

# SYSTEME D'ANALYSE DES RELATIONS ENTRE LE COUVERT VEGETAL ET LES PARRAMETRES CLIMATIQUES

Bruno MONTENY et Jean Paul LHOMME

ORSTOM Centre d'Adiopodoumé  
B.P.V 51 Abidjan  
(Côte d'Ivoire)

## INTRODUCTION

L'accroissement constant des besoins en produits d'origine végétale entre autre pour notre alimentation, nécessite que l'agriculture devienne de plus en plus efficiente dans l'utilisation de l'énergie solaire et de l'eau disponibles. L'augmentation de la productivité des cultures est liée à l'amélioration des pratiques culturales qui implique une meilleure compréhension de l'influence de certains paramètres du climat sur la croissance et le développement du couvert végétal.

Les données des essais réalisés, en Côte d'Ivoire notamment, sont nombreuses mais les conditions dans lesquelles ces essais ont été effectués sont variées. L'expérimentation scientifique évolue rapidement et il s'avère dans de nombreux cas que les résultats obtenus, à caractère descriptif pour la plupart, sont imprécis ou incomplets. Il conviendrait de centraliser l'ensemble des valeurs actuellement disponibles, de les exprimer dans un système cohérent qui permette de réaliser une synthèse pouvant être utilisée aisément et rapidement par les divers organismes susceptibles d'intervenir dans l'amélioration des rendements agricoles. Certains d'ailleurs ont déjà compris l'importance d'un fichier qui comprendrait l'ensemble des informations récoltées dans le cadre de leurs expérimentations et utilisable pour des applications directes.

Nous pensons qu'avec les possibilités que l'informatique met à notre disposition, la recherche ne peut plus se limiter à garder un caractère descriptif mais doit prendre une direction résolument dynamique pour répondre à moyen et à long terme aux besoins par une meilleure gestion des activités agricoles.

A une échelle plus modeste, le laboratoire de Bioclimatologie du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé s'est employé depuis quelques années à développer un système bioclimatique qui permette de *comprendre et d'analyser les bilans*, que ce soient *radiatif, énergétique ou hydrique* ; ensuite de *formuler une synthèse* des résultats qui donne lieu à un *concept dynamique* traduisant les multiples échanges qui s'établissent entre une culture et son milieu. Une application de ce système a été, à ce jour, réalisée pour le riz ; nous prendrons cet exemple pour illustrer l'exposé.

## PRESENTATION DU SYSTEME BIOCLIMATIQUE UTILISE

Dans les multiples liens qui s'établissent entre les différents paramètres du climat et ceux de l'organisme vivant, il est extrêmement complexe de percevoir les interactions sur lesquelles on pourrait intervenir afin d'améliorer la productivité du système biologique. L'estimation des potentialités culturales d'une région peut être exprimée à l'aide de modèles analytiques et comparée avec les résultats obtenus ailleurs pour des conditions climatiques identiques. Dans le cadre d'une utilisation ration-

nelle des informations disponibles et de l'élaboration d'une synthèse des résultats, nous avons organisé les étapes du programme comme suit :

1. Rassemblement d'un maximum de documentation concernant :
  - = le milieu climatique : afin de prévoir l'évolution des paramètres qui le caractérisent. En effet, l'équilibre de ce milieu correspond à la résultante entre les différents échanges énergétiques et donc dépendra de la fraction d'énergie solaire reçue, des quantités de chaleur et d'humidité présentes dans les masses d'air, de la formation des nuages qui conditionnent la transparence de l'atmosphère aux rayons solaires. L'analyse de la succession de ces paramètres permet la prévision de leur évolution.
  - = la réaction de l'organisme aux différents stimuli du milieu : captation de l'énergie solaire, importance des variations de la photosynthèse, effet des stress hydriques, développement...
  - = l'impact de certains facteurs limitants non climatiques (minéral, parasitaire...) intervenant sur les composantes essentielles du rendement.
2. Partie expérimentale : étude complémentaire permettant de vérifier certaines données rassemblées et de les compléter. Le protocole est défini à la suite de l'examen bibliographique concernant essentiellement les interactions sol-plante-climat. Cette étude fournit la majorité des données de base de l'analyse bioclimatique.
3. Exploitation des données et résultats expérimentaux par traitement automatisé.
4. Synthèse et extrapolation - Prévisions.  
Caractérisation du milieu bioclimatique d'une région pour organiser les interventions durant le développement du couvert végétal et la planification des activités agricoles ; à plus long terme, pour déterminer les régions susceptibles d'être mises en valeur par l'introduction ou l'extension d'une culture donnée.

#### SCHEMA GENERAL DE L'ETUDE BIOCLIMATIQUE

La production agricole, ou le rendement d'une culture, est définie par le rapport de la quantité de produit obtenu à l'unité de surface cultivée (ex. : rendement du riz 2,5 T/ha). Cette quantité du produit - stockée sous forme de grains, de tubercules, de fruits, etc... est en fait la résultante finale des multiples interactions réciproques entre les paramètres du milieu qui déterminent le climat (énergie solaire, pluie, température, réserve en eau du sol, etc...) et les caractéristiques biologiques de la culture (architecture, transpiration, photosynthèse, croissance...).

La matière organique formée correspond à la fixation du gaz carbonique en hydrate de carbone avec captation d'une fraction de l'énergie solaire par la réaction de photosynthèse. En exprimant alors le rendement en unités énergétiques comme le rapport entre la quantité d'énergie fixée dans le produit et la quantité d'énergie reçue globalement, on obtient, par exemple, dans le cas : de la production de matière sèche totale (racines - tiges - feuilles - grains = 7 T/ha) :

$$\frac{700 \text{ gr MS m}^{-2} 120 \text{ j}^{-1} \times 16,7 \text{ kJ gr}^{-1} \text{ MS}}{14,4 \cdot 10^5 \text{ kJ m}^{-2} 120 \text{ j}^{-1}} = 0,0081$$

ou 0,8 %

de la production des grains uniquement (2,5 T/ha) :

$$\frac{250 \text{ gr MS m}^{-2} 120 \text{ j}^{-1} \times 16,7 \text{ kJ gr}^{-1} \text{ MS}}{14,4 \cdot 10^5 \text{ kJ m}^{-2} 120 \text{ j}^{-1}} = 0,0029$$

ou 0,3 %

## SCHEMA GENERAL

. Paramètres climatiques  
(parc météorologique)  
Rg h Ta Th Tsol HR V e P1 ...

COLLECTE DES DONNEES DE BASE

↓  
Vérification - Transcription  
↓

STOCKAGE DE L'INFORMATION



Etude statistique des données  
- distribution du rayonnement  
- fréquence des pluies  
- ....

TRAITEMENT DES INFORMATIONS  
POUR L'ANALYSE ORGANIQUE

Vérification des méthodes expérimentales  
par comparaison entre deux systèmes de  
mesures.

Formulation climatique

ex :  $R_n = aR_g + b$

$$ET = \frac{P'}{P' + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\gamma + P'} E_a$$

Etudes des corrélations

Etablissement des bilans radiatifs,  
énergétiques et hydriques en fonction  
des caractéristiques des couverts vé-  
gétaux et autres facteurs.

Exploitation des résultats  
Interprétation

SYNTHESE BIOCLIMATIQUE

Etablissement d'un calendrier  
pour activités agricoles  
dates de semis, irrigations ...

↓  
Possibilité d'extension d'une  
culture dans une région pré-  
sentant des potentialités fa-  
vorables

Etude comparative des actions des  
paramètres climatiques pour une  
même région.

Ces faibles rendements énergétiques résultent de diverses causes :

- la fraction d'énergie absorbée est fonction de l'état de développement foliaire et de la distribution verticale des feuilles ;
- les stress hydriques ainsi que certaines déficiences minérales (K, N, Fe, Mg, ...) freinent l'assimilation du CO<sub>2</sub> ;
- le niveau de conversion de l'énergie solaire dans la réaction de photosynthèse est très faible ;
- interventions parasitaires.

Toute amélioration du rendement énergétique se traduira nécessairement par une augmentation du rendement de la culture. Afin de pouvoir intervenir plus efficacement sur l'accroissement de la productivité, nous avons analysé certains niveaux de la transformation de l'énergie en relation avec les caractéristiques de la culture.

Conscient des difficultés que rencontrerait la mise en place d'un système analytique sophistiqué nécessitant une technologie avancée et coûteuse, des *possibilités d'acquisition* et de *traitement automatique des données*, nous avons opté, dans un premier temps, pour un système de transformation des données mesurées en valeurs directement utilisables et stockables sur *cartes perforées*.

Ces informations chiffrées sont traitées suivant les différents programmes établis pour les analyses organiques envisagées (schéma général).

#### COLLECTE DES DONNEES DE BASE

Comme dans tout système informatique, l'élément primordial est la collecte des données. Celles-ci caractérisent deux niveaux (fig. 1) :

- a) à l'échelle de la région : ce sont les *valeurs journalières* des facteurs climatiques qui sont enregistrées après vérification. Un *tableau récapitulatif mensuel* de ces informations est diffusé, tout comme le résumé des valeurs mensuelles après le calcul des *moyennes interannuelles* (MONTENY, ELDIN, 1977).
- b) à l'échelle de la culture ; les *valeurs instantanées* des paramètres microclimatiques mesurés à quelques mètres au-dessus d'un couvert, sont enregistrées aux différents stades de développement. Un dépouillement préliminaire de ces données brutes est effectué avant stockage pour vérification de leur validité (annexe 1).

#### TRAITEMENT DES DONNEES

Le stade ultérieur concerne le traitement à proprement parler de l'ensemble des informations ainsi fichées et nécessite l'emploi de différents *programmes de calcul* plus élaborés, écrits en langage Fortran. Ils permettent l'analyse d'un problème concret et fournissent des réponses rapides qu'il serait pratiquement impossible d'obtenir sans l'aide de l'informatique.

##### Etude du bilan radiatif (Fig. 1)

Tout système végétal reçoit de *l'énergie solaire*, R<sub>g</sub>, dont les longueurs d'onde sont comprises entre 300 et 3000 nm. Une autre quantité provient de l'émission d'énergie liée à la température des constituants atmosphériques (gaz CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et les poussières) et des nuages : c'est le *rayonnement atmosphérique*, R<sub>a</sub>, dont les longueurs d'onde se situent au-delà des 3000 nm. Simultanément, le système perd de l'énergie par *réflexion*, R<sub>r</sub>, par la surface végétale d'une fraction du rayonnement global dont les quantités sont fonction des propriétés optiques des surfaces ( $\lambda < 3000$  nm) ;

# SYNTHESE BIOCLIMATIQUE

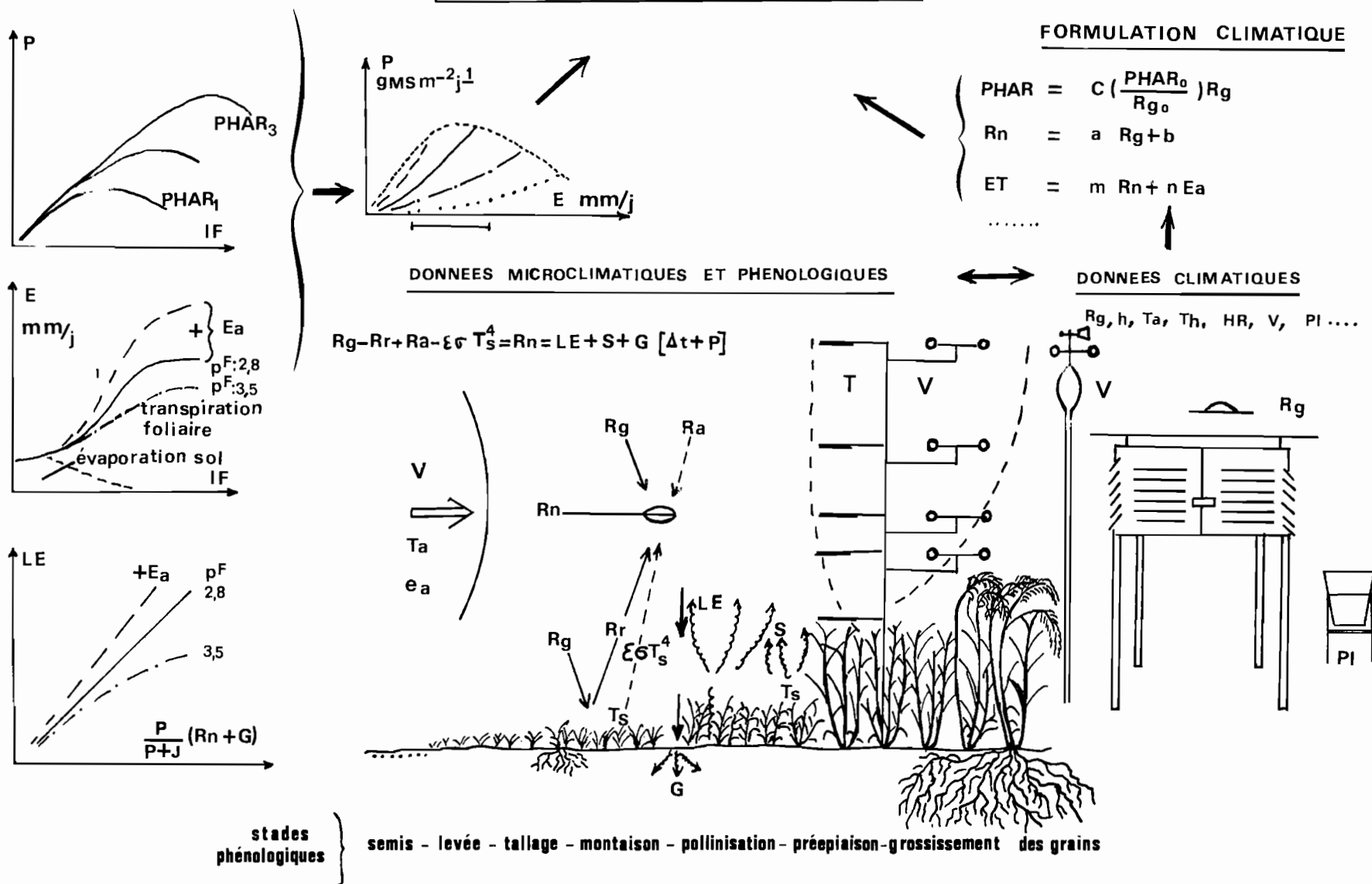


Fig. 1 : Représentation resumée des interactions sol-plante-atmosphère pour l'élaboration de la synthèse bioclimatique d'une région.

en outre, le couvert végétal rayonne une quantité d'énergie vers l'atmosphère, fonction de sa température de surface ( $\epsilon\sigma T_s^4$ ), dont les longueurs d'onde sont supérieures à 3000 nm.

Ainsi, le rayonnement net de la culture, correspondant au bilan des différents rayonnements, répond à l'équation :

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

Les résultats de l'analyse des bilans radiatifs réalisée sur plusieurs cultures en différentes localités de Côte d'Ivoire (MONTENY, LHOMME 1979, MONTENY, GOSSE 1976, MONTENY et al. 1979) ont montré que le facteur essentiel des variations observées est le rayonnement solaire global  $R_g$ . Les mesures du rayonnement global sont assez simples à effectuer et nombreuses au niveau du réseau météorologique ivoirien (MONTENY et al. 1978, MONTENY et al. 1976). Pour palier le manque de mesures du bilan radiatif  $R_n$  qui ne sont pas réalisées malgré son importance, nous avons cherché à déterminer les relations statistiques qui permettent une estimation du rayonnement net à partir du rayonnement global. La relation générale obtenue, à l'échelle diurne, a un caractère linéaire du type :

$$R_n = 0,67 R_g + 5,4 \quad \text{en } W.m^{-2} \quad (2) \\ r = 0,98$$

Le coefficient de corrélation est très élevé et largement suffisant pour les applications agronomiques. D'autre part, l'analyse montre que :

- 1) la pente de la droite de régression varie peu en fonction du développement végétatif du couvert végétal ;
- 2) les droites de régression correspondant aux diverses cultures étudiées sont très voisines les unes des autres.

Ces constatations sont importantes et facilitent l'utilisation de telles relations.

En absence de mesures de rayonnement global  $R_g$ , grand nombre de stations climatiques effectuent des mesures de durée d'insolation enregistrées par héliographe Campbell. La valeur de  $R_g$  est liée à la durée d'insolation par une relation linéaire. Celle-ci a été établie sur les valeurs de trois stations actinométriques (Adiopodoumé - ORSTOM, Lamé - IRHO, Bouaké - IRAT) :

$$R_g = (0,46 \frac{h}{H} + 0,23) R_{g_0} \quad \text{en } J \text{ cm}^{-2} \text{ j}^{-1} \quad (3) \\ r = 0,86$$

$R_{g_0}$  : rayonnement solaire hors atmosphère

H : durée astronomique du jour

h : durée d'insolation.

#### Etude du bilan énergétique (Fig. 1)

La quantité d'énergie absorbée par la culture,  $R_n$ , intervient dans les différents processus physiologiques que l'équation du bilan d'énergie traduit de la manière suivante :

$$R_n = LE + S + G \quad (4)$$

avec  $R_n$  : rayonnement net du couvert végétal ;  
(mesuré directement ou estimé à partir de  $R_g$ )

LE : quantité d'énergie utilisée pour la vaporisation de l'eau provenant de la transpiration foliaire et de l'évaporation du sol  
= évapotranspiration ; avec L = chaleur latente de vaporisation de l'eau ;

- S : quantité d'énergie échangée par convection entre le couvert végétal et l'atmosphère ;  
G : quantité d'énergie échangée par conduction entre le couvert et le sol (mesure directe).

La fraction d'énergie fixée au niveau de la matière organique par l'activité photosynthétique du système végétal étant très faible (<1%), elle sera négligée dans un premier temps.

Les différents termes de l'équation sont considérés comme positifs s'ils représentent un gain d'énergie pour la culture et négatifs dans le cas contraire.

Les flux convectifs doivent être calculés à partir de l'expression classique :

$$E = K (C_2 - C_1) \quad (5)$$

$$S = K (T_2 - T_1) \quad (6)$$

avec K : coefficient d'échange

$C_2 - C_1$  } : gradient d'un paramètre microclimatique - concentration  
 $T_2 - T_1$  } : de vapeur d'eau (C), température (T) - entre deux niveaux  $z_1$  et  $z_2$  situés dans la couche de flux conservatif.

Le coefficient d'échange K est déterminé par la méthode aérodynamique suivant le profil des vitesses du vent au-dessus de la culture (LHOMME et al. 1979). En mesurant les termes  $R_n$  et G et en calculant le flux de chaleur sensible S suivant l'équation (6), le flux de chaleur latente de vaporisation est obtenu par différence en tant que terme résiduel de l'équation générale (4) (annexe 2).

Pour une culture bien développée dont l'alimentation hydrique est correcte, l'évapotranspiration E est fortement liée à l'évolution du rayonnement net. Cette étroite dépendance nous a conduit à préciser le type de relation existant entre ces deux termes (fig. 1). L'équation obtenue, compte tenu de la fraction d'énergie G, s'écrit :

$$LE = 1,06 \frac{P'}{p' + \gamma} (R_n + G) - 23,6 \quad \text{en } W.m^{-2} \quad (7)$$

$r = 0,96$

Elle correspond à la fraction d'énergie utilisée pour le passage de l'eau de l'état liquide à l'état vapeur. C'est l'aspect énergétique du phénomène, mais l'évapotranspiration dépend aussi d'un processus de diffusion de vapeur d'eau dans l'air à caractère convectif. En basse Côte, l'importance de ce caractère est négligeable car il est en relation directe avec le déficit de pression de vapeur d'eau de l'air qui est faible (forte humidité relative). Toutefois, particulièrement en régions sèches l'apport d'énergie convective à la culture, lié aux caractéristiques des masses d'air ( $T_a$ , HR,  $e_a$ ) et à ses mouvements (vitesse et direction) se traduit par un accroissement de l'évapotranspiration globale.

Dans les conditions où un déficit hydrique temporaire apparaît (pF du sol augmente de 2,8 à 3,5 par exemple), l'évapotranspiration se réduit en relation avec l'importance du caractère limitant imposé à la culture. En effet, le couvert végétal réagit en fonction des réserves hydriques (exprimées en pF = force de succion du sol). Les stomates jouent un rôle important dans la régularisation des flux, tant pour celui de la vapeur d'eau que du gaz carbonique. Ceci signifie que l'évapotranspiration de la culture n'est plus proportionnelle à la fraction d'énergie absorbée puisque limitée par la quantité d'eau du sol (fig. 1). Les pertes d'énergie du couvert s'effectuent alors davantage par les échanges de chaleur (S) et les gradients thermiques deviennent plus élevés entre la culture et l'air. En intégrant les valeurs instantanées de l'évapotranspiration mesurée au cours de la journée, exprimée en  $mm.j^{-1}$ , et en les représentant en fonction du

développement des surfaces foliaires IF de la culture, on obtient une relation à caractère sigmoïde (fig. 1).

En effet, en absence ou au début de végétation, l'évapotranspiration correspond principalement aux pertes d'eau évaporée au niveau de la surface du sol. Avec le développement des feuilles, le degré de recouvrement du sol augmente, réduisant l'évaporation par le sol mais augmentant davantage les pertes d'eau par le processus de transpiration. En fin de végétation, la fanaison des surfaces d'échange réduit également l'évapotranspiration de la culture.

Outre le rayonnement net, d'autres paramètres climatiques interviennent dans le processus de l'évapotranspiration ET comme nous l'avons vu précédemment.

La détermination de l'évapotranspiration par une formulation climatique a été établie par PENMAN.

$$ET = \frac{P'}{p' + \gamma} (R_n + G) + \frac{\gamma}{\gamma + p'} E_a \text{ en mm.j}^{-1} \quad (8)$$

avec  $P'$  : pente de la courbe de pression de vapeur saturante pour la température de l'air

$\gamma$  : constante psychrométrique (0,67 mb)

$E_a$  : pouvoir évaporant de l'air (lié à la vitesse du vent et au déficit de saturation de vapeur d'eau de l'air)

Pour l'ensemble des résultats analysés de basse Côte et dans le Centre du pays, et compte tenu des relations déterminées précédemment, nous avons obtenu les coefficients suivants pour l'équation de PENMAN :

$$ET = 0,49 R_g + 0,07 (1 + 0,54 V) (E_{Ta} - \bar{e}) \text{ en mm.j}^{-1} \quad (8')$$

Les rapports effectués entre les valeurs d'évapotranspiration ainsi calculées et celles mesurées (E) sur une culture varient en relation avec les stades phénologiques :

$$k = \frac{E \text{ mesurée}}{ET \text{ calculée}} = 0,5 \text{ à } 1,1$$

Il convient donc de moduler l'ET calculée en fonction du stade phénologique par le coefficient k pour correspondre aux besoins hydriques réels de la culture. Dans le cas du riz pluvial, nous avons retenu :

k = 0,5 en début de végétation  
0,75 durant la phase de tallage - début montaison  
1,0 pour les stades de préépiaison, floraison et grossissement du grain.

Dans l'équation (4) le terme P - fraction d'énergie fixée dans la matière organique - avait été négligé. Or, il constitue pour nos besoins et en particulier pour notre alimentation, le terme primordial sur lequel doivent porter nos efforts d'amélioration.

C'est pourquoi, une relation mérite une attention plus particulière: elle exprime la productivité du couvert végétal P suivant son développement foliaire IF en fonction de la fraction photosynthétiquement active du rayonnement (PHAR) journalier reçu (MONTENY, 1971, MONTENY, GOSSE, 1978) (cf. fig. générale).

Le développement foliaire, qui dépend en partie de la densité de semis, ne peut dépasser une certaine valeur sous peine de réduire la productivité dès que la fraction d'énergie PHAR diminue.

Ainsi, compte tenu de l'évolution de l'évapotranspiration E du couvert végétal et de sa production de matière organique P correspondante,



la corrélation entre ces deux termes permet de déterminer les potentialités agricoles de la région ainsi que les facteurs limitant la productivité du couvert végétal.

Ainsi s'impose l'importance de l'évolution annuelle du climat radiatif d'une région, ce qui permet de déterminer les périodes favorables énergétiquement pour certains stades phénologiques de la culture.

Pour croître et se développer, le couvert végétal doit donc disposer d'une certaine quantité d'énergie et d'une certaine quantité d'eau susceptibles de satisfaire complètement ou du moins largement son évapotranspiration. Ces quantités d'eau, dans les conditions naturelles proviennent des pluies. C'est un autre paramètre climatique déterminant et souvent limitant pour le développement des cultures et donc du rendement final.

### Etude du bilan hydrique

Du bilan hydrique général, nous retiendrons, dans un premier temps que ce dont la plante dispose. En réalité, ce n'est pas tant la quantité totale d'eau reçue qui importe mais plutôt sa répartition au cours de l'année et plus précisément durant le cycle de développement du couvert car c'est à ce niveau qu'il interviendra dans le processus de productivité. La connaissance de la répartition annuelle de la pluviosité est donc primordiale pour l'introduction de nouvelles cultures ou pour déterminer les dates les plus favorables à leur mise en place. Ce genre d'étude ne peut être effectuée que par le traitement statistique (LHOMME, MONTENY, 1978). En effet, l'utilisation des lois de probabilité rendant compte de l'allure des courbes expérimentales permet de donner la fréquence d'obtention d'une quantité de pluies donnée durant une période déterminée, mais sans indiquer si la culture est correctement alimentée en eau (annexe 3).

Pour que l'étude du facteur hydrique soit davantage associée au développement de la culture, il est plus intéressant d'analyser son bilan hydrique climatique :  $P - k$  ET en fonction de l'évolution des stades phénologiques.

L'intérêt de ce type d'analyse fréquentielle est de mettre en évidence certains risques climatiques limitants sur la production de la culture compte tenu de la période d'implantation (LHOMME, MONTENY, 1979). Une telle analyse a été réalisée dans le cas d'un riz pluvial.

### APPLICATION DE L'ETUDE BIOCLIMATIQUE POUR UNE CULTURE DE RIZ

Ajuster un cycle cultural dans l'évolution saisonnière du climat d'une région revient à déterminer la période climatiquement optimale pour la mise en place d'une culture, c'est à dire la période du semis la plus propice pour assurer avec un maximum de chance un bon rendement.

Certaines phases du cycle de développement d'une culture sont plus sensibles que d'autres à un déficit hydrique et une mauvaise alimentation en eau à ces phases peut provoquer des réductions de rendements importantes. La méthode d'analyse que nous avons développé est basée sur le principe que l'obtention d'un bon rendement est conditionné par la "réussite" de ces phases sensibles, c'est à dire par la satisfaction des besoins hydriques propres à chacune d'elles. La satisfaction des besoins hydriques signifiant d'une part qu'il a plu en quantité suffisante et d'autre part que ces pluies ont été bien réparties pour alimenter en permanence la plante compte tenu de la réserve en eau du sol.

Pour chaque phase sensible, on formule les besoins hydriques de la culture et on calcule la probabilité moyenne que ces besoins soient effectivement couverts par l'apport pluviométrique. Ces besoins sont décrits,

comme en irrigation, par une dose et une fréquence, la première tenant compte de la réserve hydrique du sol et la seconde de la consommation du couvert. La phase analysée est découpée en intervalle de temps (5,6 ou 10 jours) et à chaque intervalle correspond des besoins en eau qui sont déterminés par calcul de l'évapotranspiration (cf. § 3.1.2.). Pour chacune de ces périodes et en utilisant les méthodes de l'analyse fréquentielle, on précise la probabilité de satisfaction des besoins hydriques ainsi formulés. Et la moyenne arithmétique des probabilités attachées à chaque intervalle sera considérée comme la probabilité moyenne pour la phase analysée. Cette probabilité moyenne est ensuite utilisée comme indice climatique de rendement. Chaque phase sensible est caractérisée par un indice et à chaque date de semis correspond une valeur de cet indice. En examinant les courbes donnant l'évolution de chaque indice en fonction de la date de semis (la valeur de l'indice étant portée à la date de semis correspondante), on peut déterminer la période de semis la plus favorable climatiquement.

Ces indices climatiques ont bien sur des valeurs maximales pour des dates de semis qui ne coïncident généralement pas. Mais les phases qu'ils sont sensés caractériser n'ont pas la même importance. Ils doivent de ce fait être examinés dans un certain ordre hiérarchique, la priorité étant accordée aux phases dont la réussite est capitale pour l'obtention d'un bon rendement.

L'exemple de l'analyse globale retenue est celui réalisé sur le riz pluvial dont le cycle est d'environ 130 jours. Le découpage du cycle de développement du riz en phases sensibles du point de vue hydrique a été fait de la façon suivante :

- deux phases particulièrement sensibles au déficit hydrique : les 12 jours suivant la date de semis, qui assurent la levée, et la préépiaison qui va du 75 au 95ème jour,
- trois autres phases un peu moins sensibles que les deux autres précédentes : les dix jours qui précèdent le semis, la montaison (60 à 75 jours) et le stade grains laiteux qui correspond à leur grossissement (95-113 jours).

Les besoins hydriques que nous avons formulés pour ces phases sensibles sont les suivants :

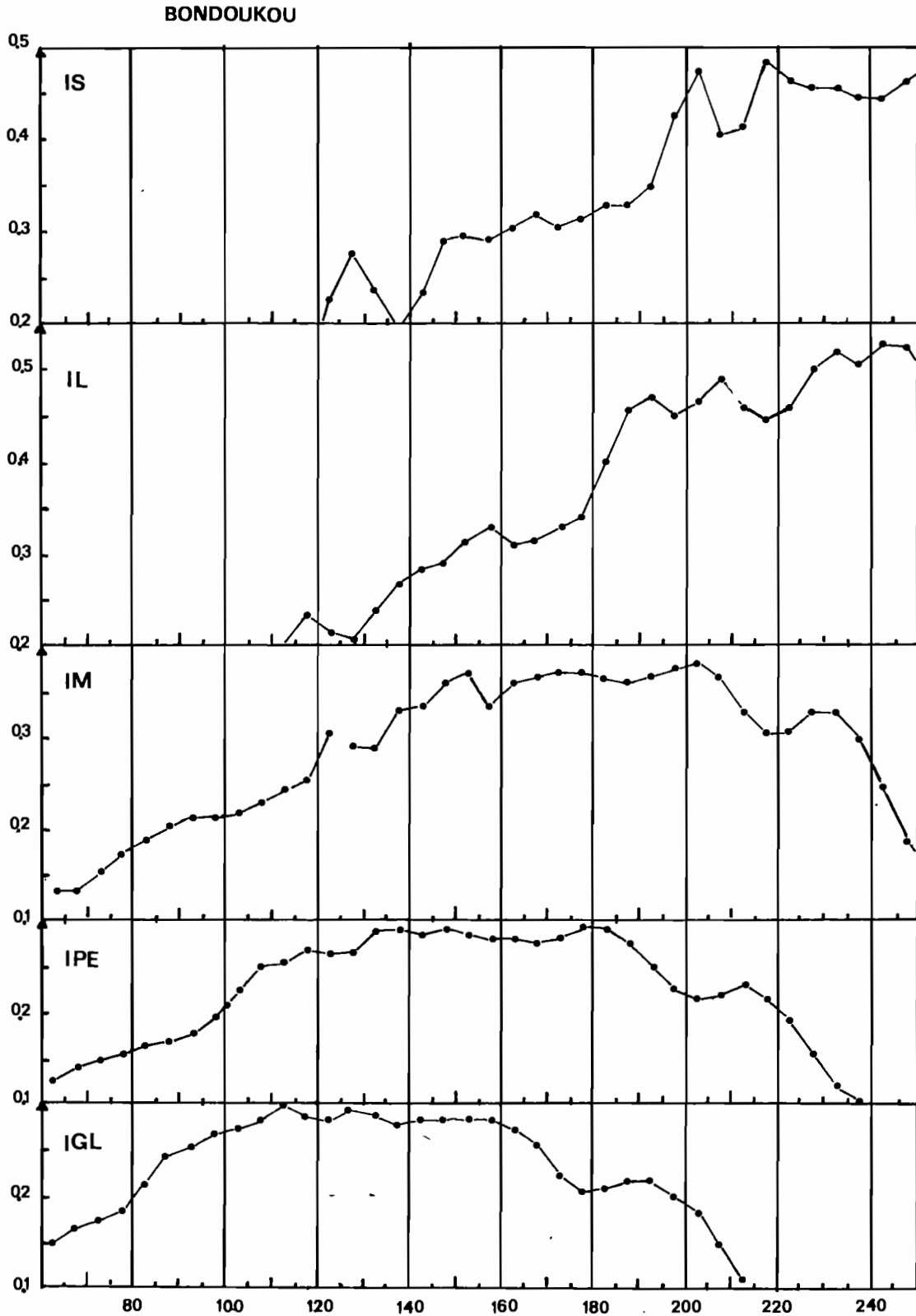
- indice IS : 25 mm dans les 10 jours qui précèdent le semis
- indice IL : 0,5 ET Penman en deux intervalles adjacentes de six jours entre le semis et la levée (0 à 12 jours)
- indice IM : 0,75 ET Penman, en trois intervalles adjacentes de cinq jours pour la montaison (60 à 75 jours)
- indice IPE : ET Penman en quatre intervalles adjacentes de cinq jours pour la préépiaison (75 à 95 jours)
- indice IGL : ET Penman en trois intervalles adjacentes de six jours pour le stade grains laiteux (95 à 113 jours).

Un programme de calcul que nous avons adapté du programme d'analyse fréquentielle, effectue automatiquement ces calculs à partir des données journalières du fichier pluviométriques opérationnel et des équations de régression donnant l'ET mensuelle. En entrée, on se fixe la station et la définition des indices qui caractérisent les besoins hydriques de la culture considérée (annexe 4).

La figure 2 montre l'évolution de ces 5 indices pour la station de Bondoukou qui comptabilisent au moins 30 années de mesure. La date de semis est repérée par le numéro du jour de l'année. L'examen des résultats montre que ces indices sont les plus favorables pour une culture mise en place entre le 160 et 200 jours de l'année (entre le 10 juin et le 20 juillet).

FIG. 2

EVOLUTION DES CINQ INDICES EN FONCTION DE LA DATE DE SEMIS  
(Numéro du jour de l'année).



Compte tenu de l'évolution du climat radiatif dans cette région, il est possible d'améliorer la fourchette en proposant 170e au 190e jour (20 juin au 10 juillet) (Tableau I). En effet, l'indice IGL est peut être moins favorable mais l'accroissement de la quantité d'énergie solaire (60 à 80%) avec comme conséquence une élévation de la température moyenne diurne (27 à 31°C) activera le grossissement des grains, réduisant la période réelle retenue au départ. La récolte pourra se faire très rapidement étant données les caractéristiques climatiques du début de la saison sèche de fin octobre - début novembre (Tableau I).

TABLEAU I - Valeurs moyennes mensuelles de certains paramètres climatiques à Bondoukou.

|                         | Juin | Juillet | Août | Sept. | Oct. | Nov. |
|-------------------------|------|---------|------|-------|------|------|
| Pluie (mm)              | 172  | 73      | 75   | 169   | 154  | 47   |
| Durée d'insolation (h.) | 171  | 128     | 89   | 116   | 194  | 210  |
| T° min. (° C)           | 21   | 21      | 20,5 | 20    | 20   | 20   |
| T° max. (° C)           | 29   | 28      | 27   | 28    | 30   | 31   |

Ces indices, correspondant à des probabilités, n'ont pas intrinsèquement une signification très précise. Ils ne représentent en tout cas pas la probabilité réelle que les besoins hydriques formulés soient satisfaisants par l'apport pluviométrique. Cette probabilité composée ne peut être calculée simplement par le produit des probabilités élémentaires puisque les événements attachés à chaque intervalle ne sont pas indépendants entre eux. Ces *indices* n'ont donc qu'une *valeur relative* et de signification que comparés entre eux pour des dates de semis ou des localités différentes.

## CONCLUSION

*L'analyse dynamique à caractère prévisionnel s'obtient en intégrant les différentes études partielles et en extrapolant les corrélations établies entre certains paramètres climatiques et le comportement d'un couvert végétal. En fait, ces corrélations, utilisées comme outil analytique pour déterminer les relations causales probables, synthétisent l'impact quantitatif de plusieurs paramètres. Nous avons vu que les mesures microclimatiques réalisées au-dessus de la culture comme les rayonnements, la vitesse du vent et la température à différents niveaux, permettaient le calcul des différents flux énergétiques et, en fonction des caractéristiques phénologiques de la culture, de prévoir les inflexions des consommations hydriques et donc de la productivité.*

Dans les régions où la liaison entre le rayonnement net  $R_n$  et l'évapotranspiration  $E$  est très forte, l'estimation de l'évapotranspiration  $ET$  par une formule climatique du type Penman traduit bien les besoins en eau des cultures. Les valeurs de l'évapotranspiration seront modulées compte tenu de l'état végétatif de la culture dans le traitement statistique des déficits hydriques. L'analyse des différents indices climatiques obtenus permet de proposer un calendrier agricole. Ainsi, par les études de corrélation, on constate que l'énergie solaire, la pluie et l'évapotranspiration ont un caractère significatif comme paramètres climatique dans les régions intertropicales car leur quantité est déterminante dans la productivité des cultures. Traduire les rendements agronomiques en rendements énergétiques présente divers avantages :

- aménagement de certaines activités agricoles (irrigations) au cours du développement de la culture ;
- compréhension d'un cycle à l'autre des variations de productivité observée ;
- sélection de régions présentant des potentialités énergétiques semblables.

La méthode d'analyse bioclimatique que nous venons de décrire, cherche à maximaliser la probabilité de réussite d'obtention d'un bon rendement en se basant principalement sur les deux paramètres climatiques les plus importants, l'énergie solaire et la pluie. Toutefois, ce système d'analyse bioclimatique tel qu'il est établi actuellement va inmanquablement évoluer car il est impensable qu'un outil qui a été mis en place petit à petit avec nos premiers résultats et des moyens réduits puisse servir immuablement à d'autres utilisateurs. Toutefois, il faudra que les nouvelles données soient compatibles avec les recherches entreprises et soient orientées vers un but similaire. Le grand avantage du système est de permettre à tout chercheur possédant un grand nombre de données de mieux les exploiter et de rendre accessible à d'autres des informations indispensables qui sinon devraient être recherchées par de nouvelles expérimentations.

#### BIBLIOGRAPHIE

- 1.- MONTENY, B. ; ELDIN, M. 1977.  
Données agroclimatiques recueilli à la station ORSTOM  
Adiopodoumé 1948-1976.  
+ Résumé climatique mensuel diffusé chaque mois.
- 2.- MONTENY, B. ; LHOMME, J.P. 1979.  
Echanges radiatifs et bilan d'énergie d'un couvert d'Hévéa.  
I. Méthode d'étude.  
Rapport ORSTOM 12p.
- 3.- MONTENY, B. ; GOSSE, G. 1976.  
Analyse et estimation du rayonnement net d'une culture de Panicum  
maximum en zone tropicale humide.  
Oecol. Plant. 11 : 173-191.
- 4.- MONTENY, B. ; DJOULET, B. ; LHOMME, J.P. 1978.  
L'énergie solaire, paramètre important du climat et sa mesure.  
Colloque de la 6e Journée Nationale de la Climatologie  
Bouaké (27-28 avril 1978).
- 5.- MONTENY, B. ; ELDIN, M. ; LHOMME, J.P. 1976.  
La mesure de la durée d'insolation et du rayonnement global en  
Côte d'Ivoire.  
Rapport ORSTOM 80p.
- 6.- LHOMME, J.P. ; MONTENY, B. ; HUMBERT, J. 1979.  
Mesure et analyse de l'évapotranspiration d'un gazon en zone  
intertropicale humide par la méthode mixte.  
Ann. Agron. (sous presse).
- 7.- MONTENY, B. 1971.  
La mesure de la productivité d'un couvert végétal.  
Rapport ORSTOM 26p.

- 8.- LHOMME, J.P. ; MONTENY, B. 1978.  
Analyse fréquentielle des pluies et des déficits hydriques.  
Etude de la région Nord-Est de Côte d'Ivoire.  
Rapport ORSTOM 19p.
- 9.- MONTENY, B. ; HUMBERT, J. ; LHOMME, J.P. ; KALMS, J.M. 1979.  
Rayonnement net et estimation de l'évapotranspiration en Côte  
d'Ivoire.  
Agric. Météorol. (sous presse).
- 10.- LHOMME, J.P. ; MONTENY, B. 1979.  
Etude bioclimatique de la région Nord-Est de Côte d'Ivoire.  
Application à la riziculture pluviale.  
Agron. Trop. (sous presse).
- 11.- MONTENY, B. ; GOSSE, G. 1978.  
Variations du rayonnement photosynthétiquement actif en région  
tropicale humide.  
Arch. Met. Geoph. Biokl. (B) 25 : 371-382.

DATE 5 4 DEBUT DES MESURES 14 h 15

HAUTEURS DES ANEMOMETRES 22.8 23.4 24.0 24.8 25.6 26.6 27.6 28.6  
HAUTEURS DES THERMOCOUPLES 22.8 24.0 24.8 25.6 26.6

\*\*\*\*\*

VITESSES DU VENT 1.8 1.9 2.0 2.2 2.3 2.3 2.5 2.6 TEMPERATURES 27.1 27.4 27.2 27.2 27.2  
ZO = 1.6 D = 17.0 U\* = 0.64 RAM = 6.4 L = -72.9 RICHARDSON 0.37 -0.09 -0.13 0.37  
RG = 199. RR = 27. RN = 132. FO = -2. FCS = 12. FCL = -143. AL = 0.14 RNS = 0.

\*\*\*\*\*

VITESSES DU VENT 2.1 2.3 2.4 2.8 2.9 3.0 3.2 3.3 TEMPERATURES 27.0 27.4 27.1 27.1 27.1  
ZO = 0.4 D = 20.5 U\* = 0.55 RAM = 11.0 L = -27.0 RICHARDSON 0.16 -0.08 -0.06 0.05  
RG = 253. RR = 35. RN = 168. FO = -1. FCS = 20. FCL = -187. AL = 0.14 RNS = 0.

\*\*\*\*\*

VITESSES DU VENT 2.1 2.2 2.3 2.5 2.6 2.8 2.8 3.0 TEMPERATURES 27.3 27.8 27.5 27.4 27.4  
ZO = 0.2 D = 19.0 U\* = 0.26 RAM = 45.7 L = 64.6 RICHARDSON 0.68 -0.20 -0.84 0.02  
RG = 356. RR = 49. RN = 236. FO = -2. FCS = -1. FCL = -233. AL = 0.14 RNS = 0.

\*\*\*\*\*

VITESSES DU VENT 2.5 2.6 2.7 3.0 3.2 3.3 3.4 3.6 TEMPERATURES 27.0 27.5 27.1 27.1 27.1  
ZO = 0.4 D = 20.5 U\* = 0.75 RAM = 6.4 L = - 6.5 RICHARDSON 0.30 -0.09 -0.06 0.03  
RG = 280. RR = 39. RN = 182. FO = -2. FCS = 9. FCL = -190. AL = 0.14 RNS = 0.

\*\*\*\*\*

VITESSES DU VENT 1.6 1.7 1.7 1.9 1.9 2.2 2.2 2.4 TEMPERATURES 27.4 27.9 27.5 27.4 27.4  
ZO = 2.3 D = 15.5 U\* = 0.52 RAM = 8.6 L = 1036.2 RICHARDSON 1.17 -0.35 -1.36 0.00  
RG = 323. RR = 43. RN = 216. FO = -2. FCS = -71. FCL = -143. AL = 0.13 RNS = 0.

\*\*\*\*\*

ANNEXE I

ANNEXE 2

DATE 3 24 8.30 ZH = 0.08

| U(ZR) | T(ZR) | U    | D    | ZO    | RI     | L     | RN   | PHIO | PHIS | PHIL  | BETA | ETD  |
|-------|-------|------|------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| 2.04  | 25.1  | 0.15 | 0.07 | 0.005 | 0.070  | -35.  | 191. | 8.   | 5.   | -204. | -0.0 | 137. |
| 2.39  | 25.5  | 0.19 | 0.07 | 0.006 | 0.079  | -13.  | 240. | 8.   | 25.  | -272. | -0.1 | 172. |
| 2.87  | 25.8  | 0.25 | 0.07 | 0.008 | 0.167  | -4.   | 305. | 6.   | 27.  | -339. | -0.1 | 217. |
| 2.66  | 25.6  | 0.22 | 0.07 | 0.009 | 0.066  | -17.  | 166. | 5.   | 29.  | -200. | -0.1 | 119. |
| 2.81  | 26.0  | 0.28 | 0.07 | 0.013 | 0.062  | -3.   | 251. | 5.   | 45.  | -300. | -0.1 | 178. |
| 2.65  | 26.1  | 0.24 | 0.07 | 0.011 | 0.057  | -6.   | 209. | 5.   | 34.  | -248. | -0.1 | 149. |
| 2.91  | 28.0  | 0.22 | 0.07 | 0.007 | -0.048 | -33.  | 341. | -3.  | -10. | -328. | 0.0  | 238. |
| 3.22  | 26.7  | 0.21 | 0.07 | 0.005 | 0.018  | 63.   | 370. | 3.   | -9.  | -364. | 0.0  | 261. |
| 3.00  | 26.9  | 0.20 | 0.07 | 0.005 | 0.216  | 55.   | 331. | 0.   | 3.   | -334. | -0.0 | 232. |
| 3.15  | 26.8  | 0.18 | 0.07 | 0.003 | 0.037  | 14.   | 307. | -2.  | 16.  | -322. | -0.1 | 214. |
| 2.81  | 27.4  | 0.20 | 0.07 | 0.006 | -0.011 | -60.  | 358. | -2.  | -3.  | -353. | 0.0  | 250. |
| 2.85  | 27.5  | 0.24 | 0.07 | 0.009 | 0.015  | -10.  | 348. | -3.  | -23. | -322. | 0.1  | 242. |
| 2.66  | 27.9  | 0.20 | 0.07 | 0.006 | 0.028  | -39.  | 428. | -6.  | -17. | -405. | 0.0  | 297. |
| 2.73  | 28.4  | 0.21 | 0.07 | 0.006 | -0.121 | -14.  | 473. | -6.  | -29. | -439. | 0.1  | 330. |
| 2.22  | 28.3  | 0.14 | 0.07 | 0.003 | 0.029  | 75.   | 436. | -8.  | 1.   | -430. | -0.0 | 302. |
| 3.41  | 27.7  | 0.26 | 0.07 | 0.007 | 0.022  | -79.  | 331. | -11. | -2.  | -319. | 0.0  | 225. |
| 3.28  | 28.2  | 0.24 | 0.07 | 0.006 | -0.060 |       | 371. | -9.  | -15. | -347. | 0.0  | 255. |
| 2.85  | 28.1  | 0.17 | 0.07 | 0.003 | 0.007  | 30.   | 382. | -8.  | -16. | -358. | 0.0  | 264. |
| 3.08  | 28.8  | 0.23 | 0.07 | 0.007 | -0.028 | -30.  | 421. | -9.  | -33. | -378. | 0.1  | 291. |
| 3.45  | 28.7  | 0.26 | 0.07 | 0.007 | -0.013 | -50.  | 465. | -9.  | -42. | -413. | 0.1  | 322. |
| 3.00  | 28.3  | 0.24 | 0.07 | 0.008 | -0.017 | -16.  | 372. | -11. | -25. | -336. | 0.1  | 255. |
| 3.56  | 28.7  | 0.27 | 0.07 | 0.008 | -0.025 | -39.  | 455. | -11. | -34. | -410. | 0.1  | 314. |
| 3.37  | 29.1  | 0.26 | 0.07 | 0.008 | -0.031 | -29.  | 441. | -12. | -52. | -376. | 0.1  | 303. |
| 3.60  | 28.8  | 0.27 | 0.07 | 0.007 | -0.017 | -49.  | 442. | -11. | -38. | -392. | 0.1  | 305. |
| 3.83  | 29.2  | 0.29 | 0.07 | 0.008 | -0.018 | -45.  | 428. | -14. | -46. | -368. | 0.1  | 293. |
| 4.32  | 28.9  | 0.33 | 0.07 | 0.008 | -0.012 | -65.  | 420. | -12. | -52. | -356. | 0.1  | 289. |
| 4.59  | 28.1  | 0.39 | 0.07 | 0.011 | 0.007  | -14   | 347. | -11. | -60. | -276. | 0.2  | 237. |
| 4.01  | 27.9  | 0.27 | 0.07 | 0.005 | 0.004  | 44.   | 360. | -8.  | -13. | -339. | 0.0  | 248. |
| 4.00  | 28.5  | 0.31 | 0.07 | 0.008 | -0.019 | -53.  | 337. | -8.  | -45. | -284  | 0.2  | 232. |
| 3.70  | 27.3  | 0.30 | 0.07 | 0.010 | 0.010  | -26.  | 268. | -3.  | -29. | -236. | 0.1  | 186. |
| 3.68  | 27.5  | 0.28 | 0.07 | 0.008 | 0.026  | -83.  | 238. | -2.  | -1.  | -236. | 0.0  | 166. |
| 3.03  | 26.9  | 0.21 | 0.07 | 0.005 | 0.099  | 67.   | 108. | 0.   | 20.  | -128. | -0.2 | 75.  |
| 3.18  | 26.9  | 0.23 | 0.07 | 0.006 | 0.071  | 186.  | 139. | 3.   | 29.  | -171. | -0.2 | 100. |
| 3.15  | 26.6  | 0.22 | 0.07 | 0.005 | 0.088  | 77.   | 133. | 8.   | 27.  | -168. | -0.2 | 98.  |
| 3.12  | 26.8  | 0.26 | 0.07 | 0.009 | 0.062  | -18.  | 143. | 8.   | 29.  | -180. | -0.2 | 106. |
| 3.09  | 26.5  | 0.23 | 0.07 | 0.008 | 0.054  | -246. | 97.  | 8.   | 19.  | -123. | -0.2 | 73.  |
| 2.65  | 25.6  | 0.16 | 0.07 | 0.004 | 0.162  | 22.   | 33.  | 11.  | 22.  | -66.  | -0.3 | 31.  |
| 2.69  | 25.2  | 0.15 | 0.07 | 0.002 | 0.207  | 14.   | 3.   | 11.  | 30.  | -44.  | -0.7 | 10.  |
| 2.50  | 24.9  | 0.12 | 0.07 | 0.001 | 0.222  | 9.    | -11. | 14.  | 25.  | -28.  | -0.9 | 2.   |



ABIDJAN VILLE

43 ANNÉES DE MESURE

HAUTEURS MOYENNES MENSUELLES

|       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| PLUIE | 28.9  | 54.1  | 98.6  | 128.3 | 306.4 | 597.3 | 237.4 | 39.3 | 68.8  | 171.6 | 169.4 | 81.5  |
| ETP   | 147.5 | 139.6 | 153.1 | 142.7 | 134.6 | 102.3 | 105.6 | 95.8 | 107.3 | 128.2 | 133.7 | 133.4 |

DUREE DE GLISSEMENT 5 NOMBRE DE JOURS CONSECUTIFS 10

| DATE DU PREMIER JOUR | PR=0.10 | PR=0.20 | PR=0.30 | PR=0.40 | PR=0.50 | PR=0.60 | PR=0.70 | PR=0.80 | PR=0.90 | ETP  | P(ETP) | P(ETP/2) |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|--------|----------|
| 1                    | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 2.5     | 6.1     | 10.5    | 16.0    | 23.8    | 37.0    | 47.6 | 0.06   | 0.20     |
| 6                    | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.4     | 2.9     | 7.1     | 13.9    | 26.6    | 47.6 | 0.03   | 0.12     |
| 11                   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.2     | 1.8     | 4.5     | 9.0     | 17.6    | 47.6 | 0.01   | 0.06     |
| 16                   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.2     | 1.6     | 4.1     | 7.6     | 13.1    | 23.2    | 47.6 | 0.02   | 0.10     |
| 21                   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.3     | 2.4     | 5.5     | 10.0    | 16.7    | 28.8    | 47.6 | 0.04   | 0.13     |
| 26                   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.3     | 2.4     | 5.5     | 10.0    | 16.8    | 29.0    | 48.5 | 0.03   | 0.13     |
| 31                   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 0.4     | 2.6     | 6.4     | 12.5    | 22.3    | 40.9    | 49.6 | 0.07   | 0.18     |
| 36                   | 0.0     | 0.0     | 0.0     | 2.7     | 6.4     | 11.0    | 17.1    | 25.9    | 41.1    | 49.9 | 0.07   | 0.21     |
| 41                   | 0.0     | 0.0     | 1.0     | 3.4     | 7.0     | 12.1    | 19.4    | 30.6    | 51.1    | 49.9 | 0.10   | 0.24     |
| 46                   | 0.0     | 0.5     | 3.0     | 6.7     | 11.9    | 18.7    | 28.1    | 42.2    | 67.3    | 49.9 | 0.16   | 0.33     |
| 51                   | 1.2     | 3.7     | 7.0     | 11.1    | 16.3    | 22.9    | 31.8    | 44.7    | 67.6    | 49.8 | 0.17   | 0.37     |
| 56                   | 1.2     | 4.7     | 8.5     | 12.6    | 17.3    | 23.0    | 30.3    | 40.4    | 57.4    | 49.6 | 0.14   | 0.37     |
| 61                   | 3.3     | 6.4     | 9.7     | 13.4    | 17.7    | 22.9    | 29.4    | 38.6    | 53.9    | 49.4 | 0.12   | 0.37     |
| 66                   | 1.0     | 5.0     | 9.6     | 15.0    | 21.5    | 29.5    | 39.8    | 54.5    | 79.6    | 49.4 | 0.23   | 0.46     |
| 71                   | 2.9     | 7.8     | 12.9    | 18.5    | 25.0    | 32.8    | 42.6    | 56.2    | 79.2    | 49.4 | 0.25   | 0.50     |
| 76                   | 2.8     | 7.2     | 11.9    | 16.9    | 22.7    | 29.6    | 38.3    | 50.4    | 70.7    | 49.4 | 0.21   | 0.47     |
| 81                   | 3.5     | 8.8     | 14.2    | 20.0    | 26.7    | 34.6    | 44.5    | 58.2    | 81.1    | 49.4 | 0.26   | 0.53     |
| 86                   | 7.8     | 13.4    | 19.1    | 25.1    | 31.8    | 39.7    | 49.5    | 62.7    | 84.6    | 48.5 | 0.31   | 0.61     |
| 91                   | 11.4    | 17.5    | 23.0    | 28.7    | 34.7    | 41.6    | 49.9    | 61.0    | 78.8    | 47.6 | 0.33   | 0.69     |
| 96                   | 7.6     | 14.6    | 20.8    | 27.0    | 33.6    | 41.2    | 50.4    | 62.6    | 82.3    | 47.6 | 0.33   | 0.65     |
| 101                  | 4.7     | 10.3    | 16.2    | 22.8    | 30.4    | 39.4    | 50.9    | 66.9    | 93.8    | 47.6 | 0.33   | 0.59     |
| 106                  | 8.6     | 14.9    | 21.3    | 28.1    | 35.8    | 44.7    | 55.8    | 71.0    | 96.0    | 47.6 | 0.37   | 0.66     |
| 111                  | 12.0    | 10.7    | 24.0    | 21.3    | 33.2    | 46.0    | 55.6    | 68.3    | 88.8    | 47.6 | 0.38   | 0.72     |

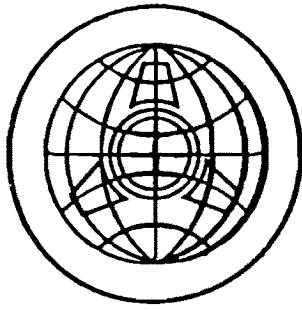
ANNEXE 3

ANNEXE 4

BONDOUKOU

46 ANNÉES DE MESURE

| DATE DE SEMIS | IS   | IL   | IM   | IPE  | IGL  |
|---------------|------|------|------|------|------|
| 60            | 0.00 | 0.02 | 0.15 | 0.12 | 0.14 |
| 65            | 0.00 | 0.04 | 0.12 | 0.13 | 0.16 |
| 70            | 0.04 | 0.08 | 0.15 | 0.15 | 0.17 |
| 75            | 0.05 | 0.08 | 0.16 | 0.15 | 0.18 |
| 80            | 0.09 | 0.10 | 0.19 | 0.16 | 0.19 |
| 85            | 0.10 | 0.15 | 0.19 | 0.17 | 0.24 |
| 90            | 0.10 | 0.16 | 0.22 | 0.17 | 0.25 |
| 95            | 0.13 | 0.14 | 0.21 | 0.19 | 0.26 |
| 100           | 0.19 | 0.13 | 0.22 | 0.20 | 0.28 |
| 105           | 0.20 | 0.13 | 0.22 | 0.25 | 0.27 |
| 110           | 0.17 | 0.17 | 0.24 | 0.25 | 0.30 |
| 115           | 0.11 | 0.23 | 0.25 | 0.26 | 0.30 |
| 120           | 0.17 | 0.24 | 0.26 | 0.28 | 0.28 |
| 125           | 0.28 | 0.19 | 0.35 | 0.25 | 0.29 |
| 130           | 0.27 | 0.22 | 0.33 | 0.28 | 0.30 |
| 135           | 0.20 | 0.26 | 0.35 | 0.30 | 0.28 |
| 140           | 0.19 | 0.28 | 0.31 | 0.28 | 0.28 |
| 145           | 0.28 | 0.29 | 0.36 | 0.29 | 0.29 |
| 150           | 0.30 | 0.29 | 0.36 | 0.29 | 0.28 |
| 155           | 0.29 | 0.34 | 0.38 | 0.28 | 0.29 |
| 160           | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.28 | 0.28 |
| 165           | 0.32 | 0.30 | 0.37 | 0.28 | 0.27 |
| 170           | 0.32 | 0.33 | 0.36 | 0.27 | 0.25 |
| 175           | 0.29 | 0.33 | 0.38 | 0.29 | 0.20 |
| 180           | 0.34 | 0.35 | 0.36 | 0.30 | 0.21 |
| 185           | 0.32 | 0.45 | 0.37 | 0.28 | 0.21 |
| 190           | 0.34 | 0.46 | 0.35 | 0.27 | 0.23 |
| 195           | 0.36 | 0.48 | 0.38 | 0.23 | 0.21 |
| 200           | 0.49 | 0.42 | 0.37 | 0.22 | 0.19 |
| 205           | 0.46 | 0.51 | 0.39 | 0.21 | 0.18 |
| 210           | 0.35 | 0.47 | 0.34 | 0.23 | 0.12 |
| 215           | 0.48 | 0.45 | 0.31 | 0.23 | 0.10 |
| 220           | 0.49 | 0.44 | 0.30 | 0.20 | 0.08 |
| 225           | 0.44 | 0.48 | 0.31 | 0.18 | 0.07 |
| 230           | 0.47 | 0.52 | 0.34 | 0.13 | 0.08 |
| 235           | 0.44 | 0.52 | 0.31 | 0.11 | 0.07 |
| 240           | 0.45 | 0.49 | 0.28 | 0.09 | 0.06 |
| 245           | 0.44 | 0.56 | 0.21 | 0.08 | 0.05 |
| 250           | 0.49 | 0.49 | 0.16 | 0.09 | 0.04 |
| 255           | 0.47 | 0.48 | 0.14 | 0.07 | 0.03 |
| 260           | 0.50 | 0.43 | 0.13 | 0.06 | 0.02 |



INFORMATIQUE ET BIOSPHERE  
(association internationale)

ACTES DU COLLOQUE  
D'ABIDJAN

INFORMATIQUE ET BIOSPHERE

1979

JOURNEE D'ETUDE  
DU 22 NOVEMBRE 1979

I S B N : 2 - 86267 - 011 - 1

La loi du 11 Mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'Article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droits ou ayants-cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'Article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les Articles 425 et suivants du Code Pénal.



INFORMATIQUE ET BIOSPHERE - PARIS - 1980