

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
CENTRE D'ADIOPODOUME  
BP. V-51 - ABIDJAN (Côte d'Ivoire)

Laboratoire de Botanique  
Laboratoire de Pédologie  
Laboratoire de Bioclimatologie

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE LA DÉFORESTATION  
EN ZONE ÉQUATORIALE SUR L'ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION  
EN GAZ CARBONIQUE DE L'ATMOSPHÈRE

par

T. JAFFRÉ; Ch. de NAMUR(\*)

E. FRITSCH(\*\*)

B.A. MONTENY, J.M. BARBIER, C. OMONT(\*\*\*)

PROJET INTEREQUIPES- FORET IVOIRIENNE  
P.I.R.E.N. / O.R.S.T.O.M.

Août 1983

(\*) Laboratoire de Botanique - Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

(\*\*) Laboratoire de Pédologie - Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

(\*\*\*) Laboratoire de Bioclimatologie - Centre ORSTOM d'Adiopodoumé.

21 DEC. 1983

N° : 83/83/4922-4025  
Cote : B

001

# MESURE DES FLUX DE CO<sub>2</sub> AU NIVEAU D'UN COUVERT D'*HEVEA BRASILIENSIS*

B.A. MONTENY, J.M. BARBIER et C. OMONT

Laboratoire de Bioclimatologie

O.R.S.T.O.M. - B.P. V-51

ABIDJAN - (CÔTE D'IVOIRE)

## RESUME

Il est communément accepté que la forêt, de par l'importance de sa surface, affecte certains paramètres climatiques, en particulier la concentration de vapeur d'eau et de gaz carbonique.

L'équilibre que représente le système "forêt tropicale humide-atmosphère" tend à se modifier du fait de la réduction accélérée de sa superficie. Son remplacement par d'autres couverts végétaux serait susceptible d'introduire des changements au niveau des échanges plantes-atmosphère et de modifier ainsi certains paramètres atmosphériques.

C'est dans ce cadre que se situe l'analyse des échanges s'établissant entre un couvert forestier secondaire (plantation d'*Hevea*) et l'atmosphère. Le bilan d'énergie/rapport de BOWEN est la méthode utilisée pour déterminer l'activité photosynthétique globale du système ainsi que les autres échanges énergétiques.

Cette étude a été réalisée en basse Côte d'Ivoire dans la région d'Abidjan.

L'assimilation photosynthétique instantanée de l'hévéaculture représente, peu après la refoliation, une fixation énergétique de près de 4 % du rayonnement net. Dans les mêmes conditions hydriques, le vieillissement du feuillage entraîne une réduction de la capacité photosynthétique de 50 à 60 %. D'autre part, la disponibilité en eau du sol est un autre facteur qui réduira l'absorption du gaz carbonique. Son effet se manifeste particulièrement dans l'après-midi et en fin de journée.

DEC. 1983

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

No. :

402547

B

Toutefois, les échanges plante-atmosphère sont perturbés par le mouvement des masses d'air, en particulier par la brise de terre dont les caractéristiques (humidité et  $\text{CO}_2$ ) ont été modifiées par la formation de brouillards au-dessus de la zone forestière.

En effet, durant la période nocturne, la condensation de vapeur d'eau par refroidissement radiatif entraîne la formation de brouillards qui piègent le  $\text{CO}_2$  dégagé par l'écosystème végétal et le sol. Au cours de la matinée, la brise de terre entraîne ces masses d'où le brouillard s'est progressivement dissipé. Le passage de ces masses d'air se traduit par des profils inhabituels des concentrations de vapeur d'eau plus élevées au niveau supérieur par rapport au niveau proche de la canopée et des gradients de gaz carbonique très accentués. Les flux qui en découlent traduisent un apport advectif de vapeur d'eau dans le système et une assimilation photosynthétique très élevée (8 à 10 % de  $R_n$ ).

Ces constatations doivent être confirmées par les mesures actuellement en cours.

Ce travail entre dans un programme de recherches plus vaste concernant le déterminisme des variations cycliques de la concentration en gaz carbonique de l'atmosphère.

## I. INTRODUCTION

L'écosystème "forêt tropicale humide" est progressivement remplacé par d'autres types d'écosystèmes à caractère anthropique. Leur maintien, en population homogène, est en liaison étroite avec le système d'exploitation agricole que l'homme utilise. Les changements physiologiques et phénologiques ainsi introduits pourraient entraîner des modifications dans l'équilibre existant précédemment entre le couvert forestier et l'atmosphère, entre autre au niveau du mécanisme des échanges du gaz carbonique par la biosphère continentale. Le rééquilibrage des échanges pourrait avoir des répercussions sur certains paramètres climatiques, entraînant des changements au niveau du cycle de l'eau et du gaz carbonique.

En basse Côte d'Ivoire, les plantations paysannes, souvent itinérantes, s'installent de plus en plus en zone forestière, entraînant chaque année la destruction par le feu de grandes superficies de forêt. Parallèlement, les cultures agro-industrielles occupent généralement des surfaces monobloc dans les zones considérées jusqu'alors comme réserves ou forêts classées. Toutefois, ces cultures de grande échelle ont un caractère pérenne. Tel est le cas de l'hévéaculture qui occupe une superficie de plus en plus grande dans le massif forestier ivoirien.

L'analyse des échanges d'énergie de cette forêt d'hévéa est essentielle pour comprendre son fonctionnement et tout spécialement ses bilans hydrique et carboné.

Ce rapport présente la méthode d'analyse du bilan d'énergie utilisée, compte tenu des caractéristiques climatiques locales et les résultats obtenus. La discussion porte sur l'importance des effets des mouvements des masses d'air sur les échanges en eau et en  $\text{CO}_2$  entre le couvert forestier et l'atmosphère.

## II. CONSIDERATIONS THEORIQUES

L'interprétation du fonctionnement de l'écosystème forêt d'*Hevea*, siège de la transformation de l'énergie solaire reçue, nécessite la connaissance des mécanismes de transfert qui s'y opèrent.

### 2.1. Transferts radiatifs. Energie disponible pour l'écosystème.

Le bilan des transferts radiatifs au niveau supérieur du couvert végétal s'écrit :

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

$R_g$  = rayonnement solaire global ( $\lambda < 3000$  nm)

$R_r$  = rayonnement réfléchi par la surface du couvert ( $\lambda < 3000$  nm)

$R_a$  = rayonnement atmosphérique ( $\lambda > 3000$  nm)

$\sigma T_s^4$  = rayonnement émis par le massif forestier ( $\lambda > 3000$  nm), fonction de sa température moyenne)

$\epsilon$  = émissivité de la surface (égale à son absorptivité)

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann.

Le rayonnement net est défini comme la résultante des densités de flux énergétique descendants (+) et ascendants (-). Il représente la quantité d'énergie absorbée et donc utilisable par le système végétal. Ce terme doit être connu avec une grande précision du fait de son importance au niveau de l'étude du bilan d'énergie.

### 2.2. Bilan d'énergie : Transferts convectifs et conductifs

La quantité d'énergie absorbée  $R_n$  par le couvert et utilisée dans les divers processus convectifs et conductifs peut s'exprimer par l'équation du bilan d'énergie :

$$R_n = S + LE + G + P + \Delta + \rho c_p \int_z^{z'} U_z \frac{dt}{dx}(z) dz + \rho L \int_z^{z'} U_z \frac{dc}{dx}(z) dz \quad (2)$$

- $R_n$  = rayonnement net  
 $S$  = flux convectif de chaleur sensible  
 $E$  = évapotranspiration réelle  
 $L$  = chaleur latente de vaporisation de l'eau  
 $P$  = énergie photosynthétique fixée sous forme chimique  
 $G$  = flux conductif à la surface du sol  
 $\rho$  = masse volumique de l'air  
 $cp$  = chaleur massique de l'air à pression constante  
 $U_z$  = vitesse du vent ( $m.s^{-1}$ ) au niveau  $Z$   
 $\Delta$  = correspond au changement de la quantité de chaleur sensible et de chaleur latente de l'air à l'intérieur du système :

$$\text{c'est-à-dire : } \int_0^Z (\rho_a cp \frac{dT_a}{dt}) dz + \int_0^Z (\rho_v cp_v \frac{dc}{dt}) dz$$

Les valeurs de  $\Delta$  calculées entre 11 et 12 h par belles journées ensoleillées varient de 15 à 20  $Wm^{-2}$  en fonction du rayonnement net (500 à 650  $Wm^{-2}$ ). Notre bilan, effectué sur des périodes de 15 minutes, négligera ces quantités dans un premier temps. Ces variations d'énergie dans le volume du système sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par STEWART et al. (1973).

Le bilan d'énergie de tout écosystème est à la base de l'analyse de son microclimat et des échanges qui s'y produisent. La somme algébrique des gains et des pertes d'énergie par unité de volume du couvert est égale à zéro dans les conditions de stabilité (principe de conservation de l'énergie). Dans la réalité, ces conditions sont rarement rencontrées, mais les variations des gains et des pertes intégrées sur 15 minutes sont très faibles et l'hypothèse précédente reste donc valable.

Quant aux 2 termes traduisant l'apport horizontal de chaleur sensible et de vapeur d'eau dans l'écosystème, ils ont été généralement considérés comme négligeables si l'étendue des surfaces cultivées entourant le site est importante. Toutefois, l'impact des mouvements des masses d'air de petite échelle (brises) sur l'évolution des flux ne peut être sous-estimé, comme nous le verrons dans la discussion.

Compte tenu de certaines hypothèses - uniformité horizontale et équilibre des conditions physiques - l'équation du bilan d'énergie, sous sa forme simplifiée, correspond à :

$$R_n - G = S + LE + \lambda P \quad (2')$$

Les équations des 3 densités de flux énergétiques s'écrivent (ALLEN et al. 1974) (SAUGIER 1974) :

$$S = -\rho cp K_h \left( \frac{dT}{dz} \right)$$

$$Le = -L K_v \left( \frac{dq}{dz} \right) = - \frac{L M_v}{RT} K_v \left( \frac{de}{dz} \right)$$

$$\lambda P = \lambda \alpha \rho K_c \left( \frac{dc}{dz} \right)$$

$$\text{avec } \alpha = \frac{M_{CO_2}}{M_{air}}$$

En admettant l'hypothèse de similarité des coefficients de transferts ( $K_H = K_V = K_C$ ), l'utilisation du rapport de BOWEN,  $\beta$ , qui correspond au rapport des densités des flux de chaleur sensible à ceux de la chaleur latente donne :

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{-K_H \rho c_p (dT/dz)}{-L K_V (dq/dz)} = \frac{K_H (M_a/V) c_p (dT/dz)}{K_V (M_v/RT) L (de/dz)} \\ &= \frac{C_p P}{\epsilon L} \left( \frac{dT}{de} \right) \\ &= \gamma \left( \frac{dT}{de} \right)\end{aligned}$$

avec  $\gamma = 0,66 =$  constante psychrométrique.

$dT =$  différence de température entre 2 niveaux

$de =$  différence de pression partielle de vapeur d'eau entre 2 niveaux.

Par ailleurs, on peut également considérer le rapport des densités des flux de chaleur photosynthétique aux flux de chaleur latente :

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{\lambda K_C \alpha \rho (dc/dz)}{-K_V L (M_v/RT) (de/dz)} \\ &= \frac{\lambda \alpha \rho}{-L(M_v/RT)} \frac{dc}{de} \\ &= 0,0109 \frac{dc}{de} \text{ (mb/ppm)}\end{aligned}$$

Dès lors, connaissant les valeurs de  $\beta$  et  $\mu$ , il est possible de déterminer les différents flux, c'est-à-dire :

$$S = \frac{\beta (R_n - G)}{(1 + \beta + \mu)}$$

$$LE = \frac{(R_n - G)}{(1 + \beta + \mu)}$$

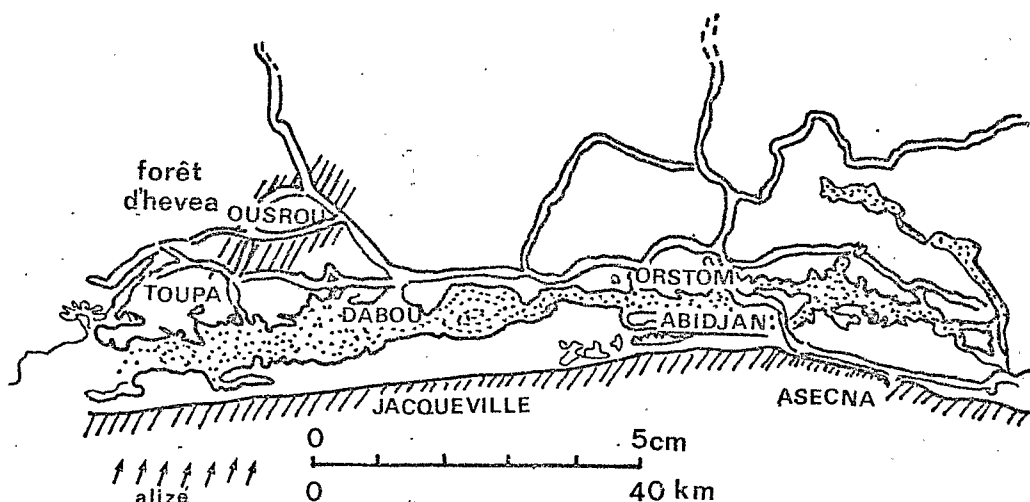
$$\lambda P = \frac{\mu (R_n - G)}{(1 + \beta + \mu)}$$

### III. METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

#### 3.1. Situation géographique de la Station

La plantation d'*Hevea* est située à Ousrou, à 57 km à l'Ouest d'Abidjan. - (cf. carte). La région a un climat général du type tropical humide à 2 saisons de pluies (mai à juillet et octobre-novembre) (ELDIN, 1971) avec un régime de vent de secteur S-SW dominant et qui correspond à l'alizé austral. Cette masse d'air, de 300 à 2000 m d'épaisseur après passage sur les étendues océaniques, se caractérise par une forte concentration en vapeur d'eau ( $> 28 \text{ mb}$ ), par une concentration en gaz carbonique relativement constante ( $330 \text{ ppm} \pm 10 \text{ ppm}$ ) et par une instabilité liée à la convection thermique. Elle influence, lors de son passage sur le continent, les conditions climatiques locales : amplitudes thermiques faibles ( $23\text{-}32^\circ\text{C}$ ), humidité relative élevée, atténuation de l'énergie solaire importante par la formation de cumulus d'alizés amortissant ainsi les extrêmes diurnes.

A cette caractéristique générale, s'ajoute l'effet de la circulation locale, brise de terre - brise de mer, dont l'impact sur les conditions microclimatiques n'est pas à négliger. La brise de terre est faible ( $1 \text{ à } 2 \text{ m.s}^{-1}$ ) et se manifeste tôt le matin entre 2 et 6 h. . Au cours de la matinée, le changement de direction provoque une réduction partielle de la vitesse du vent et quand le régime d'alizé (brise de mer) est bien établi, la vitesse s'accroît ( $3 \text{ à } 6 \text{ m.s}^{-1}$ ). Cette asymétrie des brises a également été observée par PEARSON (1975). La masse d'air océanique pénètre largement à l'intérieur du pays. L'alternance des mouvements des masses d'air est assez régulière durant certaines saisons.



Situation géographique de l'hévéaculture (en hachuré).



Lors de la position la plus méridionale de la zone de convergence intertropicale, la basse côte est partiellement soumise aux masses d'air d'origine continentale. La faible convergence ne peut provoquer de formations nuageuses durant cette période (novembre à février) et correspond à la grande saison sèche. Toutefois, en décembre-janvier, la région côtière peut être soumise à un régime d'harmattan (vent dominant N-NE) caractérisé par une faible tension de vapeur d'eau de l'air (10 à 12 mb) et des amplitudes thermiques élevées (13 à 18°C).

La superficie de l'hévéaculture est d'environ 9.000 ha, sans discontinuité, formant un bloc uniforme établi sur un terrain plat légèrement valonné. La plantation est divisée en blocs de 25 ha chacun séparés par des chemins de 7 m de large permettant la collecte du latex.

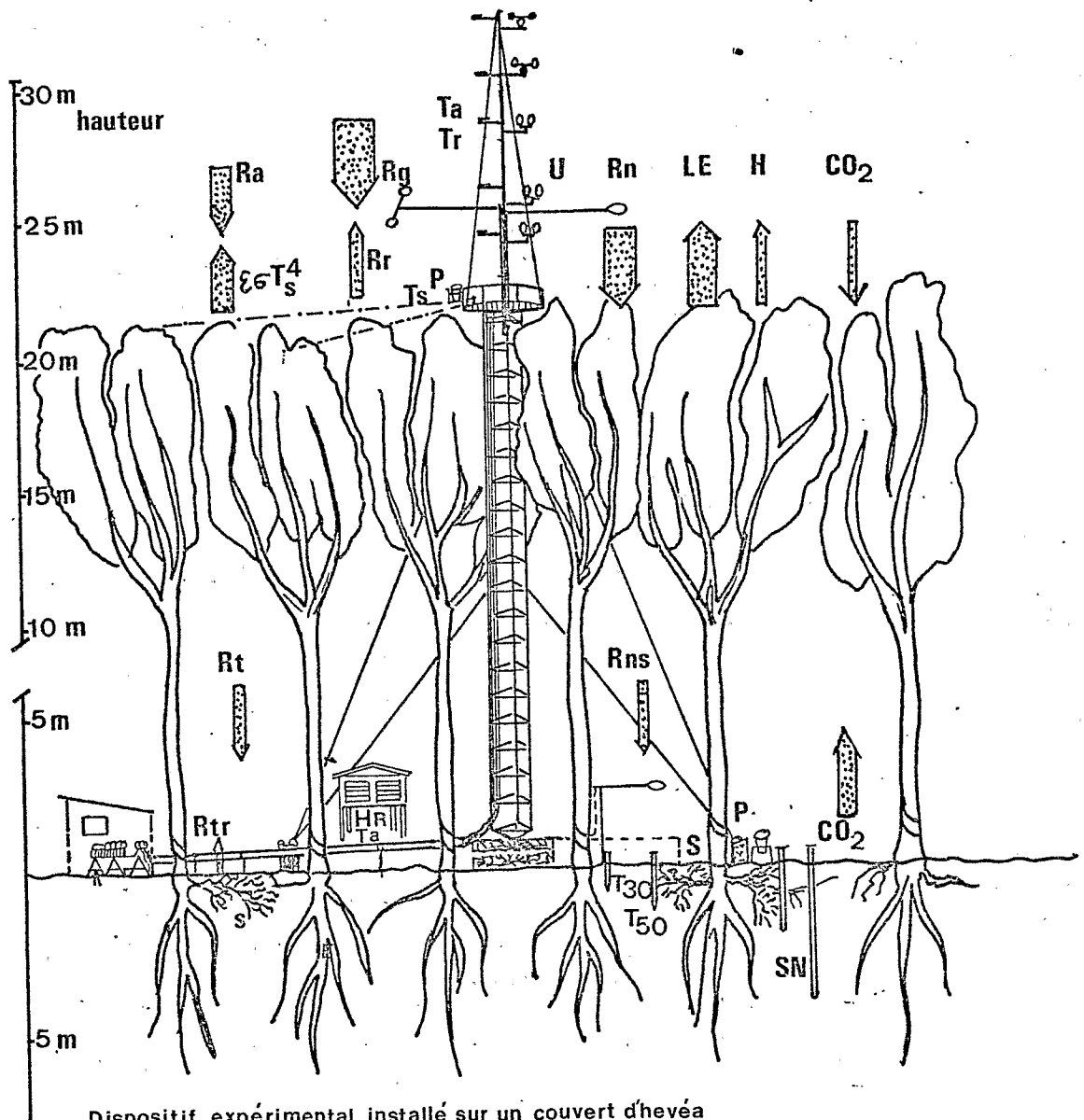
### 3.2. Dispositif de mesure (cf. schéma 1)

La station de mesure a été établie dans un bloc situé au centre de la plantation dans le clone le plus répandu en Côte d'Ivoire. Elle comprend :

- une station climatique sous couvert qui enregistre les caractéristiques de l'air (Ta et MR), la pluie au sol et la température dans le sol (à -20 et -30 cm),
- une tour haubannée de 22,3 m de haut avec une nacelle située dans la partie supérieure de la canopée sur laquelle est fixé un mat télescopique de 12 m. La position des différents capteurs sur le mat est donnée par le tableau 1,
- un local au sol pour abriter l'ensemble du matériel d'enregistrement.

TABLEAU I : Position des capteurs sur le mat.

Capteurs	Niveau Hauteur	1	2		3	4
		25,3 m	28 m	28,5 m	31 m	34 m
Pyranomètre				X		
Bilanmètre				X		
Anémomètre		X	X		X	X
Thermocouple		X	X		X	X
Prise d'air	{ vapeur d'eau CO <sub>2</sub>		X			X
			X			X



Dispositif expérimental installé sur un couvert d'hevéa

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| Rg: rayonnement global               | LE: flux de chaleur latente                    |
| Rr: rayonnement réfléchi             | H: flux de chaleur sensible                    |
| Ra: — atmosphérique                  | S: flux de chaleur entrant dans le sol         |
| $\epsilon\epsilon T_s^4$ — terrestre | $T_{30} T_{50}$ température du sol à 30, 50 cm |
| 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 des températures air et rosée        |
| P: pluviomètres                      | U: profil des vitesses de vent                 |

Les rayonnements solaires global ( $R_g$ ) et réfléchi ( $R_r$ ) sont mesurés à l'aide de pyranomètres thermoélectriques (Kipp et Zonen) 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 pyrradiobilanmètre (Schenk) disposé également à 4 m au-dessus de la canopée. L'ensemble de ces appareils et leurs intégrateurs a été étalonné avant leur mise en service.

Les profils de vitesses de vent ont été réalisés à l'aide d'anémomètres sensibles Casella (T 16110) dont le seuil de démarrage est de l'ordre de 0,10 à 0,15 m.s<sup>-1</sup>. Ils ont été comparés à un anémomètre de référence dont l'étalonnage a été réalisé en soufflerie. Ils sont fixés à des montants perpendiculaires au mat télescopique qui permet d'ajuster leur hauteur (MONTENY et al. 1979, 1981).

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 au préalable, étalonné. Parallèlement, l'air était prélevé à 2 niveaux avec 2 pompes à membrane (débit de 160 litres par heure) pour la mesure directe de la température du point de rosée (hygromètre à effet Peltier), ainsi que de la concentration en gaz carbonique (cf. schéma 1 et photos du dispositif).

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 2 rangées d'arbres.

L'ensemble des tensions électriques débitées par les capteurs est intégré sur une période de 15 minutes. Un programme de calcul fournit pour chaque période, les valeurs des différents flux.

La détermination du flux de CO<sub>2</sub> provenant du sol est réalisée selon la méthode décrite par PERRIER et al. (1976) (cf. photo - ). Une enceinte étanche, d'un volume de 14 dm<sup>3</sup> déposée sur le sol, piège le CO<sub>2</sub> qu'il dégage. Un ventilateur (12 V.) homogénéise l'air contenu dans l'enceinte. L'air circule dans le circuit principal à l'aide d'une pompe aspirante - foulante (débit 160 l/h.). Une seconde pompe (débit 20 l/h.) prélève une partie de l'air pour analyse et le réintroduit dans le circuit principal. Toute modification de la pression intérieure par rapport à la pression extérieure est enregistrée par le manomètre. L'augmentation de la concentration du CO<sub>2</sub> dans le volume de l'enceinte est mesurée par intégration, en fonction du temps, de la tension électrique débitée par l'analyseur I.R. (ADC). La pente de la cinétique d'enrichissement en CO<sub>2</sub> de l'air dans l'enceinte correspond aux flux du CO<sub>2</sub> dégagé par le sol.

Dispositif de mesure du  
flux de  $\text{CO}_2$  du sol.

Tour haubannée dans  
la forêt d'hévéa.

Système d'enregistrement  
des données au sol.

#### IV. RESULTATS

La campagne de mesure s'est située durant les mois de décembre 81, janvier 82 et avril 82.

La superficie d'hévéaculture où l'étude a été réalisée est constituée d'une forêt âgée de 18 ans. La biomasse moyenne de la partie aérienne correspond à 159 T. de matière sèche par hectare représentant 244 T. de gaz carbonique fixé ou 72 T. de carbone. Le poids moyen de l'arbre, sans son système racinaire, représente 418 kg.

Le cycle de végétation est annuel, la défoliation débute en février et la refoliation est complète fin mars. La surface foliaire développée varie d'une année à l'autre, avec un indice foliaire moyen de  $4,3 \text{ m}^2 \pm 0,5 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^2$  de sol. La distribution verticale du feuillage se fait principalement entre les 12 à 24 m supérieurs avec une plus forte densité entre 18 et 24 m.

Pour l'étude de l'absorption du  $\text{CO}_2$ , le couvert d'hévéa peut être assimilé à une couche photosynthétisante ayant deux faces, la zone avec les troncs étant démunie de feuilles. Dans ce cas, cette zone de feuillage est alimentée en  $\text{CO}_2$  par le sol et par l'atmosphère.

Le dégagement du gaz carbonique par le sol est fonction de l'activité des microorganismes décomposeurs, de la quantité de matière organique présente et de l'état hydrique des 20 premiers centimètres de la surface du sol (cf. tableau II).

TABLEAU II : Evolution du flux du gaz carbonique et de l'humidité du sol.

	22.12.81	06.01.82	12.01.82	27.01.82	10.04.82
Humidité pondérale du sol (-20 cm) %	14	12	11	8	14
$\text{CO}_2$ dégagé par le sol $10^{-4} \text{ gr CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	1,87	1,46	1,28	0,59	1,43

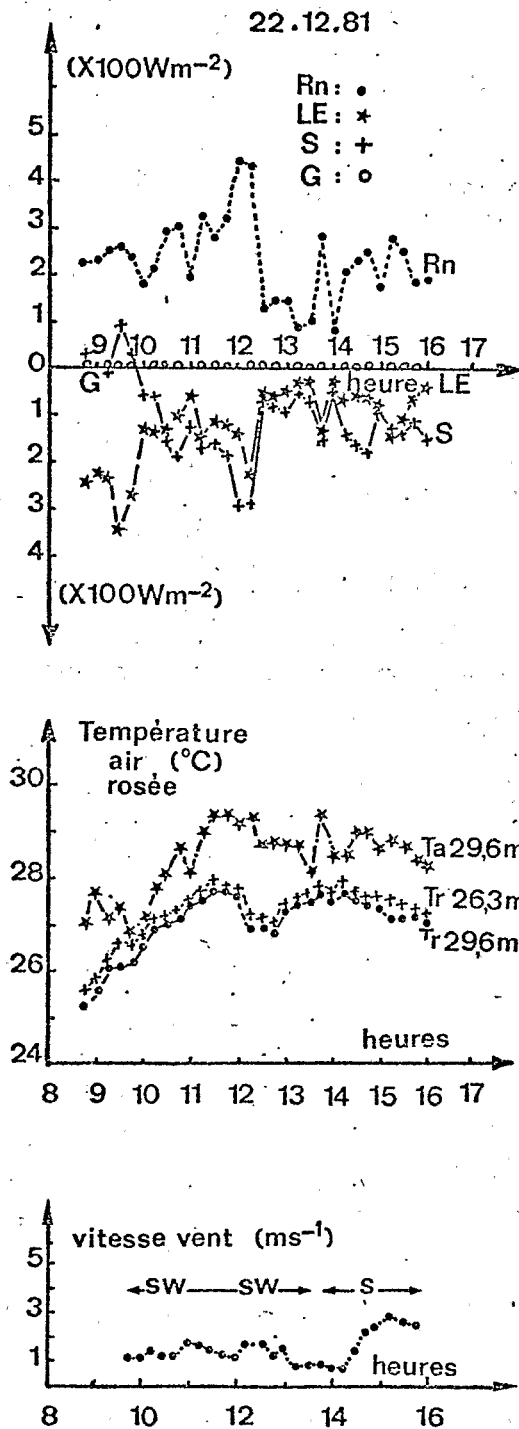


Fig. 1a : Evolution des différents flux au cours de la journée en relation avec certains paramètres climatiques.  
 22.12.1981

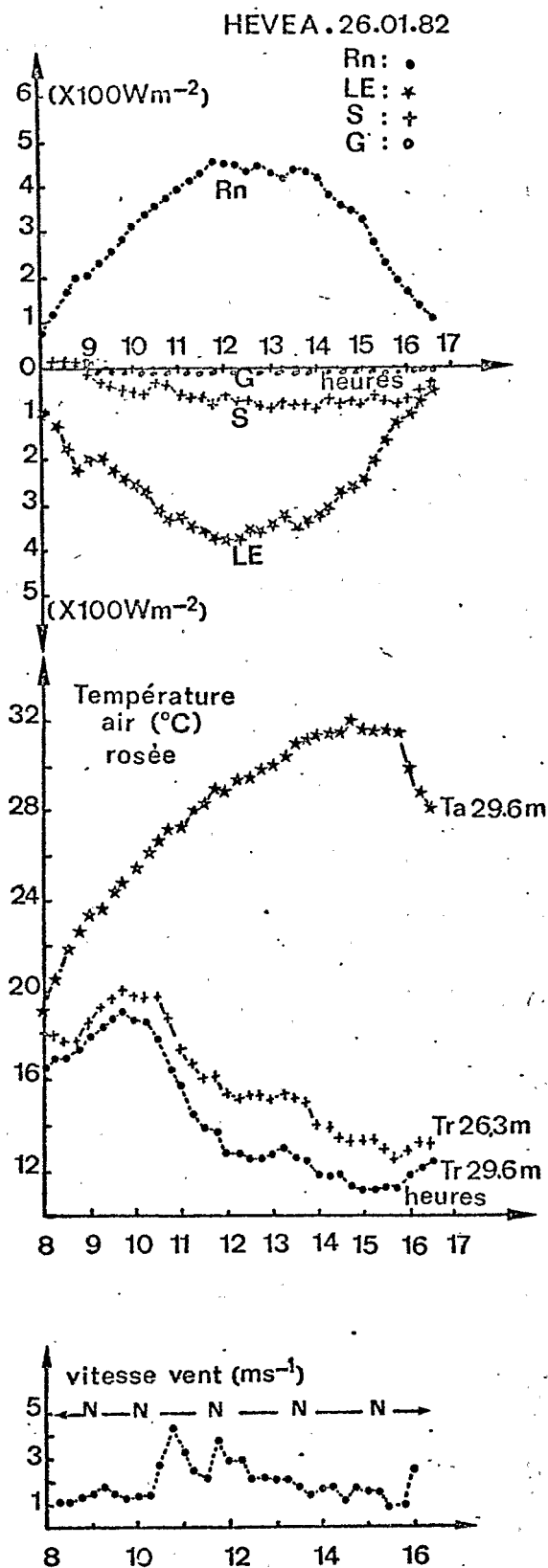


Fig. 1 b : Evolution des différents flux au cours de la journée en relation avec certains paramètres climatiques. 26.01.1982

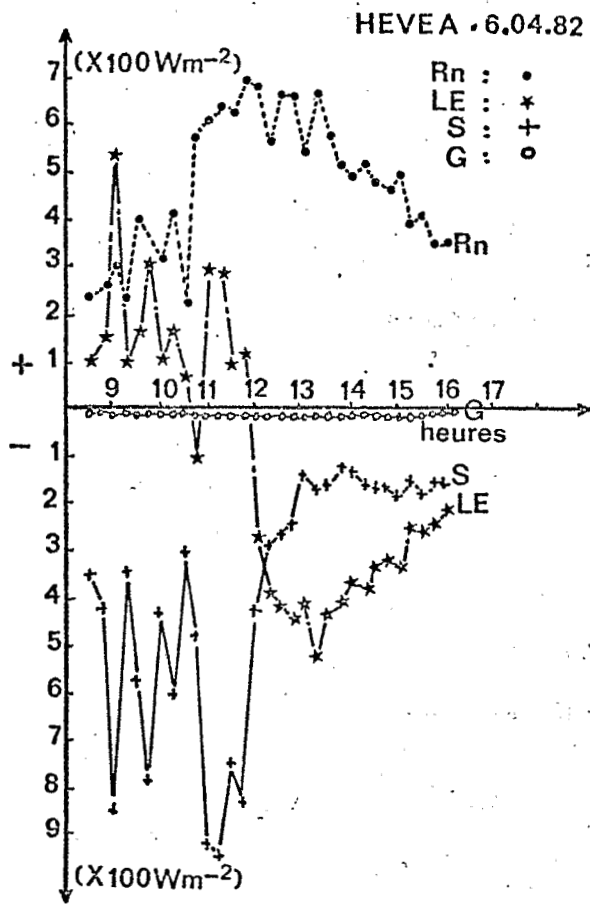
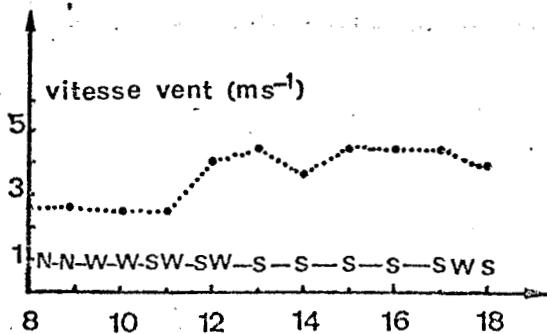
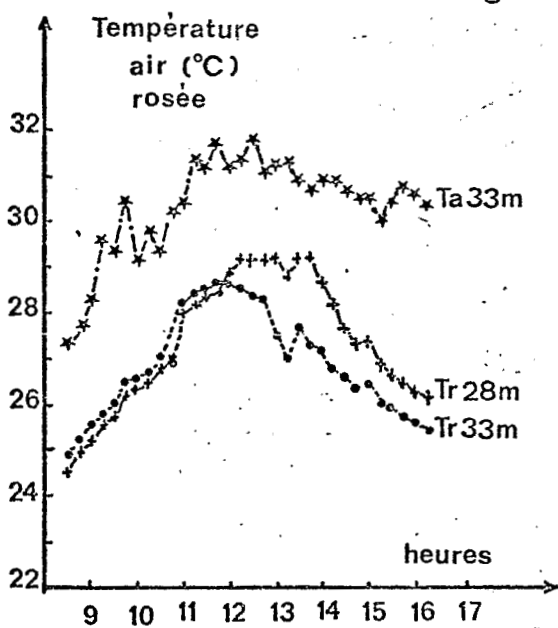


Fig. 1 c : Evolution des différents flux au cours de la journée en relation avec certains paramètres climatiques, 6.04.82





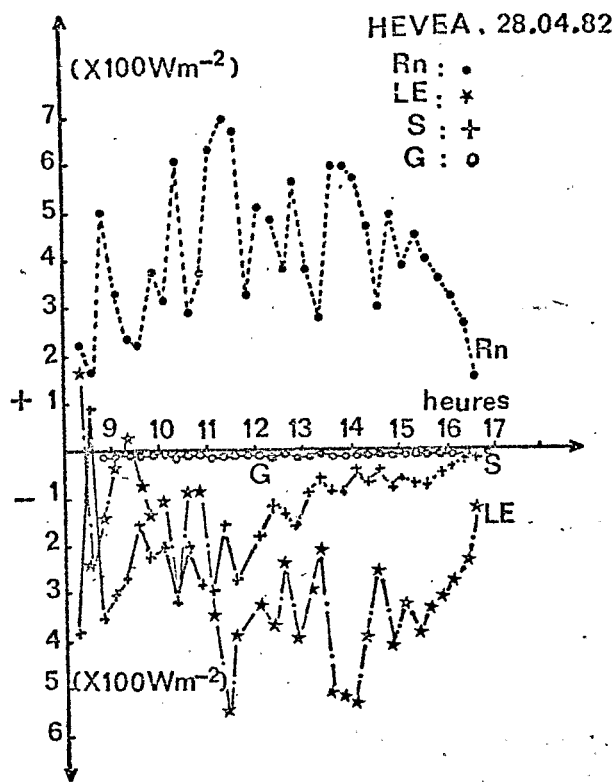
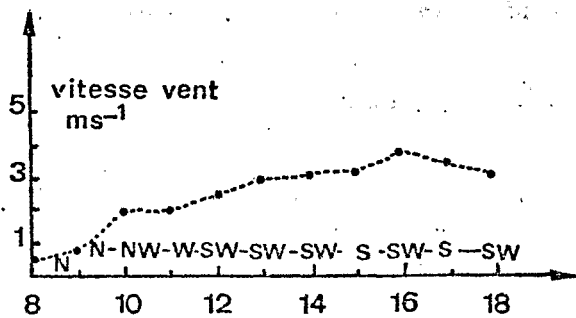
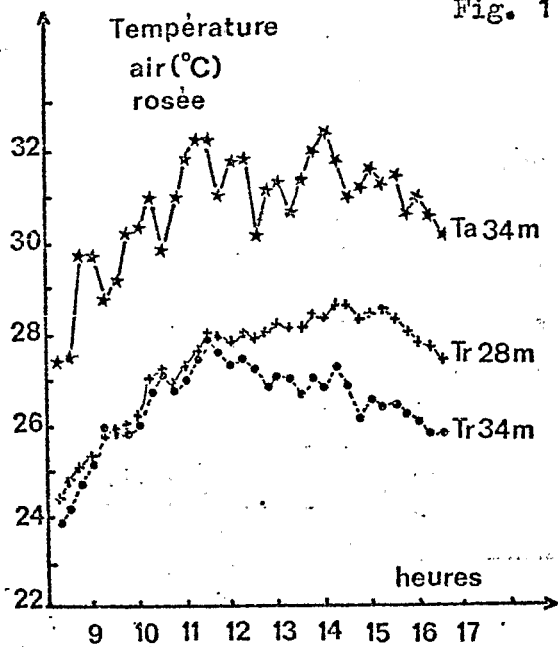


Fig. 1 d : Evolution des différents flux au cours de la journée en relation avec certains paramètres climatiques. 28.04.1982



Les flux mesurés le matin et l'après-midi varient peu. Ces données sont proches de celles obtenues par MONTEITH et al. (1964) et PERRIER et al. (1976).

Toutefois, on peut s'attendre que durant la saison des pluies (juin et juillet), l'activité des microorganismes décomposant la litière sera favorisée par des taux d'humidité plus élevée, entraînant des dégagements de CO<sub>2</sub> plus importants.

La figure 1a, b, c, d représente l'évolution des différents flux mesurés au cours de 4 journées caractérisant d'une part les échanges d'une forêt avec un feuillage de 8-9 mois d'âge (déc. 81 - janv. 82) et d'autre part un couvert refolié depuis un mois (avril 82). La figure 2 donne l'évolution de l'assimilation photosynthétique de la forêt d'*Hevea* en fonction des caractéristiques des masses d'air (température de l'air et du point de rosée) :

On constate, par rapport à un couvert ayant de jeunes feuilles (avril 82), la réduction de l'assimilation photosynthétique liée au vieillissement de son feuillage (déc. 81). A ce facteur d'âge, s'ajoute l'effet du déficit hydrique du sol qui influence la fermeture stomatique, ce qui réduit encore les échanges en gaz carbonique.

En considérant les valeurs de l'assimilation photosynthétique obtenues après équilibre des échanges forêt-atmosphère c'est-à-dire après 12 h. l'efficacité photosynthétique de l'hévéaculture représente près de 4 % du rayonnement net (fig. 3). Cette efficacité, relativement élevée, provient du renouvellement complet de la canopée accompagné d'une réserve hydrique importante.

Des mesures identiques réalisées peu avant la défoliation de l'hévéa (déc. 81) donnent une efficacité photosynthétique de 1,7 % avec des valeurs d'assimilation du gaz carbonique ne dépassant pas 6 Wm<sup>-2</sup>. Avec une alimentation hydrique déficiente, l'assimilation du gaz carbonique ne représente plus que 0,5 % du rayonnement net.

ALLEN et al. (1975) ont obtenu sur une forêt tropicale (Costa Rica) des valeurs d'assimilation photosynthétique plus faibles pour deux journées de mesures.

88

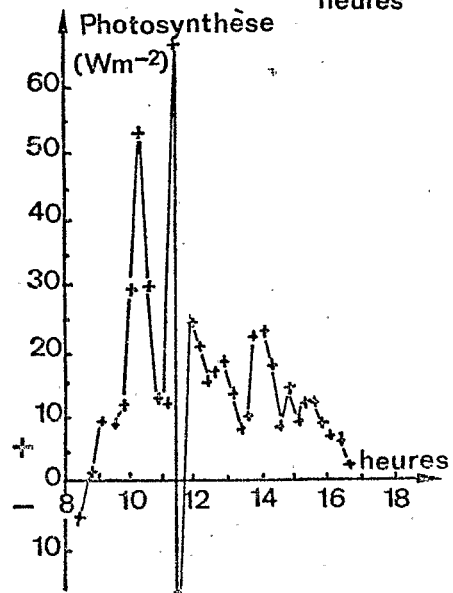
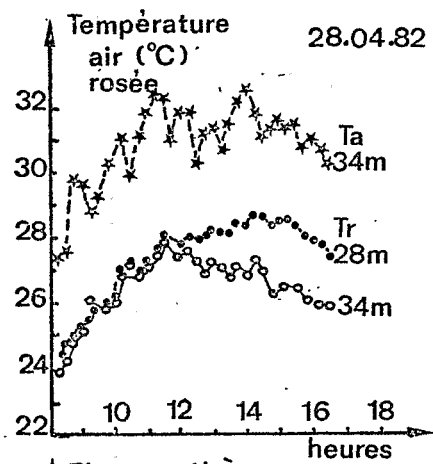
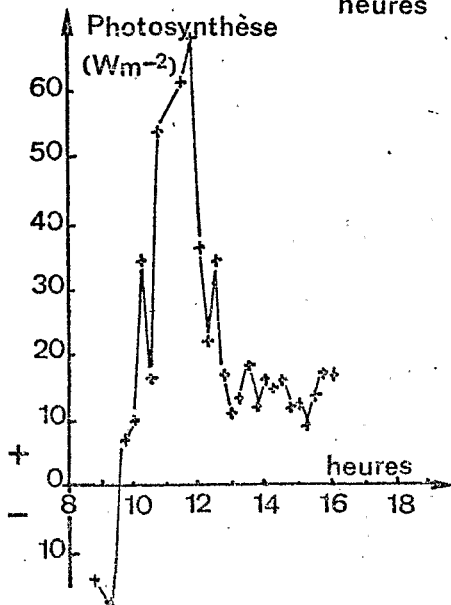
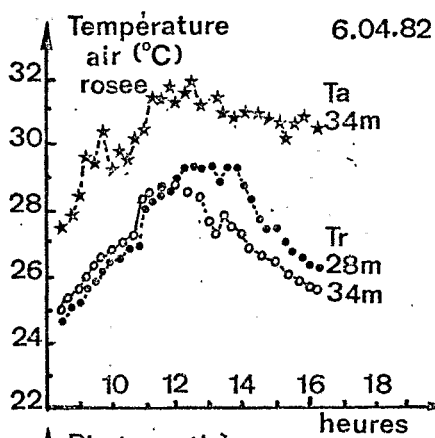
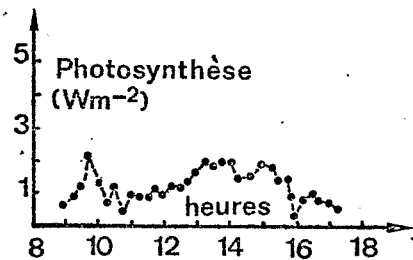
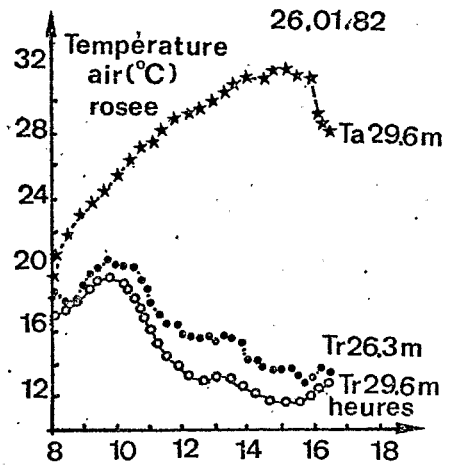
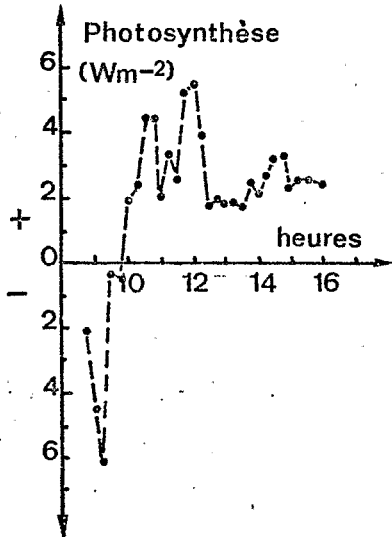
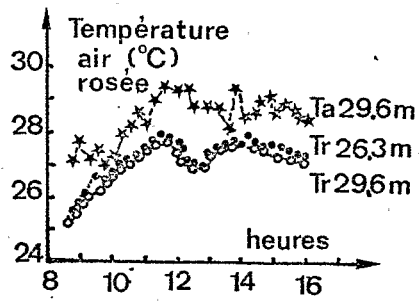
b14  
260182

b15  
60482

b16  
290482

Fig. 2 : Evolution de l'assimilation photosynthétique du couvert végétal au cours de différents types de journées.

22.12.81



## V. DISCUSSION

Les mesures réalisées visent à expliciter les facteurs de variation de la concentration de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère couvrant une forêt d'hévéa qui s'est substituée à la forêt tropicale humide.

Il ressort de cette étude que les fluctuations observées sont sous la dépendance immédiate du régime des vents : régime d'alizé ou d'harmattan.

En effet, l'évolution des profils de concentration de  $\text{CO}_2$  sera essentiellement fonction de la composition de la masse d'air apportée au-dessus du site.

Les résultats obtenus présentent un caractère commun au cours de la matinée : des flux de chaleur latente positifs et des taux d'assimilation photosynthétique très élevés. Ces valeurs, à première vue étonnantes, peuvent se comprendre si on analyse le déterminisme du microclimat local.

Le site de mesure, distant de quelques 20 km de la mer, se trouve sous l'influence maritime. Cette région côtière est généralement soumise aux régimes des brises de terre et brises de mer correspondant à un mouvement des masses d'air de faible épaisseur (0-300 à 500 m d'altitude) allant de terre vers la mer au cours de la matinée (2 à 9-11 h.) et s'inversant vers 9-11 h. suite à la poussée des masses d'air océanique (alizé).

Ces masses d'air sont très chargées en vapeur d'eau (tension de vapeur d'eau 28 à 34 mb) et leur concentration en gaz carbonique (de 330 ppm  $\pm$  10 ppm) est relativement constante.

Au cours de la période nocturne, les masses d'air, aspirées par l'ascension d'air chaud au-dessus de l'océan (température de surface d'eau de mer : 26 à 28°C) se dirigent vers la mer et engendrent les brises de terre.

Le refroidissement à caractère radiatif des surfaces végétales et terrestres est lent en raison de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. Au-dessus de la zone forestière, ce refroidissement peut entraîner :

a. la formation de nappes de brouillard qui se situent à quelques mètres au-dessus de la surface du couvert forestier. Cette nappe de brouillard, liée à une inversion de la température de l'air, piège le gaz carbonique provenant de la respiration du système végétal et du dégagement du sol.

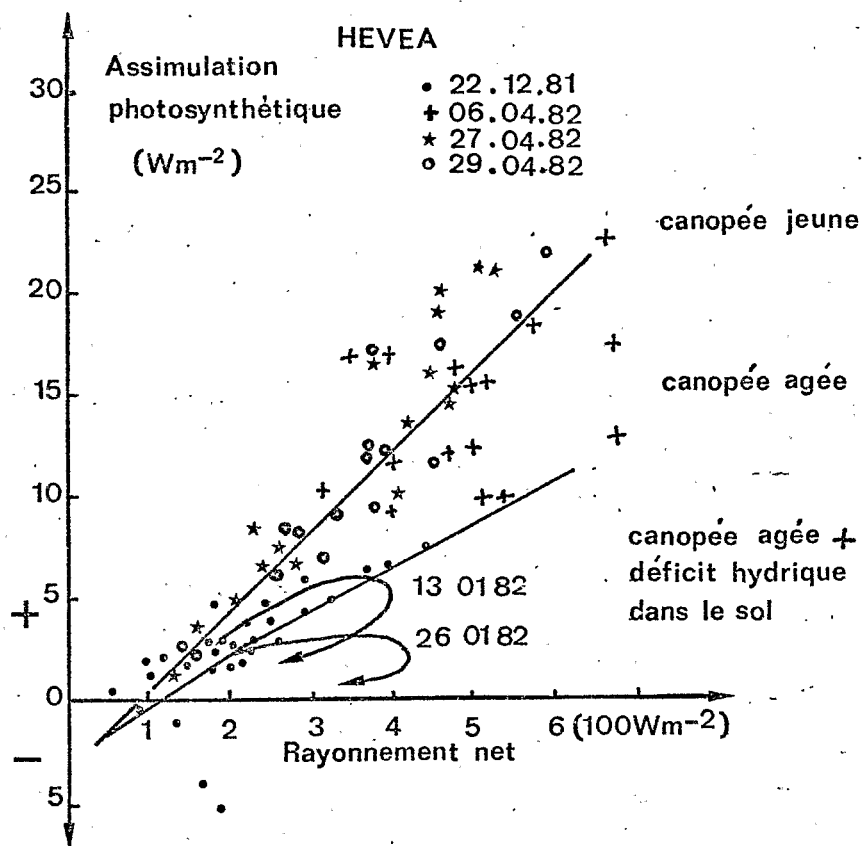


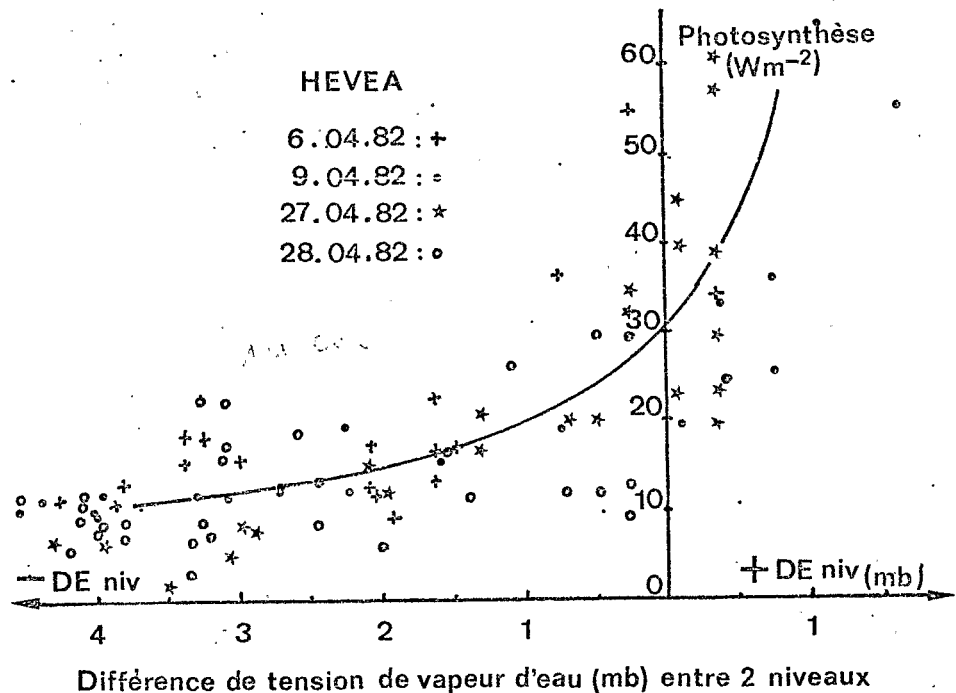
Fig. 3 : Relation entre l'assimilation photosynthétique de la forêt d'hévéa et le rayonnement net selon l'âge physiologique du feuillage et son alimentation hydrique.

b. un dépôt de rosée relativement abondant sur les surfaces végétales.

La dissipation du brouillard dans la matinée n'est pas nécessairement liée à son échauffement par le soleil (l'albedo est élevé) mais proviendrait de la convection thermique, le flux de chaleur sensible (S) étant très important (fig. 1 a,c,d).

Avec un régime de brise de terre bien établi (ex. 06.04 et 28.04.82), on constate que les concentrations de vapeur d'eau et de  $\text{CO}_2$  au niveau supérieur (+8 m au-dessus du couvert) sont plus élevées qu'au niveau inférieur (+2 m) durant une partie de la matinée.

Toutefois, cet apport advectif de vapeur d'eau dans le système n'est pas une source d'énergie, puisqu'il n'y a pas de changement d'état. D'autre part, l'apport de gaz carbonique au système provoque un gradient tel que le taux de fixation du  $\text{CO}_2$ , qui en découle, est très élevé. La figure 4 représentant l'assimilation photosynthétique du couvert végétal en fonction de la différence de tension de vapeur d'eau entre ces 2 niveaux illustre très bien ce phénomène.



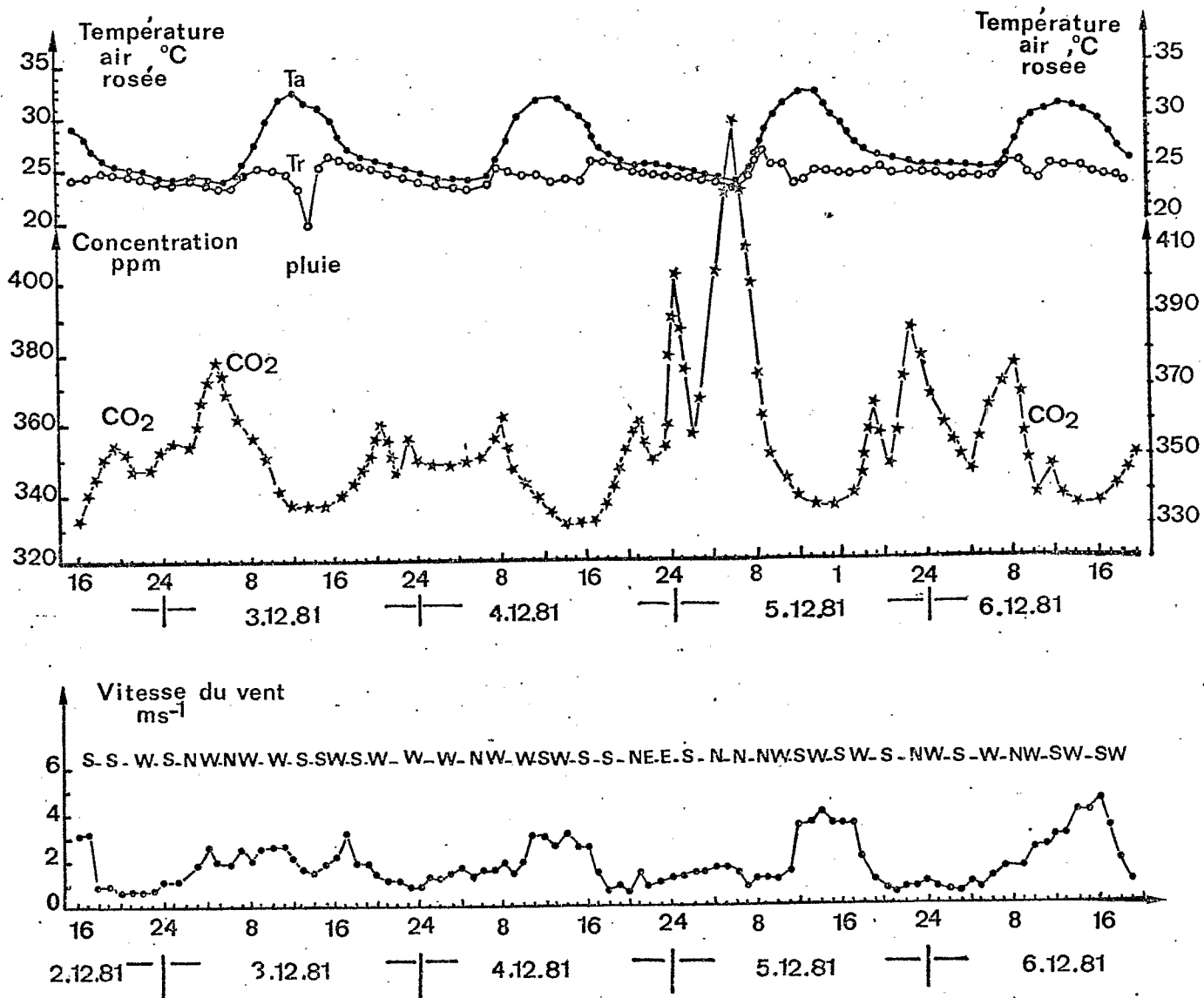
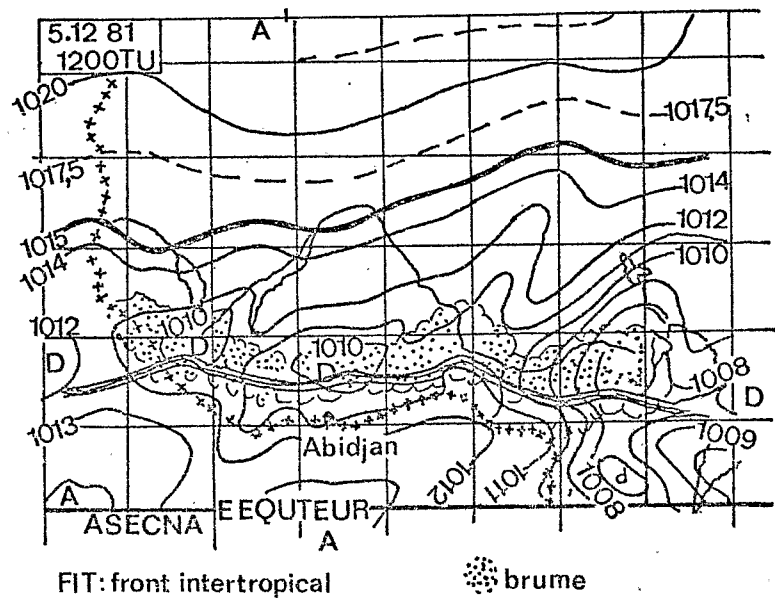


Fig: Evolution de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et situation synoptique générale des pressions au sol mb en Afrique de l'Ouest



Ainsi avec formation de brouillard, les masses d'air, qui durant la période nocturne ont quasiment stagné au-dessus du massif forestier se sont enrichies en vapeur d'eau et en  $\text{CO}_2$ . La brise de terre, en entraînant ces nappes perturbent les échanges énergétiques au niveau de la végétation des zones côtières.

L'étude de l'évolution journalière de la concentration du gaz carbonique au-dessus du massif forestier met en évidence l'incidence du régime des vents sur son activité photosynthétique.

Cette concentration fluctue de manière sinusoïdale. L'amplitude est variable de 50 à 120 ppm, mais la valeur minimale ne descend pas en-dessous des 320 ppm. Les variations sont différentes d'un jour à l'autre, d'une période à l'autre en relation avec la provenance des masses d'air, avec la quantité d'énergie solaire arrivant au sol et avec la possibilité des couverts végétaux de photosynthétiser (fig. 5 à 8).

- durant la phase diurne : l'activité photosynthétique des couverts végétaux, en relation avec l'énergie solaire reçue, absorbe le gaz carbonique de l'atmosphère. Le taux de réduction de la quantité du  $\text{CO}_2$  atmosphérique dépend également du moment où la brise de mer s'établit. Elle provoque l'uniformisation de la répartition du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère. Parallèlement à l'augmentation de la vitesse de ce vent, l'instabilité thermique de l'air s'accroît, autre facteur d'homogénéisation du gaz carbonique dans l'atmosphère. La valeur inférieure de la concentration du  $\text{CO}_2$  atmosphérique varie entre 320 et 340 ppm. Ce phénomène a également été observé par PEARMAN et GARRATT (1973) en Australie.
- en phase nocturne : l'augmentation de la concentration du gaz carbonique est en relation étroite avec l'importance de l'activité respiratoire des couverts végétaux et du flux du  $\text{CO}_2$  provenant du sol. Les variations de l'amplitude de la concentration sont fonction de la vitesse des brises de terre qui passent au-dessus de la zone forestière. Par contre, certains jours, l'augmentation de la concentration du  $\text{CO}_2$  ne présente pas la même amplitude du fait que les masses d'air sont d'origine océanique (SSW) et ne sont que faiblement rechargées en  $\text{CO}_2$  au cours de leur trajectoire (superficie végétale peu importante entre la mer et le site de mesure).

Par contre, au cours des mois de décembre à mars, un phénomène nouveau peut interférer pendant des périodes de quelques jours à 2 ou 3 semaines.

Le front intertropical (FIT) descend vers l'équateur le site de mesure se situe, alors, dans les masses d'air continental, caractérisées par des amplitudes thermiques élevées et une température du point de rosée très basse (5 à 10°C).



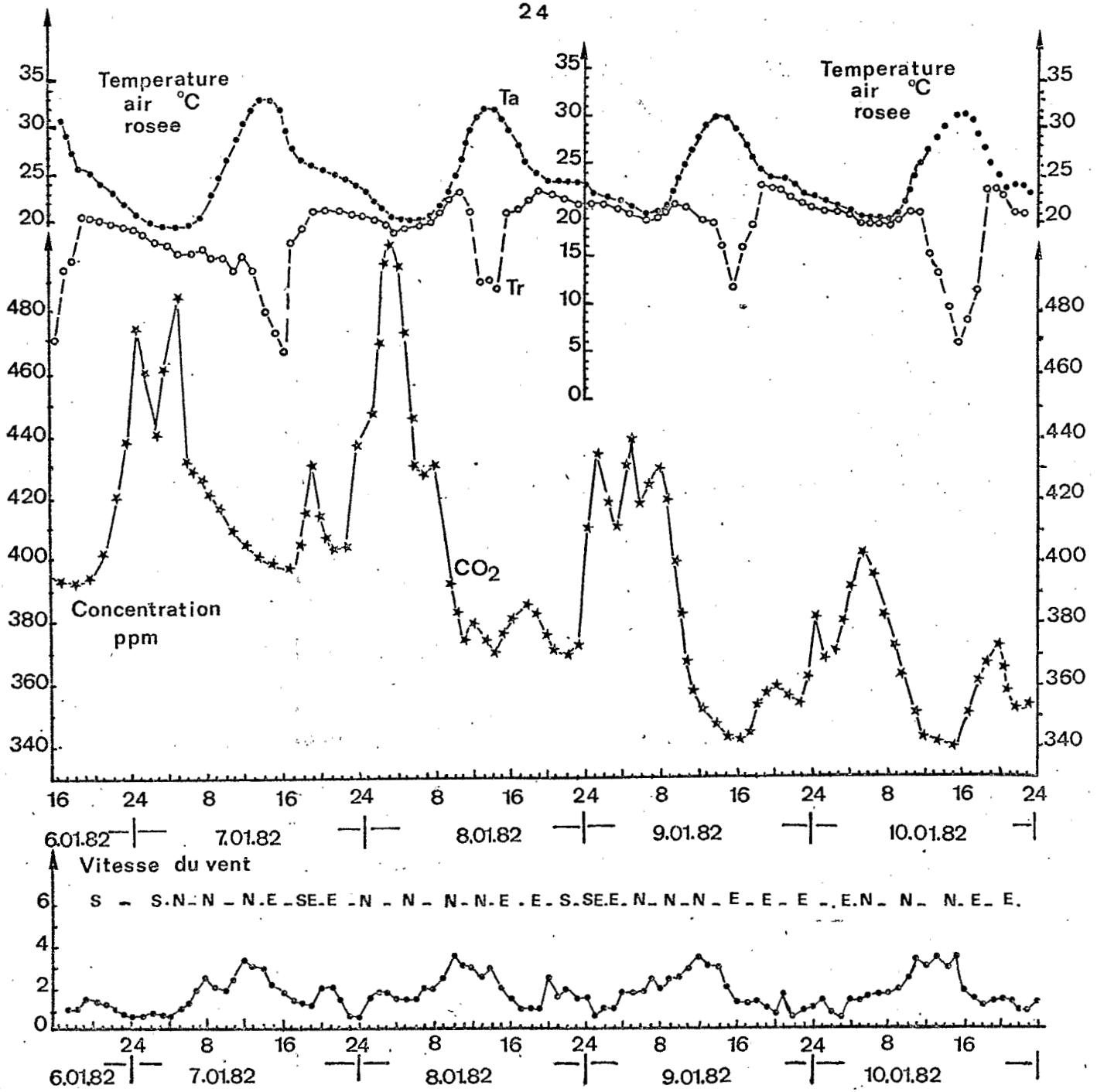
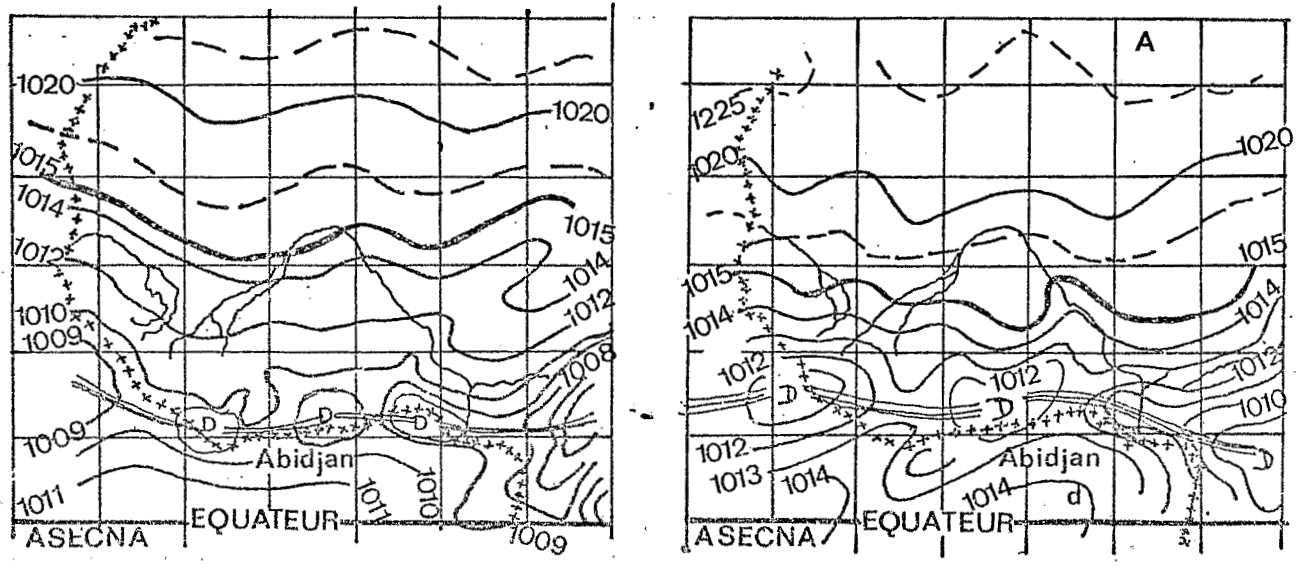


Fig: Evolution de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et situation synoptique générale des pressions au sol mb en Afrique de l'Ouest.





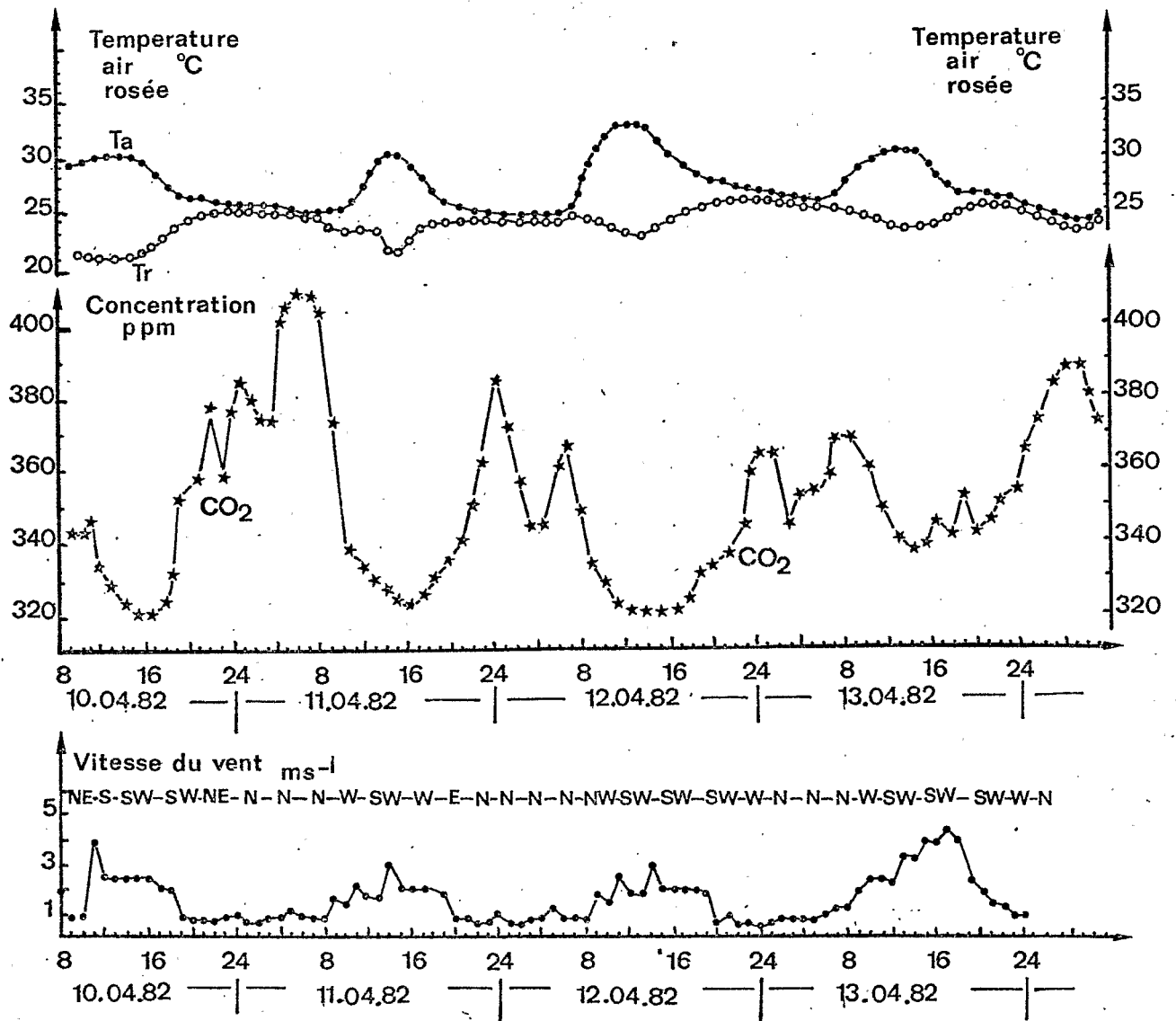
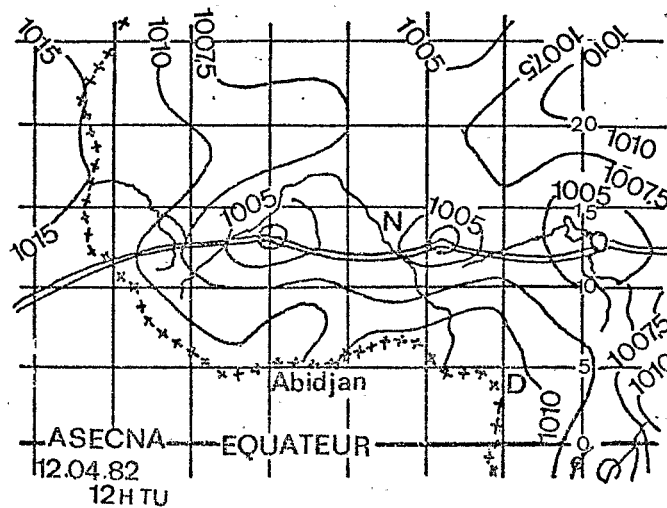


Fig : Evolution de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et situation synoptique générale des pressions au sol(mb) en Afrique de l'Ouest.



On retrouve le caractère sinusoïdal avec des amplitudes de 100 à 130 ppm entre le jour et la nuit mais les concentrations minimales sont plus élevées que précédemment : 380 à 400 ppm (progressivement, avec le retour des masses d'air à caractère plus maritime) (la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère se réduit, du fait du mélange avec l'air océanique) (fig. 6 et 7).

Cette concentration élevée du gaz carbonique dans l'atmosphère est liée principalement :

- = aux incendies en zone de savane de grandes surfaces herbacées. Généralement, ces "feux de brousse" ne sont pas contrôlés et leur extension est favorisée par des vents à caractère tourbillonnaire qui sont fréquents dans ces régions durant la période de saison sèche ;
- = à la faiblesse de l'assimilation photosynthétique des couverts forestiers en relation avec l'épuisement du stock d'eau du sol ;
- = à la vitesse de progression du front au-dessus de la zone forestière.

La remontée vers le nord de la zone des basses pressions équatoriales et donc du FIT entraîne au-dessus du site de mesure la prédominance des vents d'origine maritime (S-SW) durant la partie diurne et au début de la nuit. Ceci se traduit par une certaine constance de la concentration du gaz carbonique de l'atmosphère durant la période diurne.

BOLIN (1977) a estimé que la déforestation et les feux de brousse dans les pays en développement transféraient une quantité de CO<sub>2</sub> représentant 1/5 de la production de gaz carbonique par combustion de matières organiques fossiles. Ces estimations ne s'accordent pas avec les données de ADAMS et *al.* (1977) et WOODWELL (1977) qui considèrent que les quantités de CO<sub>2</sub> émises en région tropicale dans l'atmosphère sont égales, sinon supérieures à celles des régions tempérées.

En réalité, les quantités totales de gaz carbonique injecté dans l'atmosphère sont fonction de l'étendue des surfaces déforestées et débroussaillées et de la biomasse réellement brûlée.

Les estimations pour toute l'Afrique de superficie de forêt brûlée, réalisées par SYNNOTT (1977) (40.000 km<sup>2</sup>) nous semblent manquer de réalisme au vu des enquêtes que nous avons pu faire. HAMPICKE (1977) cite des ordres de grandeurs des surfaces, comprises entre 200.000 et 300.000 km<sup>2</sup>, qui sont, chaque année, brûlées, en région tropicale. WOODWELL et *al.* (1978) nous paraissent plus près de la réalité en estimant que la réduction de la surface totale de la forêt tropi-

cale humide, de  $16.10^6$  km<sup>2</sup> initialement, est de l'ordre de 40 % sur une période de 27 ans.

L'étendue des surfaces végétales de la zone de savane qui est brûlée chaque année dépend également des conditions climatiques : début et durée de la saison sèche et effet des vents du nord (chauds et secs) sont des facteurs qui favorisent l'extension des brûlis dans des zones jusqu'ici encore suffisamment humides pour ralentir et même arrêter les feux.

En Côte d'Ivoire, la plus grande partie de la savane au nord de la zone de forêt, est de plus en plus fréquemment soumise au brûlis. Ces 2 dernières années ont été particulièrement sèches et les ravages par le feu très importants.

Un parcours, effectué en février - mars 82 et janvier 83, nous permet d'évaluer la surface brûlée, en Côte d'Ivoire, à 30.000 / 40.000 km<sup>2</sup> dont 20.000 km<sup>2</sup> en forêt dense. Cette superficie, un dixième du pays, tend à s'accroître d'année en année compte tenu du type d'exploitation agricole et de la croissance démographique.

On comprend que l'injection dans l'atmosphère d'une telle quantité de gaz carbonique, provenant de la combustion de cette matière organique, n'est pas négligeable.

Toutefois, l'augmentation de la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère n'a été observée qu'au cours du mois de janvier avec l'arrivée de l'alizé boréal près de l'équateur. Déjà, au mois de mars, la concentration moyenne a diminué. Avec les premières pluies, il est probable que l'activité photosynthétique des couverts végétaux existant et en régénérescence, réabsorbe une grande quantité du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Le "cycle" de CO<sub>2</sub> est plus rapide dans les zones de savane où le type de végétation est plus généralement annuel qu'en zone forestière où la régénération des couverts détruits nécessite plusieurs dizaines d'années.

## VI. CONCLUSION

L'étude des échanges énergétiques qui se produisent entre la forêt d'hévéa et l'atmosphère a été réalisée à l'aide de la méthode du bilan d'énergie/rapport de BOWEN plus appropriée aux conditions climatiques de la région où l'expérimentation est conduite.

Dans les conditions d'équilibre entre le couvert forestier et la masse d'air océanique (concentration de gaz carbonique : 330 ppm  $\pm$  10 ppm), le taux d'assimilation photosynthétique est relativement élevé, de l'ordre de 4 % du rayonnement net peu après la refoliation et pour des conditions hydriques du sol non limitantes. Le vieillissement du feuillage entraîne une réduction de l'assimilation photosynthétique de 60-65 % qui ne représente plus que 1,7 % du rayonnement net.

Des perturbations importantes, liées aux mouvements des masses d'air ayant des caractéristiques différentes qui se produisent au cours de la matinée induisent des estimations des taux photosynthétiques très variables, élevées ou parfois négatives. Dans ces conditions, l'établissement du bilan carboné du couvert forestier doit être réalisé avec prudence.

Les mesures de concentrations du CO<sub>2</sub> atmosphérique ont permis de mettre en évidence une variation à caractère sinusoïdal. Cette variation, liée aux échanges biologiques des couverts végétaux et aux activités humaines a pu être corrélée aux mouvements des masses d'air

- = de petite échelle, correspondant au va et vient des brises de terre - brises de mer qui évoluent tantôt au-dessus de la zone de forêt, tantôt au-dessus de l'océan,

- = de grande échelle, par le balancement du nord vers le sud de la zone de convergence intertropicale.

En période diurne, la réduction de la concentration de la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère provient de la superposition de l'activité photosynthétique des couverts végétaux, de la provenance des masses d'air et de la convection thermique qui brasse l'atmosphère sur une plus grande épaisseur.

L'augmentation brutale de la concentration de CO<sub>2</sub> lors du passage de la zone des basses pressions équatoriales au-dessus du site de mesure est la conséquence des mises à feu des vastes zones herbacées dans le nord et de l'abattage pour la préparation des champs de cultures en zone forestière.

Les variations de la concentration du CO<sub>2</sub> atmosphérique sont considérables au-dessus des surfaces terrestres alors qu'elle est relativement stable quand les vents viennent de la mer.

VII. BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS, J.A. ; MANTOVANI, M.S. et LUNDELL, L.L. (1977).- Wood Versus fossil fuel as a source of excess carbon dioxide in the atmosphere.  
Science 196 : 54-55.
- ALLEN, L.M. et LEMON, E.R. (1976).- Carbon dioxide exchange and turbulence in a Costa Rica tropical rain forest.  
*in* : "Vegetation and the atmosphere", vol. 2 : 265-308.  
ed. MONTEITH, J.L.
- ALLEN, L.M., HANKS, R.J. ; AASE, J.K. et GARDNER, M.R. (1974). Carbon uptake by wide - row grain sorghum computed by the profile Bowen ratio.  
Agron. J. 66 : 35-41.
- BARBIER, J.M. (1983).- Bilan d'énergie et évapotranspiration d'un couvert d'*hévéa* en Côte d'Ivoire. 161 p.  
Thèse de Docteur-Ingénieur - Université de Paris Sud.
- BOLIN, B. - Changes in land biota and their importance for carbon cycle.  
Science 196 : 613.
- ELDIN, M. (1971).- Le climat. *in* "Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire".  
Mémoire ORSTOM, 50 : 73-108.
- HAMPICKE, U. (1977).- Net transfer of carbon between the land biota and the atmosphere induced by man. 219-236  
*in* "The global carbon cycle".
- MONTEITH, J.L. ; SZEICZ, G. et YABUKI, K. (1964).- Crop photosynthesis and the flux of CO<sub>2</sub> below the canopy.  
J. Appl. Ecol. 1 : 321-337.
- MONTENY, B.A. ; BARBIER, J.M. et LHOMME, J.P. (1981).- Echange radiatifs et bilan d'énergie d'un couvert forestier d'*Hevea*.  
Rapport ORSTOM 29p.
- MONTENY, B.A.; BARBIER, J.M. et OMONT, C. (1982).- Micrometeorological study of an *Hevea* forest plantation, 20p.  
International Symposium : Land clearing and development in relation to environmental protection in the humid and sub humid tropics.

- MONTENY, B.A. (1982).- Variation de la concentration du gaz carbonique de l'atmosphère en basse Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, 14p.
- PEARMAN, G.I. et GARRATT, J.R. (1972).- Global aspects of carbon dioxide.  
SEARCH : 3 : 67-73.
- PEARSON, R.A. (1975).- On the asymetry of the land-breeze seabreeze circulation.  
Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 101 : 529-536.
- PERRIER, A. ; ITIER, B. et JAUSSELY, B. (1977).- Etude de la photosynthèse en plein champ 113-136.  
*in* "Les processus de la production végétale primaire"  
ed. MOYSE, A. Gauthier-Villars.
- SAUGIER, B. (1974).- Transports de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau à l'interface végétation-atmosphère, interaction du microclimat avec le comportement physiologique de plantes prairiales.  
Thèse d'Etat - Université de Montpellier.
- STEWART, J.B. ; THOM, A.S. (1973).- Energy budgets in pine forest.  
Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 99 : 154-170.
- SYNNOTT, T.J. (1977).- Monitoring tropical forests : a review with special reference to Africa.  
Reports 45p. Chelsea College - London.
- WOODWELL, G.M. ; WHITTAKER, R.H., REINERS, W.A. (1978).- The biota and the world carbon budget.  
Science 199 : 141-145.
- WOODWELL, G.M. (1978).- The carbon dioxide question.  
Scientific American 238 : 34-43.