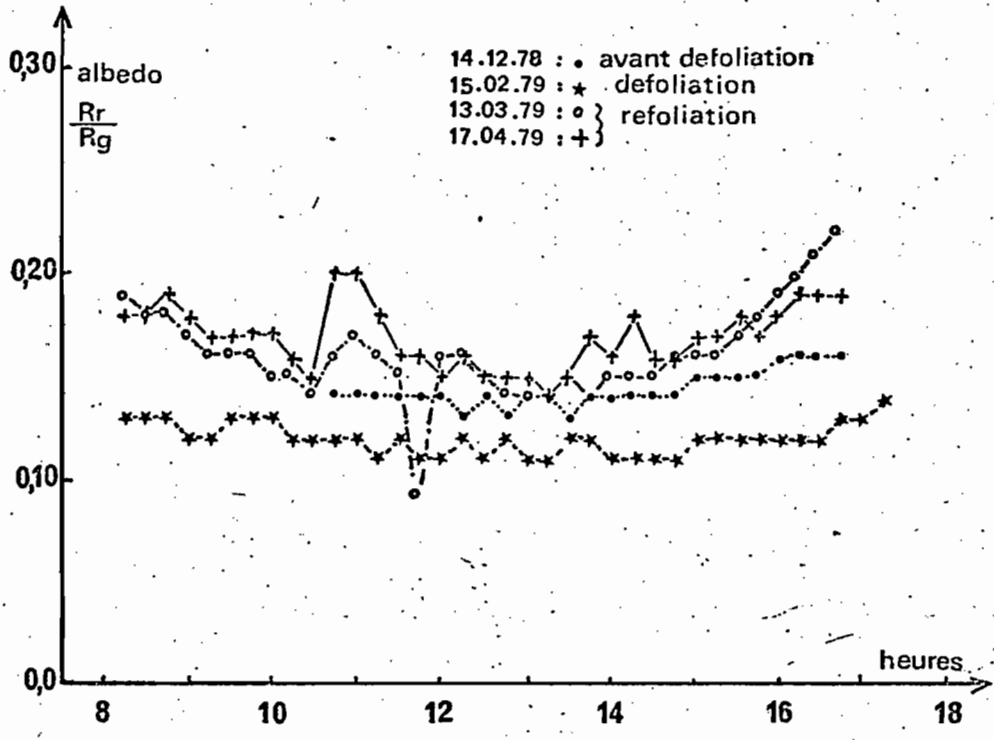


Fig.4 Evolution de la fraction d'énergie réfléchie (albedo) au cours de la journée en fonction de l'état végétatif du couvert  
Source:Monteny et al 1981.

#### 4.2. Etude de l'évolution des différents termes du bilan d'énergie

Les figures 5 à 8 présentent l'évolution des différents termes du bilan d'énergie LE, S, G, au cours de 4 journées typiques de l'année en basse Côte.

11.04.83

Le couvert est refolié depuis un mois et LE, l'évapotranspiration réelle, peu élevée, ne représente que 65 % de  $R_n$ , ce qui est à mettre en relation avec l'eau dans le sol qui est peu abondante (pF 3,5). Les premières pluies n'ont débuté que vers le 31.03 et le chevelu racinaire n'est pas encore développé, impliquant une faible absorption de l'eau. En effet, l'année précédente, 85 % de l'énergie absorbée était restitué sous forme de vapeur d'eau à l'atmosphère, en relation avec les pluies abondantes et l'importance du chevelu racinaire.

28.12.82

La repartition de l'énergie absorbée est différente de celle du début de la refoliation malgré une alimentation hydrique satisfaisante par le sol.

L'évolution de la température du point de rosée, en forme de cloche en avril montre bien une réduction de l'apport de vapeur d'eau dans l'atmosphère au cours de l'après midi par la végétation du fait d'un manque d'eau. Il n'en est pas de même en décembre malgré la bonne alimentation hydrique. Nous pensons que l'activité physiologique du feuillage semble s'être considérablement réduite en relation avec l'âge. LE représente seulement 48 % du rayonnement net, ( $R_n$ ), le restant de l'énergie absorbée étant restitué à l'atmosphère sous forme de chaleur (S).

7.01

L'harmattan, vent sec et chaud d'origine continentale, provoque une modification de l'équilibre végétation-atmosphère liée à l'importance du déficit de vapeur d'eau. Cette sécheresse entraîne une augmentation de la transpiration du couvert végétal bien que l'alimentation hydrique soit déficiente (pF = 4,2 jusqu'à 1,2 m). L'évapotranspiration réelle, LE représente 90 % du rayonnement net et ce malgré l'âge des feuilles.

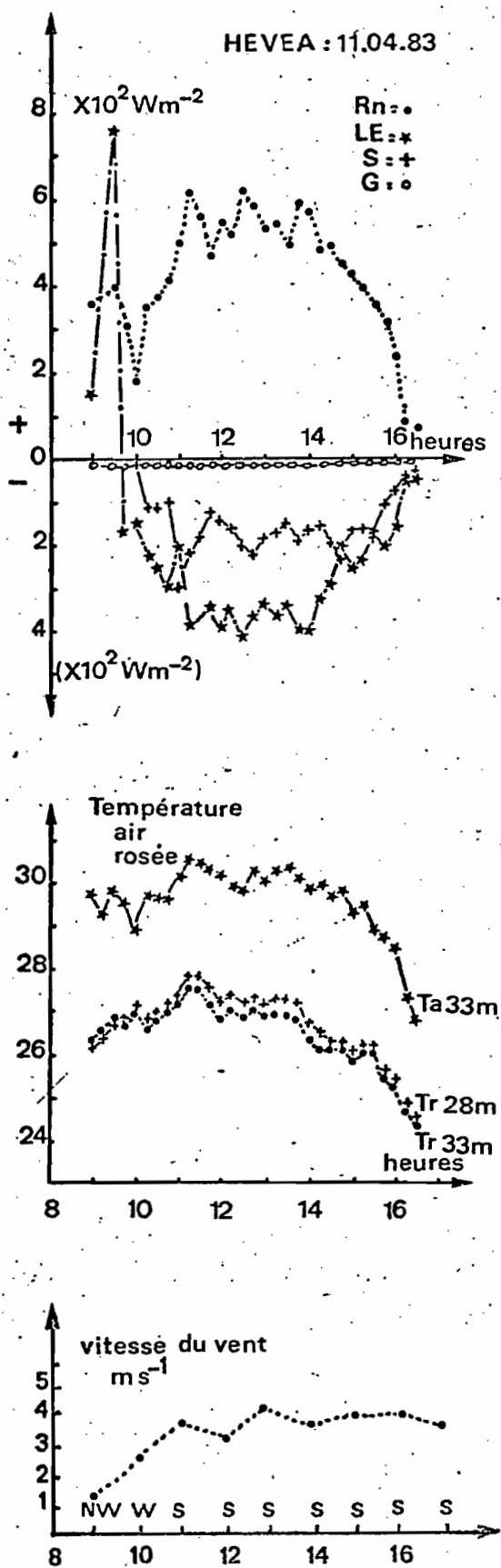


Fig. 5 Evolution des différents termes du bilan d'énergie d'un couvert d'hevea correctement alimenté en eau



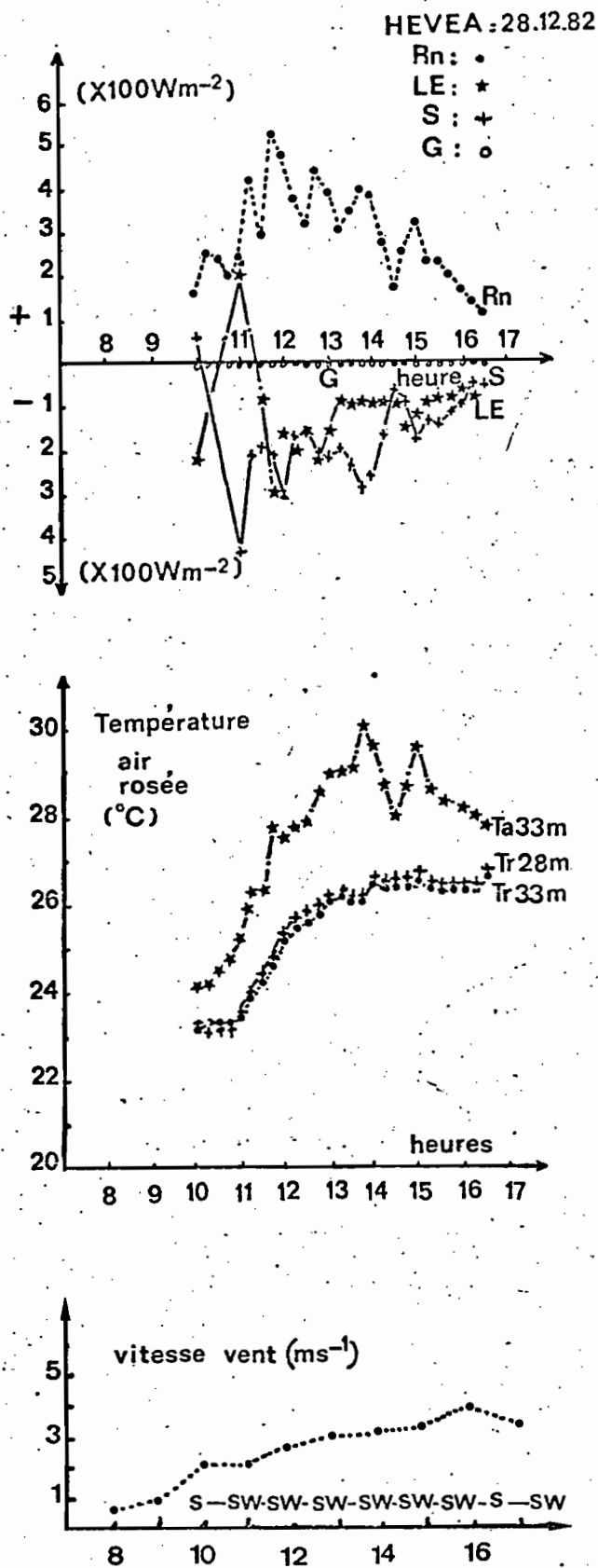


Fig.6 Evolution des échanges d'énergie avec une masse d'air océanique au dessus de la canopée.

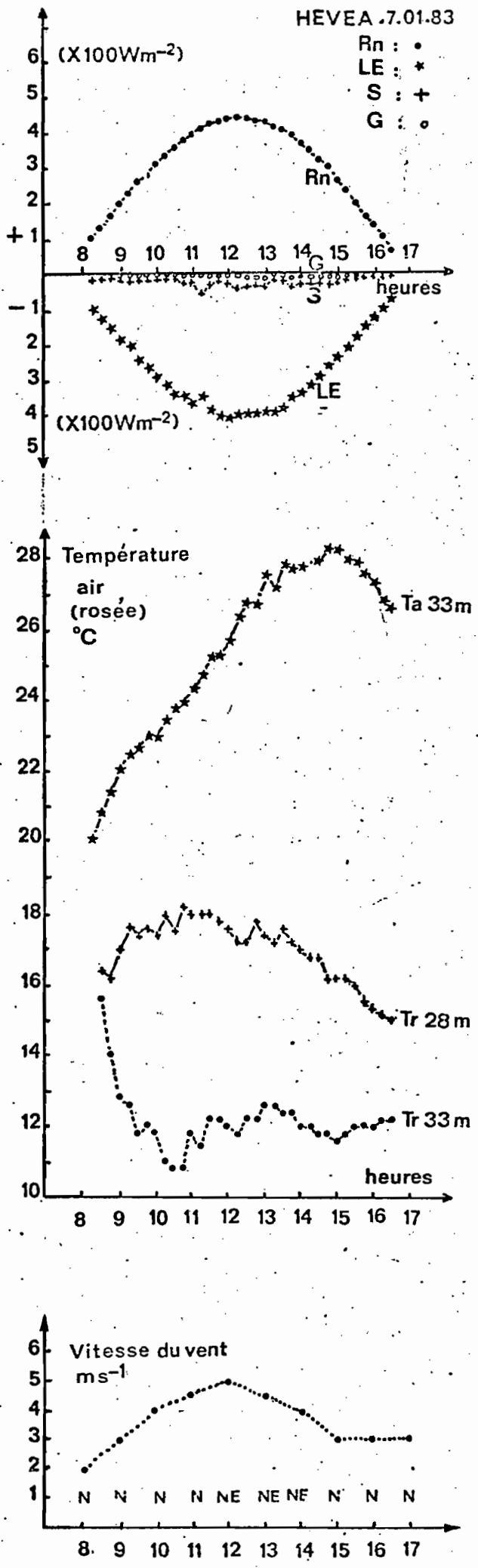


Fig. 7. Evolution des échanges d'énergie au cours de l'harmattan (vent sec et chaud) masse d'air continental.

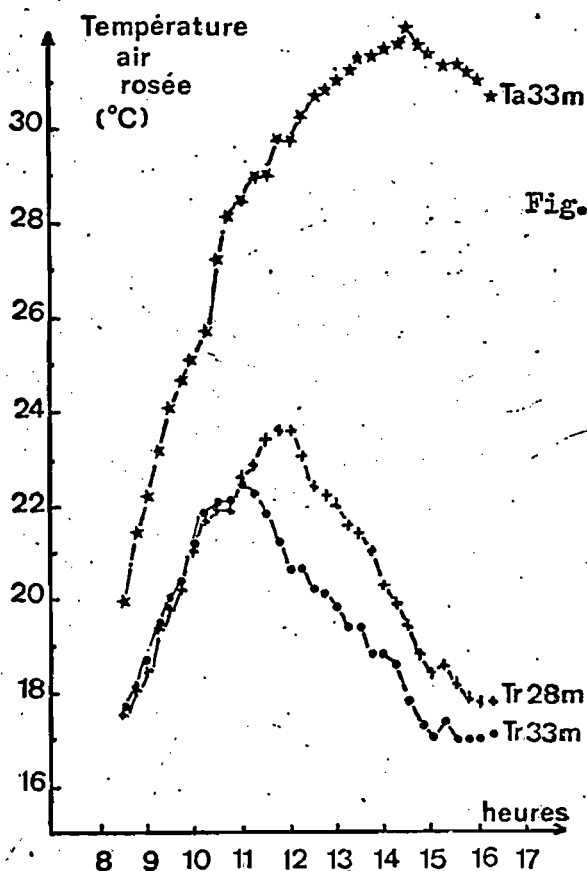
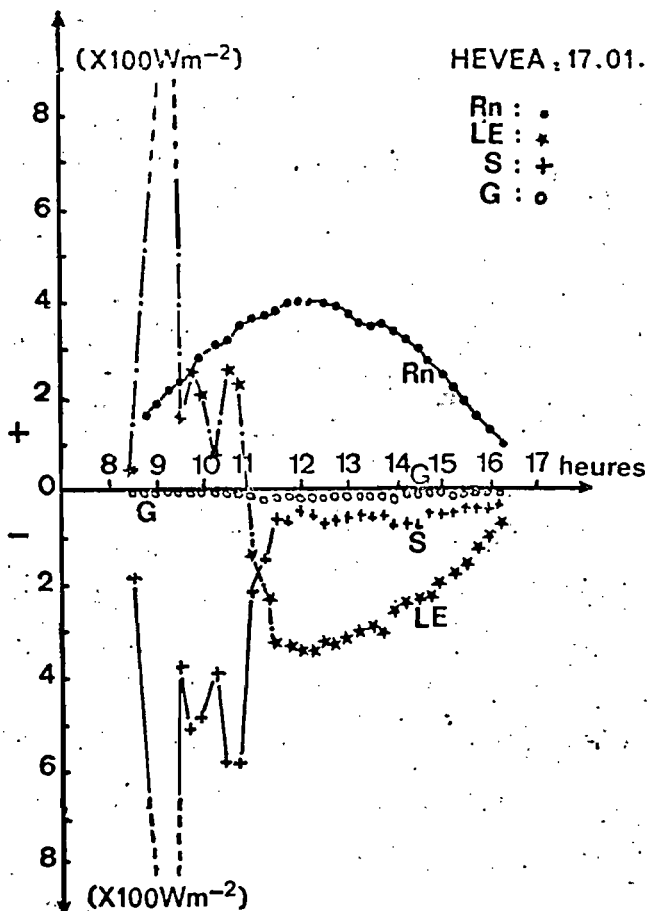
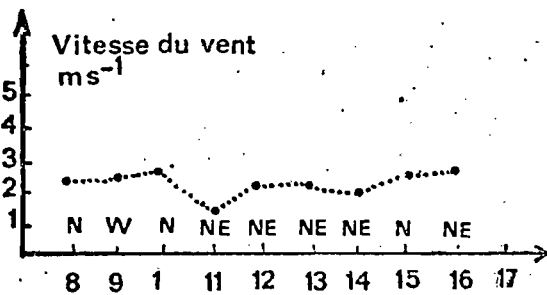


Fig.8 Evoluton des flux au dessus de la canopée d'hevea et de certains caractéristiques des masses d'air.

☁ brouillard le matin  
- harmattan l'après midi.



Il semble que l'arbre peut pomper l'eau en profondeur grâce à son système pivotant.

le 17 janvier

L'assèchement du sol est plus marqué qu'au 7 janvier puisqu'il n'a pas plu depuis ce jour. Le système végétatif est à la limite du front d'air humide d'origine maritime et de celui sec d'origine continental. (FIT). Le refroidissement nocturne de l'air humide provoque la condensation de la vapeur d'eau. Il s'en suit la formation de brouillards et de rosée. La dissipation des brouillards des masses d'air de la zone forestière entraînées par le vent du Nord provoque une inversion des températures du point de rosée ( $Tr_{33m} > Tr_{28m}$ ), ce qui entraîne d'importantes fluctuations des flux de chaleur latente (LE) et sensible (S). L'air continental sec vient modifier l'équilibre vers 11 h et l'évapotranspiration augmente mais nettement moins que le 7 janvier. En effet, l'eau dans le sol devient un facteur limitant.

### Interpretation

Dans la matinée, l'évaporation du brouillard et la brise de mer produisent un effet d'advection sur le site de mesure par l'apport de vapeur d'eau au dessus de la canopée, ce qui se traduit par l'inversion au niveau des températures du point de rosée.

En régime de vent océanique bien établi (28-12 et 11-04) les échanges entre l'atmosphère et la communauté végétale sont dominés par l'évapotranspiration, en relation avec la disponibilité en eau du sol et l'âge du feuillage. En régime transitoire les changements de direction des masses d'air engendrent un déséquilibre momentané au niveau des échanges. C'est le cas du 17.01 et 11.04 où les masses d'air originaires de la zone forestière chargées de vapeur d'eau par vaporisation des brouillards provoquent une inversion des températures du point de rosée.

L'évolution de la température du point de rosée, en forme de cloche à ces 2 dates indique une augmentation de la vapeur d'eau de l'air, liée à l'évapotranspiration des couverts végétaux dans les masses d'air maritime.

De cette étude du bilan d'énergie, nous pouvons retenir que :

- le flux de chaleur conductif dans le sol est très faible et peut donc être négligé.
- dans les bonnes conditions d'alimentation hydrique, l'hévéa consomme 75 à 85 % du rayonnement absorbé dans le processus de transpiration foliaire.
- dans les zones tropicales humides, (28 <math>e</math>32 mb) le principal responsable de l'évapotranspiration est l'énergie solaire.
- l'âge des feuilles semble jouer un rôle prépondérant dans les processus d'échange - vapeur d'eau et gaz carbonique.
- il semble que le système racinaire pivotant de l'hévéa participe activement à l'alimentation hydrique de l'arbre, fait mis en évidence quand la réserve hydrique du sol dans les 120 premiers cm est faible.

#### 4.3. Etude de la corrélation LE - Rn.

Précédemment, nous avons souligné l'intérêt de la détermination d'une relation reliant le rayonnement net,  $R_n$ , et le rayonnement global,  $R_g$ , dans l'estimation de la consommation en eau d'une culture. L'utilisation de cette relation est immédiate si l'on connaît la relation  $LE = f(R_n)$  qu'il est possible d'obtenir à partir des valeurs instantanées de l'évapotranspiration et du rayonnement net.

La figure 9 donne les relations obtenues au cours de journées typiques de la saison végétative de l'hévéa culture.

Il apparait que :

- le 28 décembre, (la saison sèche a commencé depuis un mois) la pente de la droite  $LE = f(R_n)$  est faible (0,48). Les plantes n'utilisent donc que 48 % de l'énergie absorbée pour la transpiration.
- le 17 janvier, malgré qu'on soit en pleine saison sèche, 82 % de l'énergie absorbée est utilisée pour la transpiration.
- alors que le 11-04, malgré les premières pluies annonciatrices de la grande saison des pluies ; (80 mm), la pente de la droite  $LE = f(R_n)$  prend une valeur intermédiaire : (0,65).

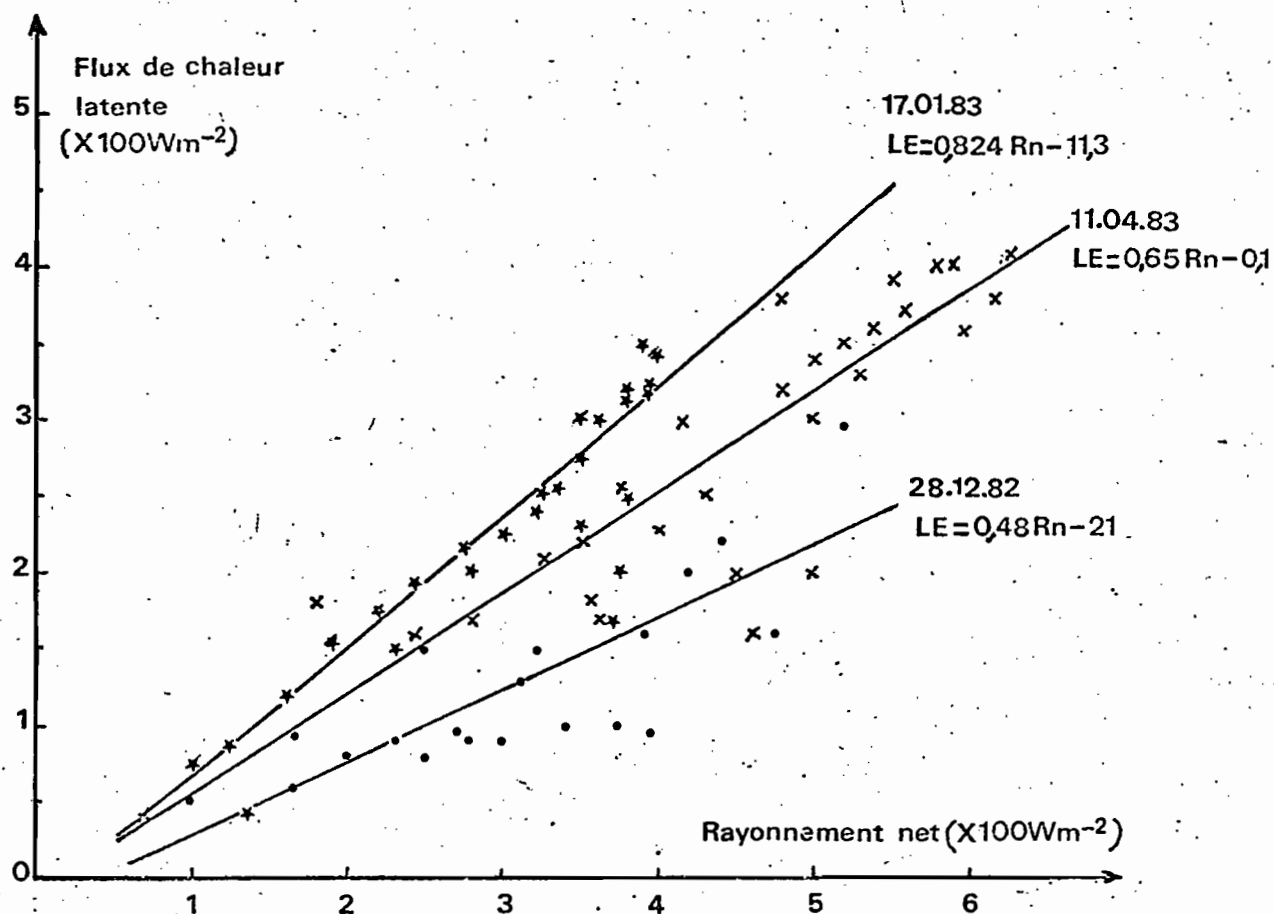


Fig 9 : Relation entre le bilan énergétique et le flux de chaleur latente

Pour tenter de comprendre les différentes pentes obtenues, nous retiendrons deux facteurs importants : la teneur en eau du sol et l'âge des feuilles qui semblent être effectivement à la base des variations de la transpiration de l'hévéa. En effet, la faible valeur de la pente de la droite reliant LE et Rn en décembre s'explique principalement par l'âge physiologique du feuillage qui se trouve à moins d'un mois de la défoliation.

Le 17.01, avec un déficit hydrique plus marqué au niveau du sol et un feuillage proche de la défoliation, 82 % de l'énergie absorbée est utilisé pour la transpiration. C'est la preuve qu'un autre facteur vient modifier l'équilibre sol-plante : il s'agit de l'harmattan, vent sec et chaud, d'origine continentale. Son pouvoir évaporant de l'air est très élevé par suite d'un déficit considérable de tension de vapeur d'eau de l'air (déficit de tension de vapeur d'eau  $\approx$  30 mb). La relation LE/Rn du 11 avril, malgré de jeunes feuilles est de 0.65. Cette valeur, comparativement faible par rapport à celles des années précédentes, est due au retard des pluies, la première ayant eu lieu le 31 mars. Le chevelu racinaire en cours de développement fait que l'absorption de l'eau par l'arbre ne peut se faire activement.

Globalement, nous pouvons retenir que :

- en période sèche, comme la plupart des plantes, l'hévéa réduit sa consommation en eau.
- l'état physiologique de la feuille chez *Hevea brasiliensis* joue un rôle considérable dans la transpiration.
- le stade de développement du système racinaire latéral a un impact sur son alimentation hydrique.

## V. ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE

L'intégration des valeurs instantanées sur la période de la journée est intéressante dans le but de corréliser ces mesures aux données climatiques observées au niveau des parcs météorologiques. Ainsi, l'utilisation de certaines formules à caractère climatique permet la détermination de l'évapotranspiration réelle des cultures (PENMAN, BLANEY-CRIDDLE, TURC...). Celle qui est actuellement la plus usitée de par son caractère physique est celle de PENMAN :

$$ET \text{ Penman} = \frac{P'}{P'+\gamma} \frac{(Rn-G)}{L} + \frac{\gamma}{P'+\gamma} 0,26(1+0,54 v) (E_{Ta}-e) \quad (8)$$

(mmj<sup>-1</sup>)

avec P' : pente de la courbe de tension saturante de vapeur d'eau à la température de l'air.

γ : la constante psychrométrique.

v : la vitesse du vent

E<sub>Ta</sub> : la tension maximale de vapeur d'eau pour la température de l'air.

e : la tension de vapeur d'eau moyenne de l'air

L : chaleur latente de vaporisation de l'eau.

et qui dans le contexte climatique de basse côte peut se simplifier

$$E_{To} = \left( \frac{P'}{P'+\gamma} \right) \frac{R_n}{L} \quad (\text{mmj}^{-1}) \quad (\text{MONTENY et al., 1981}) \quad (9)$$

Compte tenu des résultats observés au paragraphe 4-3, l'introduction d'un coefficient c qui tient compte du facteur végétal devrait permettre d'exprimer l'évapotranspiration du couvert sous la forme  $ETR = C \left( \frac{P'}{P'+\gamma} \right) \frac{R_n}{L}$  (mm-1) (10)

Cette formulation, relativement simple, qui réduit l'influence du climat à l'énergie radiative disponible, et qui résume celle de la culture dans un coefficient cultural C, a été largement utilisée depuis quelques années, dans de nombreuses conditions naturelles (DAVIES et Mc ALLEN, 1973 ; DENMEAD et Mc ILROY (1970), PRIESTLEY et al., 1972, WILSON et ROUSE 1972), avec des valeurs de c qui fluctuent entre 1,08 et 1,34 pour une moyenne de 1,26. Connaissant le rapport LE/Rn, comme il a été précédemment réalisé, on peut obtenir la valeur de c soit  $C = \frac{LE/P'}{R_n/P'+\gamma}$ .

Les valeurs du coefficient c obtenues sur un grand nombre de données expérimentales sont présentées au tableau ci-dessous.

Feuillage	eau du sol	valeurs de c	mois
jeune	80-150 mn	0,85<c<1,0	mars-avril
jeune	150-200 mn	0,95<c<1,1	avril-août
jeune	80-150 mn	0,75<c<0,9	sept.octobre
âgé	150-200 mn	0,5<c< 0,8	nov. déc.
âgé	80-150 mn	1,0<c< 1,25 (harmattan)	déc. janvier
âgé	<80 mn	0,4<c<0,6	janvier

Tableau 1 : Valeurs des coefficients de modulation C  
Source : MONTENY et al., 1983.



Ces valeurs appellent quelques commentaires :

- En mars-avril, c a une valeur légèrement inférieure à l'unité. Elle se traduit par le fait que les racines superficielles ne sont pas totalement mises en place et de ce fait la plante n'a pas encore atteint sa pleine capacité de pompage de l'eau du sol.
- En saison des pluies (avril-août), avec de jeunes feuilles et le système racinaire bien développé, c atteint une valeur proche de l'unité.
- La chute de la valeur de c en sept-oct. est consécutive à un début de vieillissement du feuillage et à l'appauvrissement en eau du sol pendant la petite saison sèche.
- En nov-décembre, le déficit hydrique du sol est important et le vieillissement du feuillage plus accusé, ce qui a pour effet une valeur de c comprise entre 0,5 et 0,8.
- La valeur relativement élevée du coefficient c (1,25) en décembre-janvier malgré les vieilles feuilles et la faible teneur en eau du sol s'explique par la présence de l'harmattan dont l'effet du déficit de tension de vapeur d'eau est important sur les échanges hydriques, accroissant l'évapotranspiration comme nous l'avons constaté.
- Par contre, la valeur faible (0,4-0,6) en janvier est due à l'assèchement du sol et à l'âge des feuilles.

#### La production en rapport avec le bilan hydrique

Les données climatiques et de production de latex utilisées dans cette étude ont été collectées entre 1980 et 1983 à la station de mesure de Toupa, village implanté au sein de la plantation d'hévéa de 3000 ha.

Les mesures de rayonnement global se font à l'échelle journalière. La production a été calculée suivant la formule  $Pr = dxLxDRC$  où d représente la densité du latex, L le litrage récolté et DRC (dry rubber content) poids de caoutchouc contenu dans 100 litres de latex.

Dans la decade, l'estimation de la production, sans l'influence de la stimulation, a été réalisée en considérant les deux récoltes les plus éloignées de la date de stimulation.

a. L'évapotranspiration standard : ETo

L'évolution de ETo est quasiment la même, d'une année à l'autre (1980 ; ETo = 905 mm ; 1981 : ETo = 948 mm ; 1982 : ETo = 923 mm). Cependant, au sein d'une même année, ETo présente des variations, d'un mois à l'autre. (cf fig 10)

En effet, fonction du bilan radiatif ou rayonnement net, l'évapotranspiration standard varie suivant l'importance de l'ennuagelement du ciel.

De ce fait, les périodes à fort ennuagement telles que les saisons sèches seront caractérisées par une faible valeur de ETo, et les saisons pluvieuses d'une valeur relativement grande. C'est le cas de la période mars-avril dont la valeur maximale de ETo correspondrait à un rayonnement net élevé, consécutif au nettoyage du ciel par les premières pluies de la grande saison des pluies.

Ainsi, les valeurs faibles obtenues en janvier et juillet-août s'expliquent par l'important ennuagement du ciel à ces périodes et qui occulte le couvert végétal.

Des valeurs moyennes sont obtenues de septembre à novembre marquant la petite saison pluvieuse où le ciel est moins couvert qu'en saison sèche.

Cette étude de l'évapotranspiration standard nous a renseigné globalement sur l'évolution de la consommation en eau d'un couvert végétal dans des conditions d'alimentation hydrique satisfaisante (donc régulation stomatique de la part du végétal) et en dehors des facteurs relatifs au stade végétatif et physiologique du couvert végétal.

Elle nous a permis de savoir que la consommation en eau d'une culture est essentiellement fonction du rayonnement disponible.

L'introduction d'un coefficient de modulation C intégrant les facteurs réserve hydrique du sol, âge physiologique du feuillage et développement du système racinaire dans le calcul de l'évapotranspiration nous donnera de plus amples précisions.

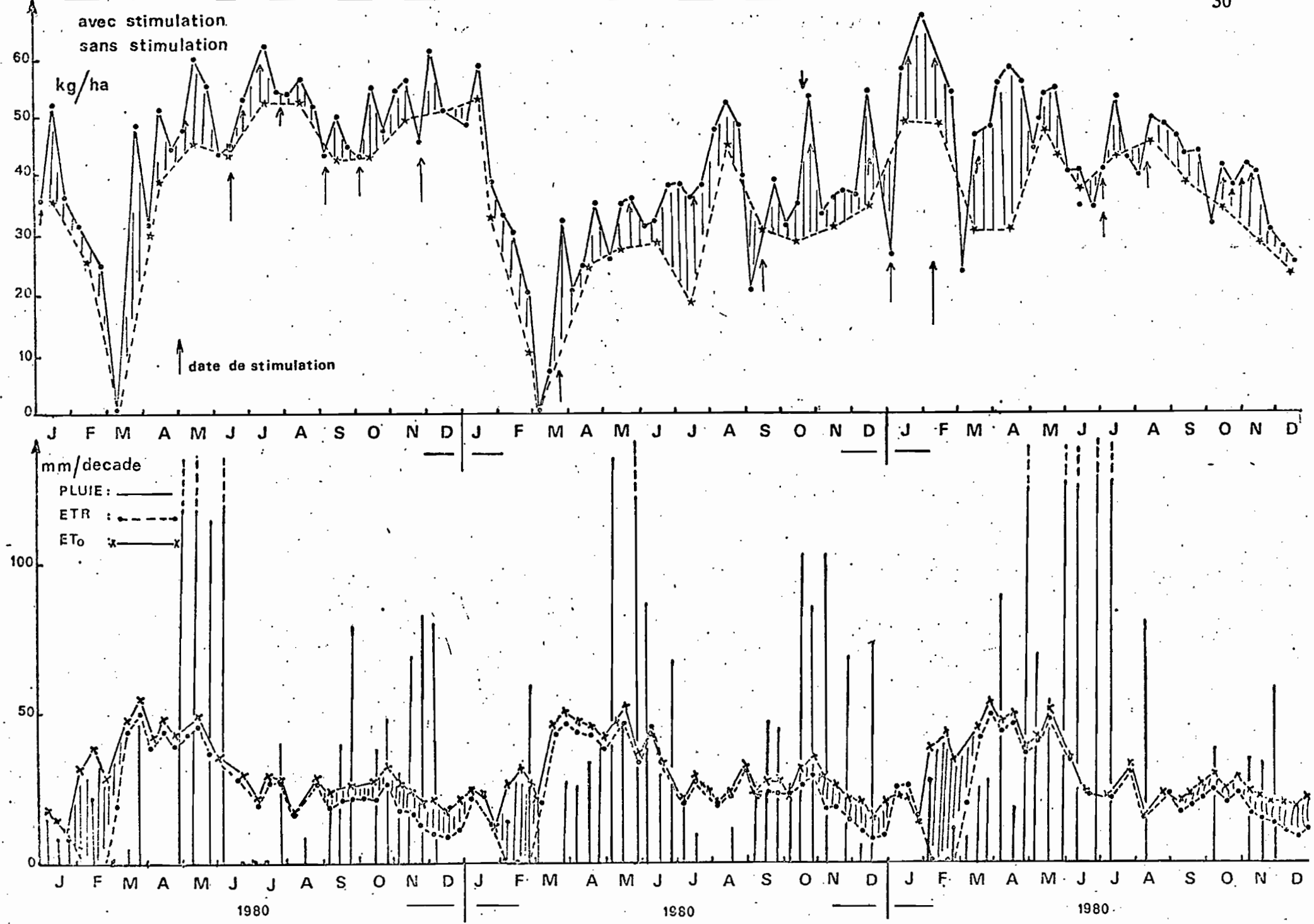


Fig 10 Evolution de la production en relation avec ET<sub>0</sub>, ETR et la pluviométrie

b. L'évapotranspiration réelle : ETR (fig. 10),

L'évolution de l'évapotranspiration réelle au cours des trois années nous amène à subdiviser l'année en cinq périodes principales :

- le mois de janvier où  $ETR > ETo$ , malgré les vieilles feuilles et le déficit hydrique du sol. Cela serait dû au déficit élevé de tension de vapeur d'eau de l'air, caractérisant l'harmattan.
- le mois de février où la transpiration est nulle, en raison de la défoliation des arbres. L'évaporation directe à partir du sol constituerait le seul facteur de perte en eau ; mais compte tenu de la couverture du sol par les feuilles sèches elle peut être négligée.
- la période de mars à mai, qui marque le début de la saison des pluies, donc de la recharge du stock hydrique du sol. L'évapotranspiration réelle est légèrement inférieure à l'évapotranspiration standard. Cela s'explique par le fait que le chevelu racinaire n'est pas totalement mis en place.
- la période de juin à août où ETR est légèrement supérieure à  $ETo$ . Ici la capacité au champ du sol est atteinte, avec la mise en place totale du chevelu racinaire et du couvert végétal. L'évaporation du sol devient plus importante compte tenu des nombreuses pluies en cette période (mai à juillet). Enfin la dernière période de septembre à décembre où l'évapotranspiration réelle est inférieure à  $ETo$ , malgré une alimentation hydrique satisfaisante ; les feuilles, devenues âgées, perdent en partie leur activité physiologique. Des mesures d'humidité du sol après la saison des pluies (après ressuyage du sol) et en fin de saison sèche ont donné 200 mm comme étant la réserve en eau disponible du sol. Compte tenu des résultats obtenus les années précédentes, il a été observé que si la réserve hydrique atteint par exemple les valeurs 120 mm, 100 mm et 50 mm, C égale 1,0 ; 0,8 ; et 0,4.

Ces valeurs expliquent le fait que l'évapotranspiration réelle soit supérieure ou inférieure à  $ETo$ .

Tout se passe comme si en dessous d'une certaine quantité d'eau disponible dans le sol, des contraintes freinent la circulation de l'eau vers la plante et celle-ci doit réduire sa consommation en eau. En ce moment, ETR est inférieure à ETo. Par contre, quand le sol a atteint sa capacité au champ, l'évapotranspiration réelle devrait être supérieure à l'évapotranspiration standard pour un système racinaire bien développé et de jeunes feuilles. C'est le cas de la période avril-août.

Ces observations nous amènent à la conclusion suivante : pour une bonne alimentation hydrique, un système racinaire bien développé et un feuillage jeune, l'évapotranspiration réelle est supérieure à l'évapotranspiration standard, tandis que pour un stock d'eau insuffisant du sol, ETR est inférieure à ETo.

c. La réserve hydrique, le stade phénologique du feuillage dans leur rapport avec la production de caoutchouc.

L'observation des différentes courbes appellent quelques commentaires :

un fait semble net : la chute brutale de la production au cours de la période janvier-février. Ce comportement s'explique par l'absence de feuilles sur l'arbre à cette période, et le changement de panneau. Dès le début du mois de mars, avec les premières pluies et l'apparition des premières feuilles, la production s'accroît, mais reste faible, en raison de la croissance des feuilles et du développement de la couronne. La production n'atteindra son palier qu'après la saison des pluies, c'est à dire dans le mois d'août, quand le sol a atteint sa capacité au champ. Selon GOODING (cité par NINANE, F.1970) ce phénomène se comprend de la façon suivante : pendant quelques semaines, la poussée foliaire absorbe les recrues disponibles. Après la formation de l'appareil assimilateur, (le feuillage), la croissance en circonférence debute et atteint son maximum après 4 à 5 semaines. Au cours de ces processus, la production reste faible. L'accroissement en diamètre commençant à fléchir, le DRC commence à diminuer et la production augmente."

Les quantités de liquide obtenues sont fonctions des caractéristiques du latex : quand il est épais, l'écoulement est lent tandis que pour un latex fluide, l'écoulement est plus rapide.

En Indonésie, RESING, cité par NINANE, F. (1970) a obtenu les mêmes résultats mais à la seule différence que lors du passage de la saison pluvieuse à la saison sèche, la production est en hausse.

Vers la fin du mois d'août, la chute de la production est consécutive à un début d'épuisement du stock hydrique du sol et de la faible quantité d'énergie solaire reçue. Elle reprend graduellement avec la recharge de ce stock d'eau pendant la petite saison des pluies pour diminuer brutalement à la défoliation et au changement de panneau.

La diminution progressive constatée de juillet à décembre en 1982 malgré une alimentation hydrique très satisfaisante et le jeune âge des feuilles constitue une particularité. Remarquons par ailleurs la supériorité de la production obtenue sous stimulation, par rapport à celle qu'on obtiendrait avec des arbres non stimulés.

Rappelons que la stimulation consiste à appliquer un produit chimique, l'ethrel sur l'écorce en dessous du panneau de saignée. Ce produit ayant pour rôle de modifier la perméabilité cytoplasmique et de permettre un écoulement plus long.

La différence entre les deux productions diminue quand la plante se trouve en état de stress hydrique, d'où elle réduit son métabolisme, le latex devient plus épais et l'écoulement se réduit lors de la saignée ; d'où nécessité d'éviter de stimuler l'hévéa pendant la saison sèche.

Cette analyse de la production de caoutchouc en relation avec l'utilisation de la réserve hydrique du sol par la plante nous amène à constater que la production de caoutchouc est sous l'effet de deux facteurs : l'âge physiologique du feuillage et la réserve hydrique du sol.

#### VI. DETERMINATION DE ZONES POTENTIELLES A L'HEVEA CULTURE DU POINT DE VUE CLIMATOLOGIQUE :

Les figures 11, 12 et 13 montrent l'évolution de la pluviométrie (P) et de l'évapotranspiration réelle (10), pour l'année 1982 dans cinq régions forestières de la Côte d'Ivoire. Cette étude sur l'unique année 1982 n'est pas suffisante pour pouvoir tirer une conclusion définitive. En effet, l'étude devrait porter sur une trentaine d'années si des données décennales de pluviométrie étaient disponibles.

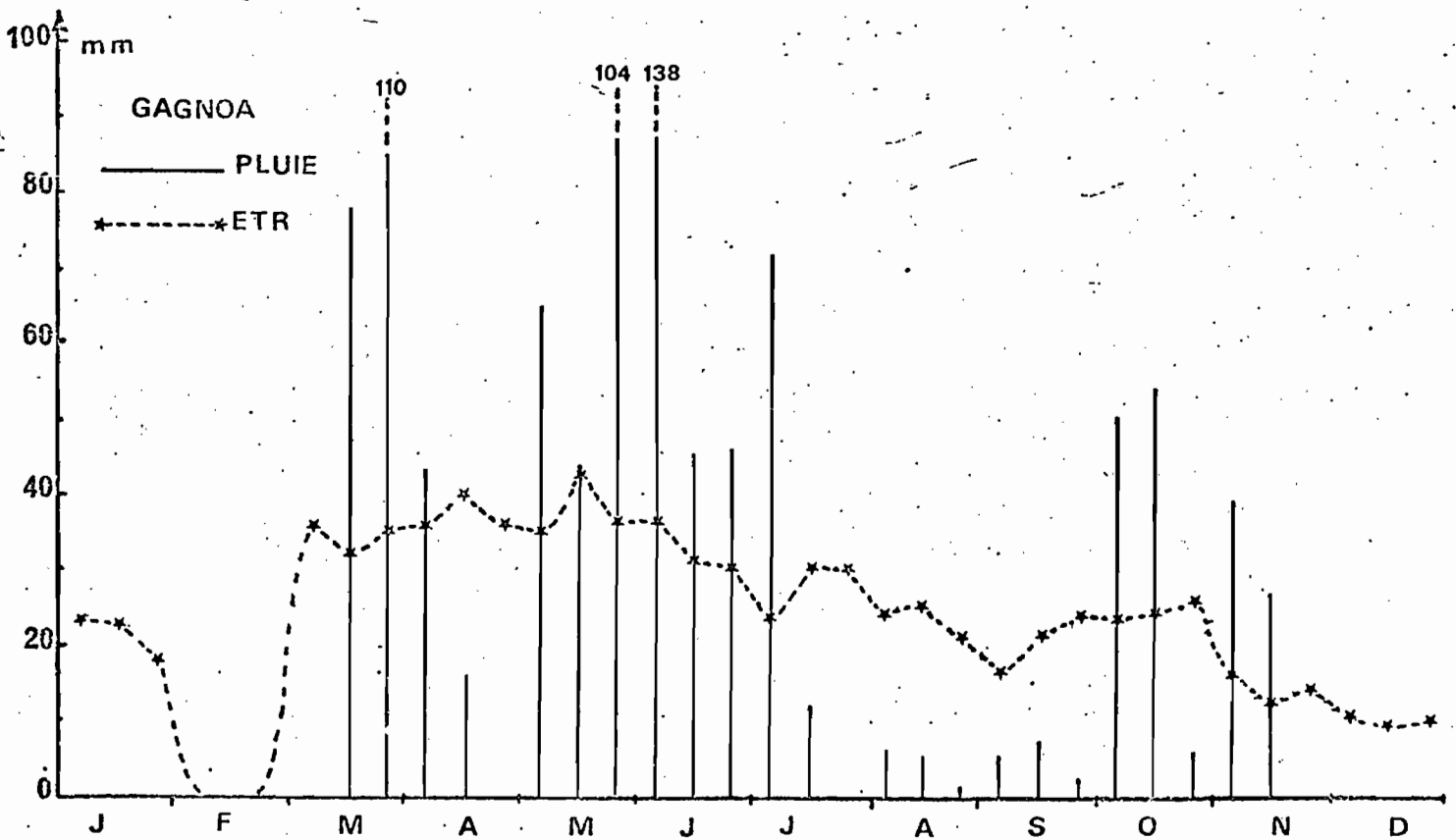
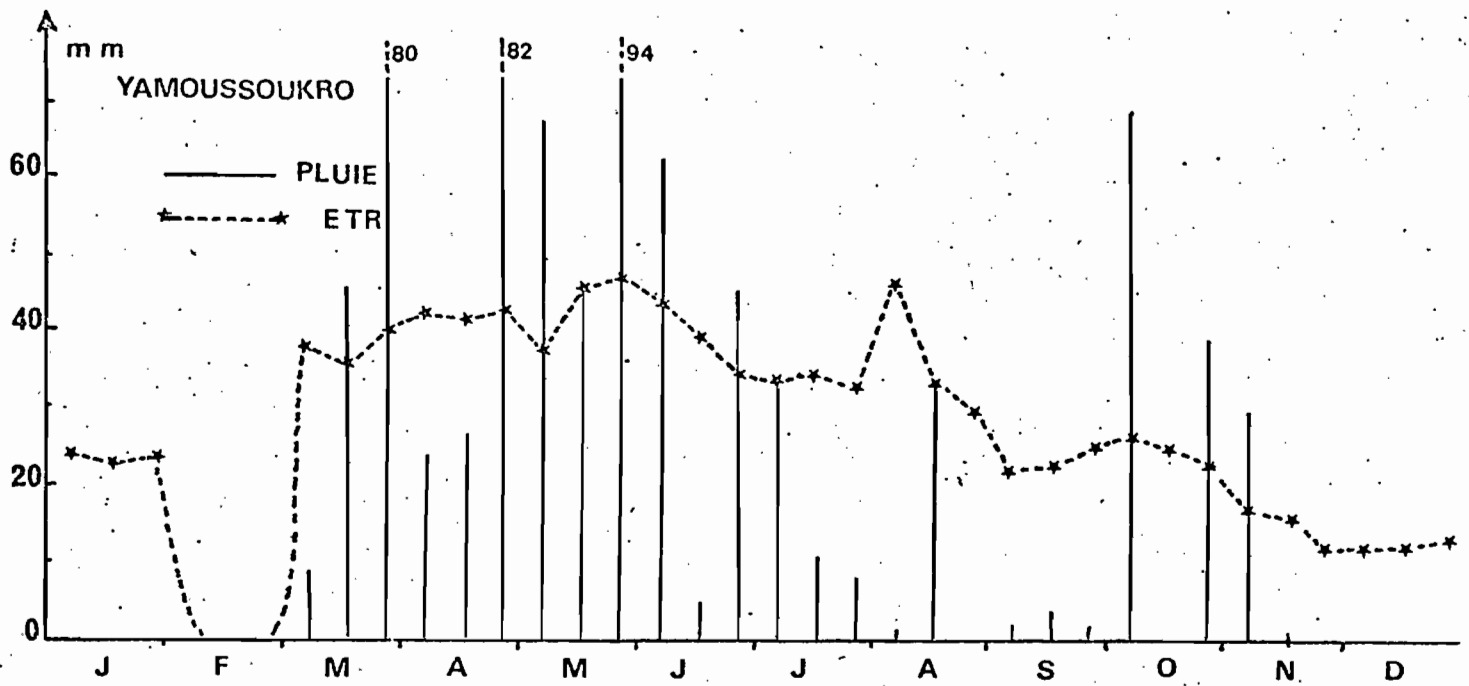


Fig. 11; Hauteur de pluie et évapotranspiration réelle décadaires au cours de l'année 1982 à Yamoussoukro et Gagnoa.

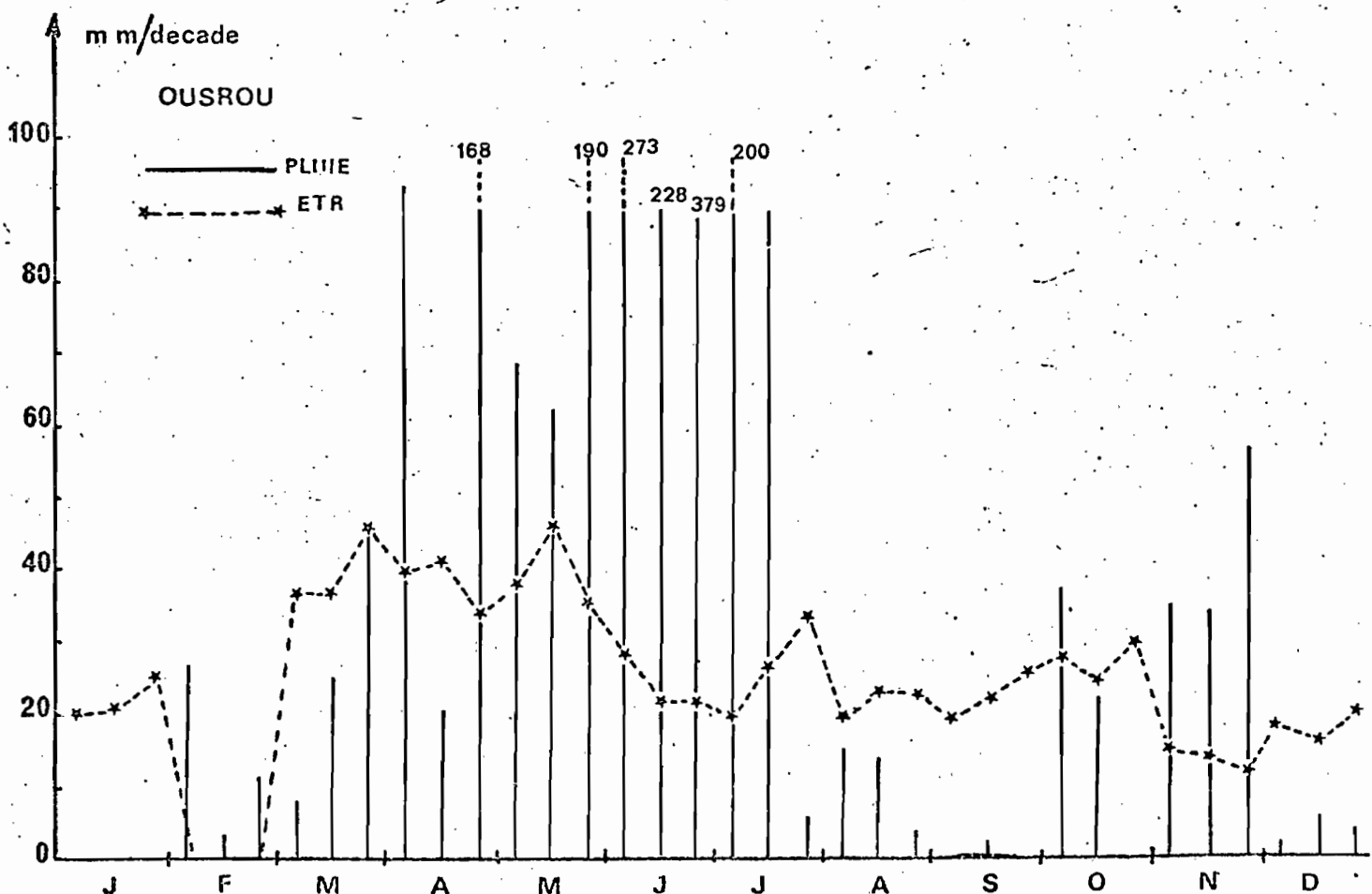


Fig. 12; Hauteur de pluie et évapotranspiration réelle décadaires au cours de l'année 1932 à Ousrou.



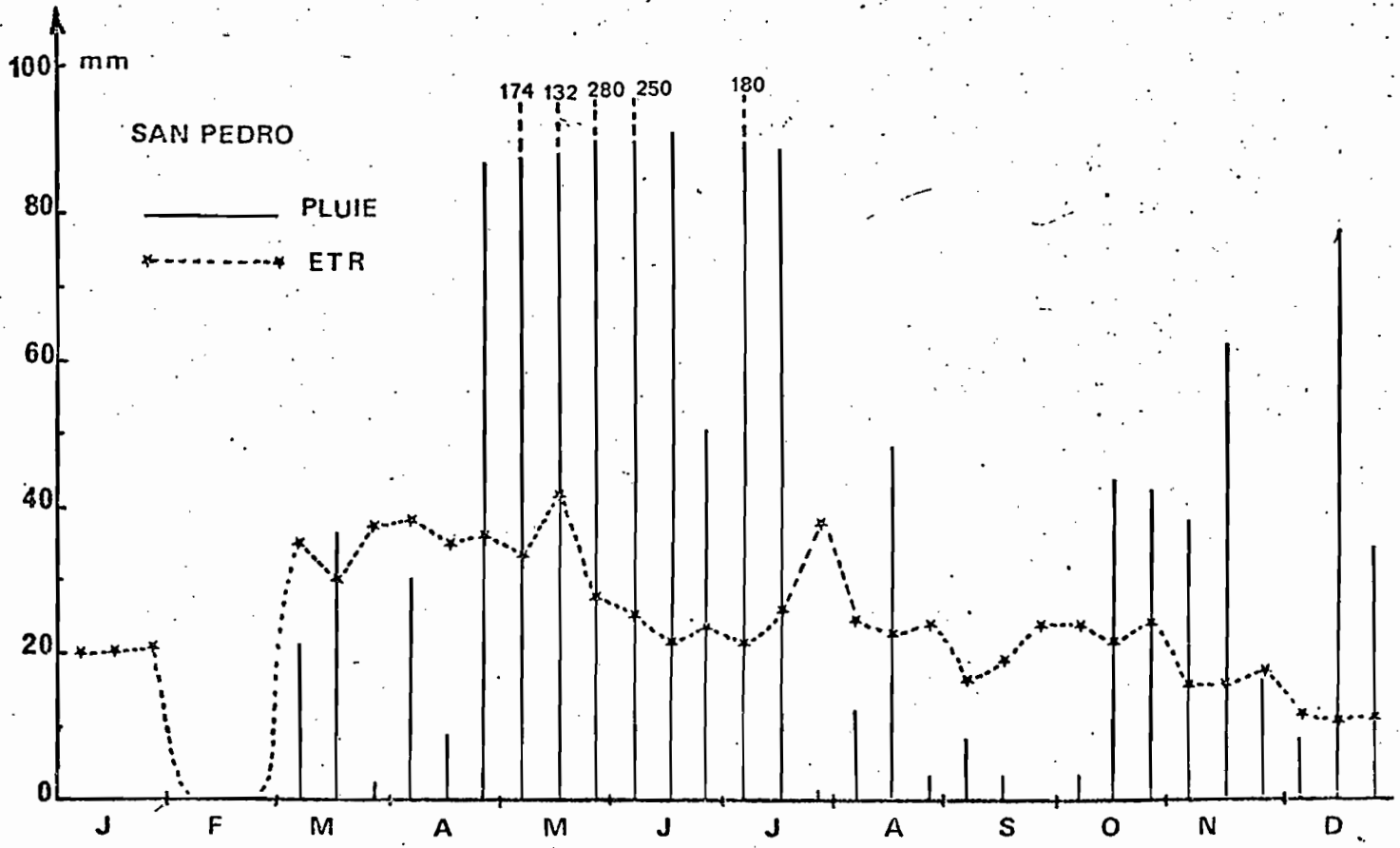
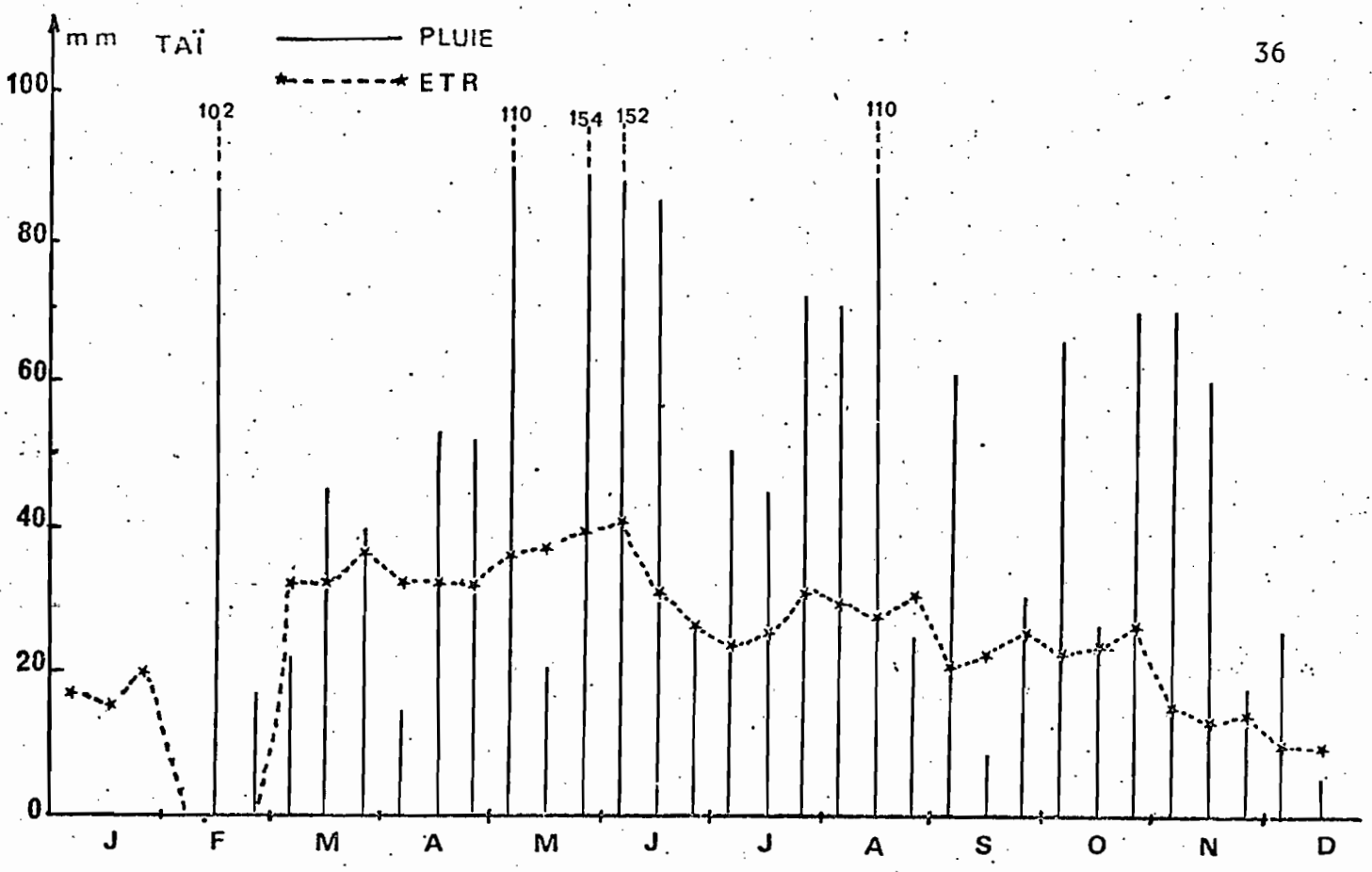


Fig. 13; Hauteur de pluie et évapotranspiration réelle décadaires au cours de l'année 1982 à Tai et à San Pedro.

Cependant le phénomène est bien marqué pour être considéré comme suffisant.

Il apparaît que si à Taï et San Pédro, les déficits pluviométriques (P-ETR), sont inexistantes en dehors des mois de janvier et février, le problème est autre à Ousrou, à Yamoussokro et particulièrement à Gagnoa où à partir du mois d'août la pluviométrie a été déficiente.

Le problème est moindre à Ousrou où la petite saison pluvieuse permet une recharge complète du stock hydrique du sol, ce qui évite à la communauté végétale de subir trop rapidement un stress hydrique lors de la grande saison sèche "décembre - janvier - février". Quant à Yamoussokro et Gagnoa, une petite saison sèche accusée provoque un déficit hydrique que ne peut combler la petite saison pluvieuse.

L'hévéa, s'il est cultivé dans cette zone, souffrirait de ce manque d'eau et par conséquent ne produirait quasiment pas. Ces sites ne semblent donc pas indiqués pour l'hévéaculture ; cette étude rapide, bien que portée sur une seule année, (1982), nous indique l'importance de la répartition de la pluviométrie au cours de l'année.

En effet, les 1500 mm/an de pluie requis pour l'implantation d'un champ d'hévéa sont insignifiants si la pluie est mal répartie.

Une répartition proche de celle de Ousrou serait acceptable, les régions de San Pédro et de Taï constituant, le cas idéal. Il aurait fallu tenir compte de la réserve hydrique du sol pour l'étude complète, mais le temps nous a manqué.

Cette étude du bilan énergétique et hydrique est intéressante à plus d'un titre car elle nous a permis de connaître le comportement d'une communauté végétale, plus précisément d'un couvert d'hévéa confronté à différentes conditions climatiques.

Le rayonnement net, fraction d'énergie de courtes et grandes longueurs d'onde absorbée par le système varie de façon linéaire avec le rayonnement global. Cette variation est sous la dépendance des caractéristiques physiques du couvert végétal dont la réflexion-albedo  $R_r/r_g$  et l'émission du rayonnement ( $\epsilon\sigma T_s^4$ ), mais aussi des facteurs astronomiques tels que l'angle d'incidence des rayons solaires, la durée astronomique du jour et de la teneur en vapeur d'eau des basses couches de l'atmosphère.

L'évapotranspiration est liée au rayonnement net et varie suivant l'âge des feuilles, la teneur en eau du sol et du développement du système racinaire. Un feuillage jeune dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique utilise 80 à 90 % du rayonnement net pour la transpiration, soit  $5 \text{ mmj}^{-1}$ . Ce fait se rencontre aussi en période d'harmattan, où le déficit de saturation de l'air est élevé.

La production en caoutchouc, liée étroitement à l'état hydrique du sol, semble dépendre du stade phénologique du feuillage.

Quant au modèle de calcul de l'évapotranspiration réelle, des recherches ultérieures devront être faites à ce sujet pour permettre une bonne estimation de la consommation en eau à partir du rayonnement net, des caractéristiques du feuillage et de la réserve hydrique du sol./.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, L.H. et *al.*, 1972.- Environnement of a Costa Rican Forest Ecology. 53 : 102 - 111.
- BERNARD, A., 1956.- Le déterminisme de l'évapotranspiration dans la nature. Etude des aspects physiologiques et écologiques du problème dans le cadre du bilan énergétique. Publication de l'INEAC (Série scientifique n° 68).
- BLACKWELL and TYLDESLEY ; J.R. 1965.- Measurements of Natural évapotranspiration.  
Comparison of Grametric and aerodynamic methods in "Methodologie de l'écophysiologie végétale.  
Actes du colloque de Montpellier, 141 - 147.
- BROCHET, P. ; GERBIER, N., 1975.- L'évapotranspiration ; aspect agrometeorologique. Monographie n°65 de la Meteorologie nationale, 95 p.
- CHOISNEL, E. 1975.- Le bilan d'énergie et le bilan hydrique du sol Meteorologie nationale, 75, 103-132.
- CHOISNEL E. 1975.- L'évapotranspiration : application agronomique de la notion d'évapotranspiration.  
La météorologie nationale, 75, 103 - 132.
- DANIEL A., de VRIES, 1974.- Heat transfert in soil in Heat and mars transfert in the biosphere".
- DAVIES et Mc ALLEN, 1973.- Equilibrium, potential and actual evaporation from cropped surfaces in Southern Ontario. Journal of applied Meteorologie.  
12 : 649 - 657.
- DENMEAD, O.T. and SHAW. 1961.- Avaibility of Soil water to plants as affected by soil Moisture content and Meteorological conditons. Agronomy Journal.

- DENMEAD ; O.T., 1964.- Evaporation Sources and Apparent diffusivities in a forest canopy. J. App. Meteo. 3, 383-389.
- DROPPO, J.G. and HARRY, L.H. Jr. 1973. Experimental variability in the determination of Energy Balance in a deciduous Forest. J. App. Meteo. 12, 781 - 791.
- HALLDIN, S. 1978.- Comparison of Forest water Energy exchange models.
- HALLAIRE, M.- Facteurs responsables de la transpiration vegetale. Annales agronomiques 12, 87-97.
- HENIN, S. R., GRAS ; G. MONNIER.- Le profil cultural 1969.
- HUTTUL, C. La terre et la vie 1975.
- IRCA. Rapport annuel 1979.- PARIS.
- JACKSON, I.J. Climate, water and agriculture in the tropics.
- JEEVANANDA REDDY, S. 1983.- A simple method of estimating the soil water balance. Agricultural Meteorology, 28, 1-17.
- KAIDA, K. Determination of dry rubber content of Hevea latex flow by microwave flow. Pertanika, 5, 112-195. Université Pertanian, Malaysia.
- LAMBOLEY, G., 1970.- Mesure du rayonnement solaire in "Techniques d'étude des facteurs physiques de la biosphere".
- MONTENY, B.A. BARBIER, J.M., LHOMME J.P. 1981.- Echanges radiatifs et bilan d'énergie d'un couvert d'hévéa. Rapport ORSTOM 29 p.
- MONTENY, B.A. ; LHOMME, J.P. 1980.- Eléments de bioclimatologie Documents ORSTOM 92 p.
- MONTENY, B.A., LHOMME ; HUMBERT, 1982.- Evapotranspiration et caractéristiques aerodynamiques d'un gazon et d'une culture de riz en zone intertropicale humide, Agronomie 2. 181 - 186.

MONTENY, B., et GOSSE, G., 1976.- Analyse et estimation du rayonnement net d'une culture de *Panicum maximum*. Oecol. Plantarum, 11, 173-191.

MONTENY, B.A. et al., 1981.- Le rayonnement net et l'estimation de l'évapotranspiration en Côte d'Ivoire. Agricultural meteorology, 23, 45 - 59.

MONTENY, B.A., BARBIER, J.M. ; BERNOS, C.M. 1983.- Determination of the energy exchange of a Forest - type culture : *Hevea brasiliensis*. Forest Environment Measurements International Conference October 23 to 28, 1983. Oak Ridge - Tennessee. USA.

MONTENY, B.A. et LHOMME, J.P. 1982.- Présentation d'une formule pratique d'estimation de l'évapotranspiration potentielle, conforme aux nouvelles recommandations internationales. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology. Ser. B, 30, 253-260.

NINANE, F., 1970.- Les aspects ecophysiologiques de la productivité chez *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. au Cambodge. These 309 p.

PAKIANATHAN S.W. 1979.- Physiology of latex flow and water relation in RRIM Training manuel on tapping systemes ans yield stimulation of Hevea".

PERRIER A., 1975.- Etude physique de l'évapotranspiration dans les conditions naturelles. Ann. Agro. 26, 1-18.

PERRIER et al., 1975.- Mesure automat ique et bilan d'énergie d'une culture. Exemples d'application. Annale agro. 26, 19-40.

PIERRE, E. et ALAIN, G. 1970.- Climatologie.

- RICHARD, G. WILSON and WAYNE R. ROUSE., 1972.- Moisture and temperature limits of the Equilibrium Evapotranspiration Model "Journal of App. Meteorology".  
11, 436-442.
- STANHILL G. et al., 1968.- The effects of crop and climatic factors in the radiation balance of an irrigation maize crop. J. Appl. Ecology, 5, 707-720.
- THOMPSON, N. 1982.- A comparison of formulae for the calculation of water loss from vegetated surfaces. Agri. Meteo.  
26, 265-272.
- TURNER, J.C. 1965.- Some energy and microclimate measurements in a natural arid zone plant community. in "Methodologie de l'écophysiologie végétale" Actes du colloque de Montpellier.
- TRIPLET, J.L. et ROCHE. G. 1971.- Meteorologie generale.
- VITON, P. 1970.- l'hygromètre à point de rosée in "Techniques d'études des facteurs physiques de la biosphère".
- WILLIAMS, C. N. 1979.- The agronomy of the major tropical crops.