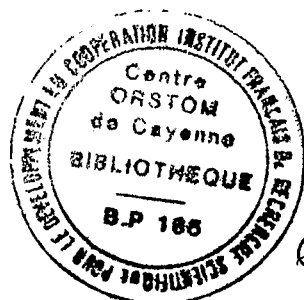


# FACTEURS PHYSIQUES DE L'ENVIRONNEMENT FORESTIER GUYANAIS

ARCHIVES P276

Sortie interdite



par Michel GRIMALDI \* et Roland HUC \*\*

\* ORSTOM, BP 165, 97323 Cayenne  
Guyane française

\*\* INRA, Recherches forestières  
BP 709, 97387 Kourou  
Guyane française

## INTRODUCTION

Le milieu climatique et pédologique guyanais n'est pas aussi uniforme, dans le temps et dans l'espace, qu'il peut paraître à première vue. Les sols présentent des structures homogènes en apparence mais révèlent, à l'analyse, une grande variabilité spatiale et, au moins au niveau de la zone septentrionale, une grande diversité des facteurs physiques.

Résumant des travaux publiés principalement au cours de la dernière décade, les auteurs proposent de suivre le cycle de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère depuis les apports par les pluies jusqu'au retour dans l'atmosphère par le couvert forestier. Nous verrons comment la variation des caractéristiques physiques du sol et des formations végétales peut influencer sur le cheminement de l'eau, modifiant ainsi les termes du bilan hydrique.

## I - REGIME PLUVIOMETRIQUE DE LA GUYANE (Boyé & coll., 1978)

La Guyane se trouve sous l'influence des alizés du nord-est et du sud-est, commandés respectivement par les anticyclones des Açores et de Sainte-Hélène. Ces deux alizés se rencontrent le long d'une zone de basse pression, la ZIC : Zone Intertropicale de Convergence, caractérisée par une forte nébulosité. La ZIC se déplace en fonction de l'activité relative des deux centres anticycloniques. La saison des pluies débute lorsque la ZIC aborde la Guyane par le nord, vers la mi-novembre ; elle se termine vers la mi-août avec l'éloignement de la ZIC vers les petites Antilles.

Au cours de la saison des pluies, la Guyane connaît des périodes de beau temps, dues à une faible activité de la ZIC ou à ses oscillations de part et d'autre de la Guyane, en particulier lorsque la ZIC tend à occuper sa position la plus proche de l'équateur, vers le Brésil : c'est la petite saison sèche, plus ou moins marquée entre février et avril. La grande saison sèche est caractérisée par une faible pluviosité, des précipitations localisées et à caractère orageux, parfois l'absence de pluies pendant plus d'un mois.

Sur l'ensemble de la Guyane, la pluviométrie annuelle varie en moyenne de deux à quatre mètres (Fig. 1a) ; elle est plus élevée dans la région nord-est où elle atteint trois à quatre mètres. Les variations spatiales de la pluviométrie ne sont donc pas négligeables comme d'ailleurs les variations saisonnières (Fig. 1b). Notons également que les valeurs moyennes, tant annuelles que mensuelles, décrivent la réalité de manière partielle, car les précipitations sont très variables d'une année à l'autre en un même lieu : entre deux années extrêmes, les différences peuvent atteindre deux, voire trois mètres.

## II - TRANSFERT DE L'EAU DANS LE SOL

### A - IMPORTANCE DU RUISSELLEMENT DANS LE BILAN HYDRIQUE

Que devient l'eau de pluie ? Seulement 85 p.100 de la pluviométrie annuelle atteint la litière directement ou à travers la canopée (Roche, 1982). 15 p.100 de la pluie, en moyenne, est donc interceptée par la couverture végétale (Fig. 2).



Par ailleurs, au cours des averses, une partie de l'eau ruisselle à la surface du sol ou dans sa couche superficielle. L'importance de ce ruissellement en Guyane -par rapport à d'autres écosystèmes forestiers, en Afrique tropicale humide notamment- a été soulignée par Blancaneaux (1973), grâce à l'installation d'une case ERLO (case d'érosion et de lessivage oblique) sur le bassin versant de la crique Grégoire qui se jette dans le Sinnamary. Sur les bassins versants ECEREX de la piste de Saint-Elie, le ruissellement varie, selon les bassins, de 4 à 24 p.100 de la pluie totale (Fritsch, 1981 ; Roche, 1982). Ce ne sont pas les pentes, plus ou moins fortes, qui expliquent ces différences de ruissellement, ni la nature du substrat géologique, identique sur tous les bassins, mais la nature du sol.

Figure 1-a ci-contre : carte de la pluviométrie annuelle moyenne de la Guyane

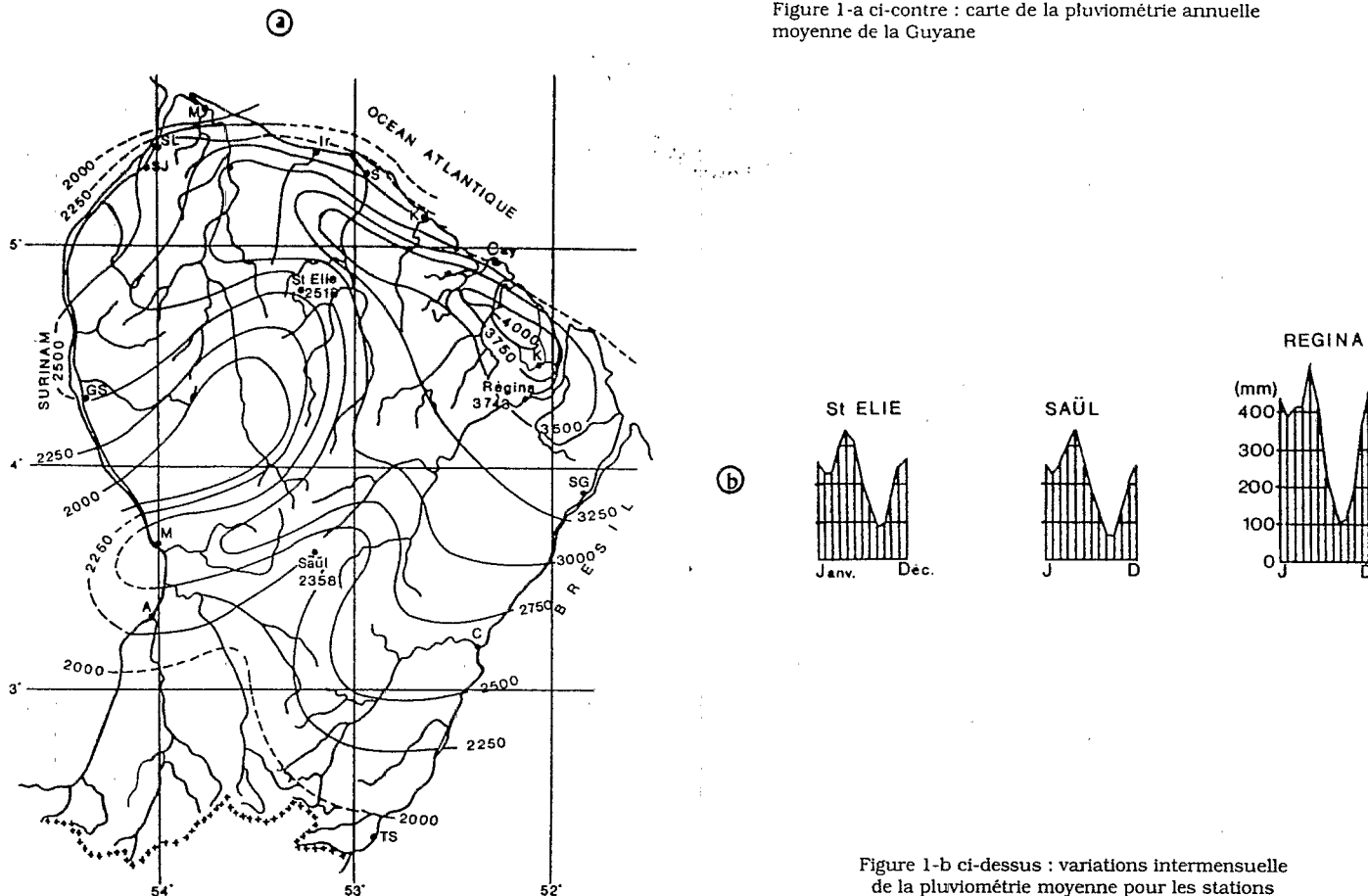


Figure 1-b ci-dessus : variations intermensuelle de la pluviométrie moyenne pour les stations de Saül, Saint-Elie et Régina.

### B - ROLE DE LA POROSITÉ

En Guyane, la morphologie du sol et ses propriétés physiques varient de façon importante sur de très courtes distances (Boulet et coll., 1979, 1982). Parmi ces propriétés physiques, la structure et la porosité du sol sont essentielles pour comprendre le fonctionnement hydrique. Le sol est en effet un milieu poreux, complexe mais organisé, et c'est la géométrie des pores, c'est-à-dire leur taille et leur continuité, qui déterminent la capacité du sol à absorber l'eau des précipitations et à la stocker pour satisfaire les besoins en eau des plantes.

### C - EXEMPLE D'UNE COUVERTURE DE SOL SUR UN BASSIN VERSANT ECEREX (Guehl, 1984 ; Grimaldi, Boulet, 1989)

Une coupe pédologique d'un bassin versant ECEREX est présentée à titre d'exemple sur la figure 3. Le substrat géologique est une pegmatite (large filon dans les schistes du Bonidoro). Sur ce versant, on identifie une dizaine d'horizons pédologiques regroupés en trois ensembles distincts par leur structure : à l'amont, un ensemble très finement fragmenté, dont la structure est dite *microagrégée* ; sur le versant, les horizons microagrégés s'amincissent, puis sont remplacés par des horizons à structure *polyédrique*, c'est-à-dire fragmentés en agrégats plus grossiers ; enfin, un horizon d'altération (altérite) de la pegmatite, d'aspect compact, à structure "prismatique", c'est-à-dire peu fragmentée, se rapproche progressivement de la surface du sol.

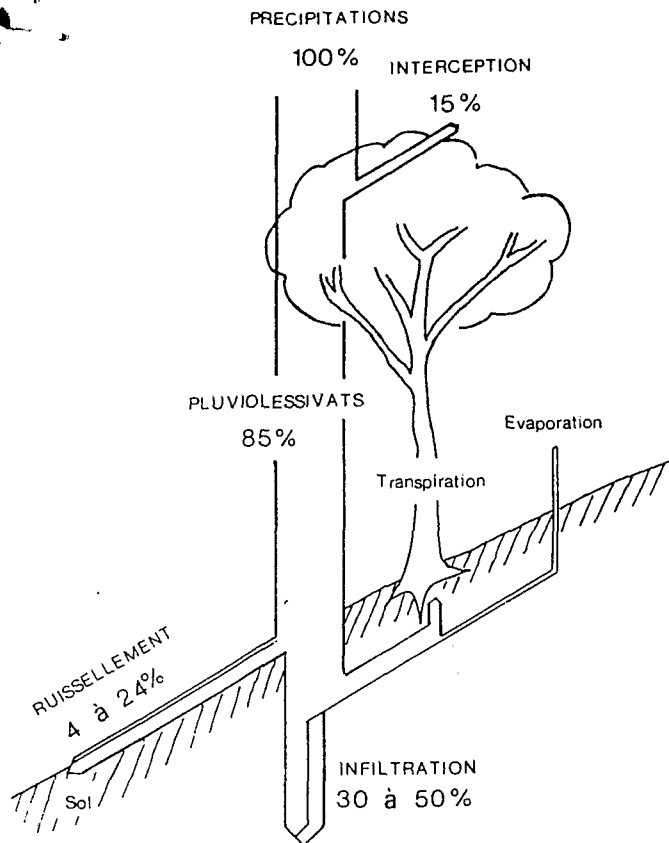


Figure 2 : évaluation des termes du bilan hydrique sur les bassins versants ECEREX (d'après Roche, 1982).

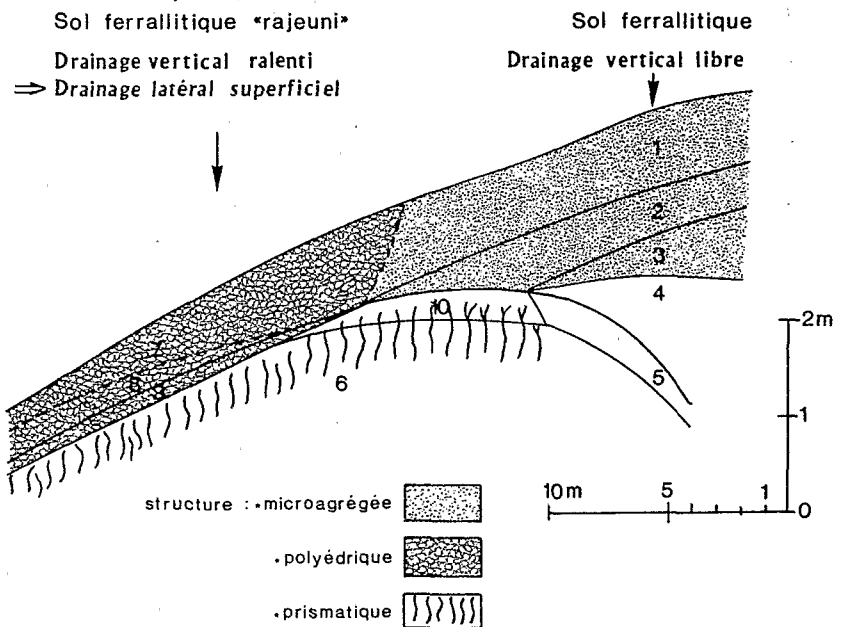


Figure 3 : organisation du sol et dynamique de l'eau en saison des pluies (drainage) sur un transect d'un bassin versant ECEREX (bassin I, d'après Guehl, 1984). Description des horizons pédologiques (la structure est indiquée sur la coupe). 1 : humifère puis brun jaune, sablo-argileux à argileux ; 2 : brun, argileux ; 3 : rouge, argileux ; 4 : rouge à volumes jaunes très peu contrastés et diffus, sableux, riche en muscovite ; 5 : brun jaune clair à volumes rouges, sableux ; 6 : blanc à volumes rouges, sableux ; vers l'aval, sablo-limono-argileux ; 7 : humifère puis brun jaune, sablo-argileux ; 8 : brun jaune assez vif à volumes rouges, sablo-argileux ; 9 : brun jaune à volumes rouges, sablo-argileux, plus riche en sables grossiers que 8 et 6, chenaux millimétriques orientés dans le sens de la pente ; 10 : jaune à réseau diffus peu contrasté rouge, sablo-limoneux, riche en muscovite (d'après Boulet, 1983).

Ces trois ensembles d'horizons se distinguent aussi nettement par leur porosité, comme on peut l'observer au microscope optique sur des lames minces de sol, ou en déterminant le *spectre poral*, c'est-à-dire la répartition de la porosité en fonction de la taille des pores. Les horizons microagregés présentent deux classes de pores (Fig. 4) : une classe de très petits pores (quelques centièmes de microns), non visibles en microscopie optique et qui résultent de l'assemblage des particules d'argile (comme un château de cartes) ; une classe de pores dont la taille est beaucoup plus variable (du micron au millimètre), qui comprend un réseau de microfissures qui délimitent des microagregats argileux et des pores plus grossiers d'origine biologique. La classe des grands pores permet à l'eau de s'infiltrer verticalement et assez rapidement ; pour la plupart des averses, il n'y a pas saturation de la porosité de cet horizon lorsque son épaisseur est supérieure à 1,20 m, donc pratiquement pas de ruissellement ; entre les averses, l'eau disponible pour les plantes est stockée principalement par les microfissures.

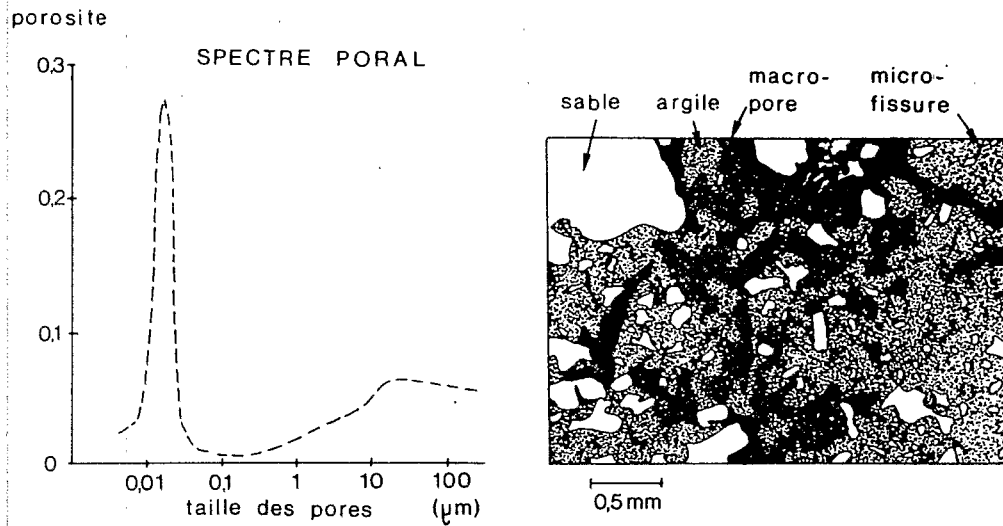


Figure 4 : spectre poral (porosimétrie au mercure).  
et dessin d'après une photographie au microscope optique  
de l'horizon microagrégé noté 2 sur la figure 3.

La répartition de la porosité est très différente dans l'altérite (Fig. 5b). On y observe quelques fissures et tubules, mais l'essentiel de la porosité est extrêmement fine ; elle correspond encore à l'assemblage de particules d'argile. Ce type d'horizon est de ce fait peu perméable ; il ralentit fortement l'infiltration verticale de l'eau, qui a donc tendance à s'accumuler dans les horizons superficiels à structure polyédrique et très macroporeux (Fig. 5a) ; lorsque la saturation est atteinte, l'eau s'écoule grâce à cette macroporosité. Cet écoulement est accentué sur les pentes fortes. Au contraire, lorsque la pente est faible, la couche superficielle du sol et les racines qu'elle contient sont soumises à un engorgement prolongé.

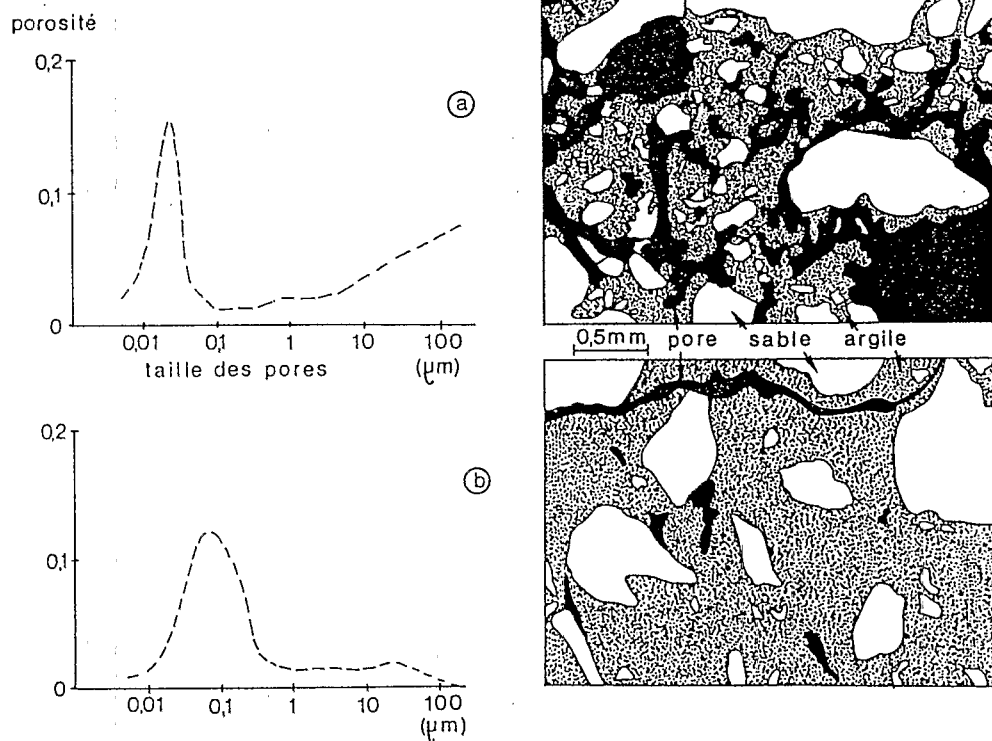


Figure 5 : spectre poral (porosimétrie au mercure) et dessin d'après une photographie au microscope optique (a) de l'horizon à structure polyédrique, noté 8 sur la figure 3, et (b) de l'altérite à structure prismatique, notée 6 sur la figure 3.

Il y a donc -dans ce cas, sur un même versant- deux types de sol (Fig. 3) : l'un est à drainage vertical libre ; l'autre à drainage vertical ralenti, ou peu profond, ou encore à drainage latéral superficiel. Ce dernier type de sol est plus fréquent au moins dans la partie nord du bouclier guyanais. En plus des risques d'excès d'eau en saison des pluies, on a observé un enracinement superficiel de la forêt (Humbel, 1978), ce qui peut provoquer des déficits hydriques en saison sèche. Par ailleurs, l'érosion et le lessivage des éléments nutritifs peuvent être importants lors de la déforestation de ce type de sol (Fritsch, 1981 ; Grimaldi, 1988). Le sol est donc très fragile ; les qualités physiques des sols à drainage vertical libre peuvent aussi se dégrader par tassement, lors d'une déforestation mécanisée en conditions trop humides ou par des pratiques culturales inadaptées.

## II - TRANSFERT DE L'EAU VERS L'ATMOSPHERE

L'écosystème forestier réinjecte dans l'atmosphère une quantité importante de l'eau issue des pluies, tout au long de l'année. Cette restitution, appelée évapotranspiration réelle, correspond à :

- l'eau transpirée par le couvert forestier ;
- l'eau retenue puis évaporée par les branches et les feuilles (surfaces végétales vivantes) ;
- l'eau évaporée par le sol et la litière (surfaces végétales inertes).

Sous les climats où la répartition de la pluviométrie est inégale et entraîne la formation d'une grande saison sèche, comme c'est le cas en Guyane, la connaissance des capacités de réserve du sol est importante dans des perspectives d'aménagement. A l'échelle des sites forestiers et des formations végétales, il est nécessaire, en effet, d'évaluer la gestion de l'eau par les différentes espèces afin de connaître le comportement des arbres face aux fluctuations de la "demande" atmosphérique d'une part, et face au stock d'eau disponible dans le sol d'autre part.

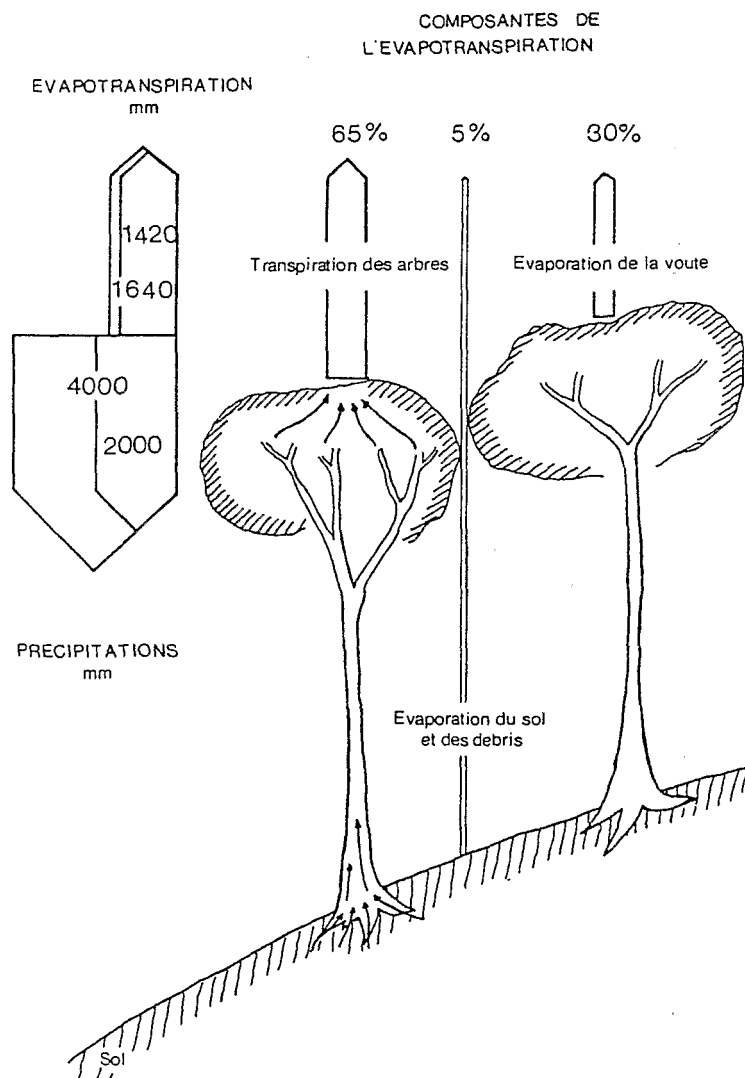


Fig. 6 : évapotranspiration pluriannuelle en forêt tropicale humide de Guyane déduite des bilans hydrologiques, et ses différents termes (Grégoire, d'après Roche, 1982).

## A - EVAPOTRANSPIRATION RÉELLE

L'évapotranspiration réelle de la forêt peut être évaluée par différentes méthodes:

### 1 - La méthode des bilans énergétiques

Elle est basée sur la mesure du rayonnement net du peuplement et les variations verticales de température et d'humidité de l'air au-dessus du couvert.

### 2 - La méthode des bilans hydrologiques

Ces bilans sont établis à l'échelle de bassins versants. On considère que l'évapotranspiration représente toute la partie de l'eau de pluie qui ne se retrouve pas dans l'eau qui s'écoule en aval. Ces estimations supposent qu'il n'y a pas variation du stock d'eau du sol pendant la période de mesures ni de transferts d'eau d'un bassin à l'autre. Roche (1982) utilise cette méthode des bilans sur les bassins de Grégoire, un site proche de la Sinnamary. Il évalue l'eau restituée à l'atmosphère par la forêt à une quantité comprise entre 1420 et 1640 mm par an pour des précipitations variant entre 2 000 et 4 000 mm (Fig. 6).

Cette évapotranspiration se décompose en :

- transpiration (65 %),
- évaporation de l'eau retenue par le couvert (30 %),
- évaporation du sol (5 %).

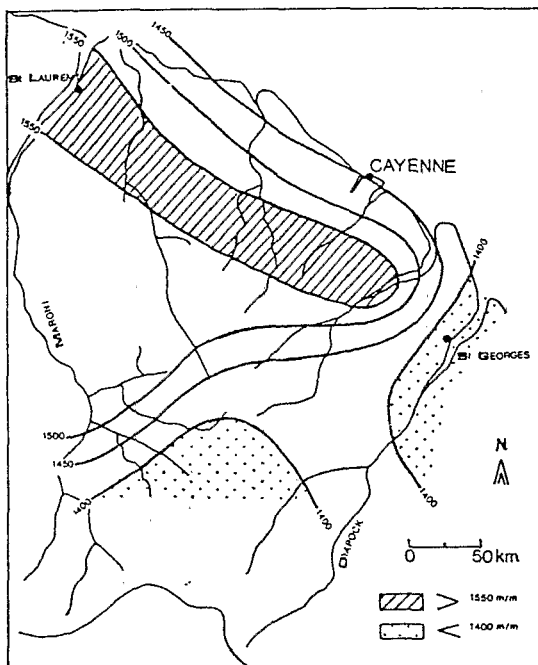


Fig. 7 : évapotranspiration réelle moyenne annuelle en Guyane française, estimée suivant la méthode de Thornthwaite sur la période 1956-1960, d'après Madec (1963).

### 3 - Les méthodes basées sur l'utilisation de données climatiques simples

Madec (1963) applique la formule de Thornthwaite aux paramètres climatiques relevés en Guyane sur des postes météorologiques répartis sur le territoire. Il dresse ainsi une carte globale de l'évapotranspiration. Dans cette formule, interviennent essentiellement les températures, la latitude et les données d'ensoleillement. Le calcul de Thornthwaite est basé sur l'hypothèse de stockage et de restitution par le sol d'une quantité limitée d'eau. La représentation obtenue (Fig. 7) fait apparaître une évapotranspiration réelle plus élevée le long d'un axe Saint-Laurent-Régina.

Ces différentes méthodes d'estimation présentent des limites, ainsi :

- lorsqu'elles sont établies sur de larges surfaces ou de très grands bassins, elles ont tendance à gommer la variabilité spatiale pouvant exister à l'échelle de petites parcelles forestières ;
- lorsqu'elles sont basées sur des bilans énergétiques au-dessus du couvert, elles ont une signification très ponctuelle et sont particulièrement sensibles aux hétérogénéités structurelles du site choisi (chablis, arbres émergents). Elles rendent difficilement compte des comportements spécifiques.

La composante de l'évapotranspiration qui nous intéresse en priorité est celle de la transpiration. C'est elle qui est récupérée par les végétaux dans le sol, utilisée pour le transport des matières nutritives jusqu'aux feuilles puis transférée à l'atmosphère à travers les stomates. Elle est donc soumise à des mécanismes biologiques actifs.

### B. EVALUATION DE LA TRANSPIRATION À PARTIR DU FLUX DE SEVE BRUTE

La transpiration peut être calculée directement par des mesures de flux d'eau, ou de débit, dans les troncs. Il existe différentes techniques. Nous utilisons celle conçue par Granier (1985, 1987), qui reste fiable même en cas de flux de transpiration faible, et dont la mise en œuvre est simple. Cette méthode a été testée en plantation sur Simarouba (*Simarouba amara* Aubl., Simaroubaceae) et Goupi (*Goupia glabrata* Aubl., Goupiaceae), (Granier et al., en préparation).

La figure 8 résume la méthode expérimentée et qui comporte :

- Une estimation de l'évapotranspiration maximale ETM par la formule de Monteith-Penman, qui traduit la "demande" évaporatoire atmosphérique au niveau des couronnes. Dans cette évaluation, la transpiration des arbres du peuplement est considérée comme non limitée par des régulations biologiques (fermeture stomatique).
- La réponse des espèces, évaluée à l'aide de capteurs de flux (type Granier) et qui se manifeste par des débits de sève brute plus ou moins importants suivant la demande (ETM) estimée précédemment.
- Des profils d'humidité du sol (résultats non reportés ici).

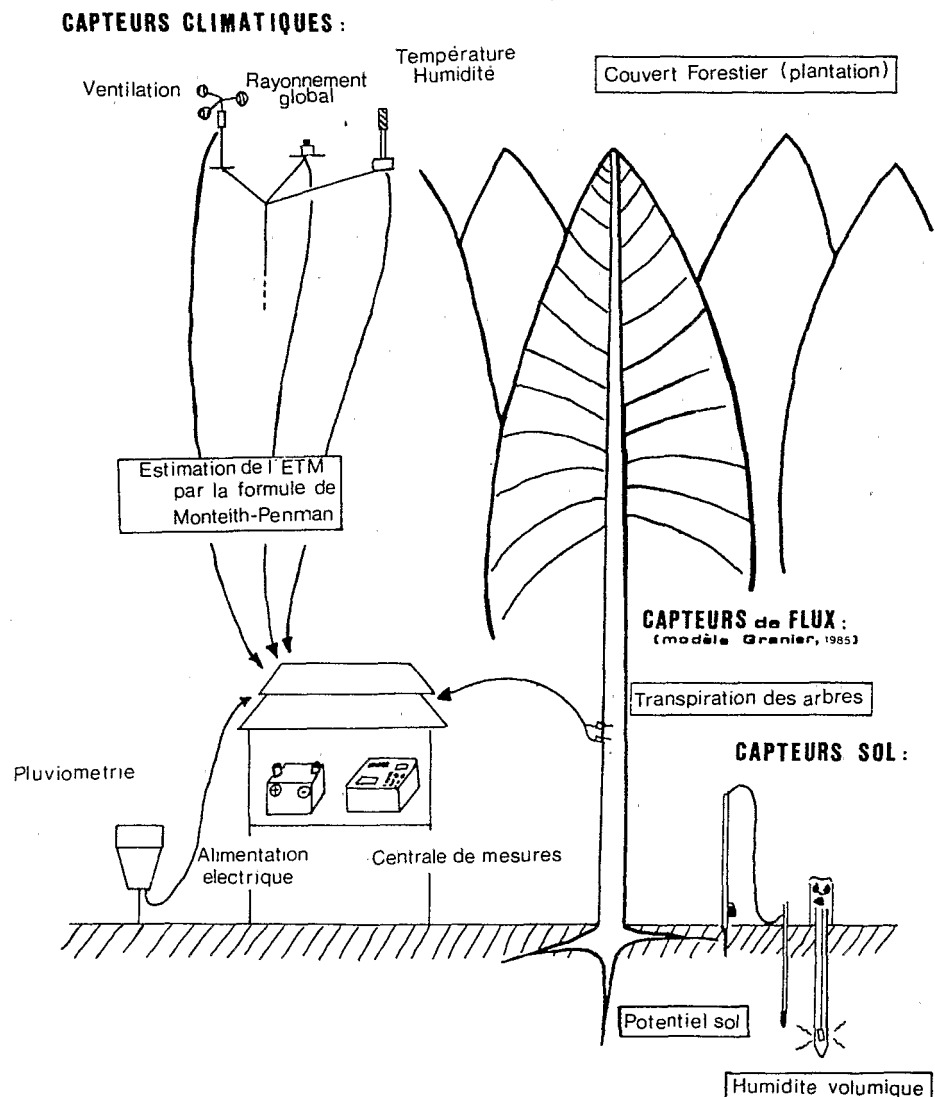


Fig. 8 : dispositif d'étude de la transpiration sous forêt par mesure du flux de sève brute (plantation expérimentale du Centre Technique Forestier Tropical à Paracou, Sinnamary).

Il apparaît que dans le cas de jeunes plantations de Simarouba ou de Goupi (respectivement 3 et 5 ans), poussant sur des sols avec une très bonne alimentation en eau, la transpiration journalière des placeaux est dans tous les cas inférieure à 2,60 mm pour le Simarouba (Fig. 9) et à 2,40 mm pour le Goupi. L'évaluation transposée sur l'année et tenant compte des pondérations saisonnières similaires à celles proposées par Roche, donnerait des transpirations cumulées annuelles de l'ordre de 520 mm pour le Simarouba et 485 mm pour le Goupi. On s'aperçoit que ces valeurs pour jeunes peuplements restent faibles en regard de la transpiration des forêts primaires qui se situe entre 800 et 1000 mm/an pour les bassins de Grégoire en Guyane (Roche, 1982).

Cette différence peut être attribuée à une surface transpirante moins grande. Ainsi, l'indice foliaire (rapport entre surface totale des feuilles des végétaux d'un placeau par rapport à la surface de ce placeau) dans les jeunes plantations de Simarouba et de Goupi est proche de 3,5. Pour une forêt primaire du site Ecerex, l'indice foliaire, d'après les hypothèses d'Alexandre (1981) et à partir des données de chute de litière recueillies par Puig (1979), se situerait entre 5,5 et 7,4.

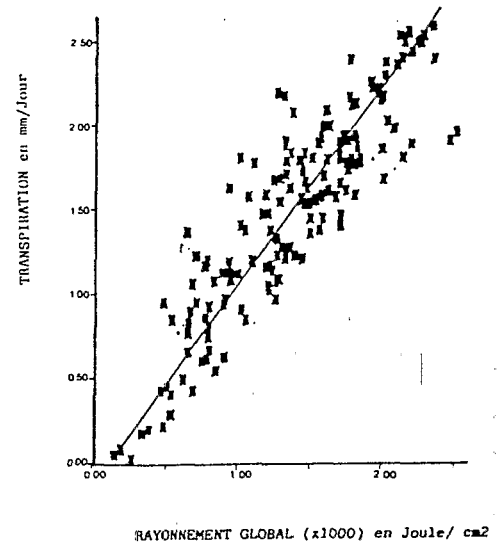


Fig. 9 : transpiration d'un jeune peuplement de *Simarouba amara* en fonction de l'énergie lumineuse.

### III - RAYONNEMENT SOLAIRE ET TRANSPIRATION

Il existe une bonne corrélation entre transpiration et rayonnement solaire, ainsi que le fait ressortir la figure 9. Le rayonnement est en effet le principal moteur de la transpiration. Lors de l'aménagement forestier, c'est ce facteur physique qui sera le premier modifié. Il paraît nécessaire de rappeler la manière dont se répartit le rayonnement lumineux à l'intérieur d'une forêt. L'exemple est emprunté à Yoda (1974) qui a relevé des valeurs dans la réserve forestière de Pasoh en Malaisie où le peuplement est divisée globalement en trois strates.

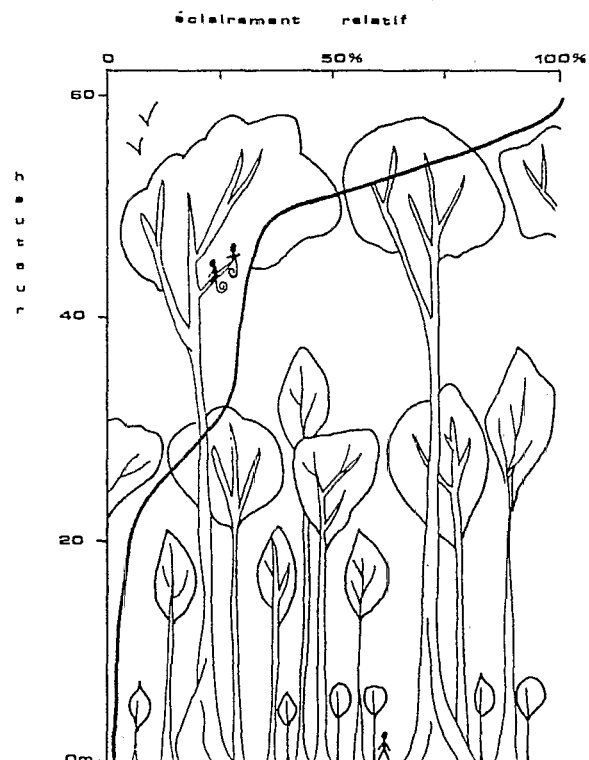


Fig. 10 : un exemple de pénétration du rayonnement de l'intensité lumineuse en forêt tropicale humide. Réserve forestière de Pasoh, Malaisie, d'après Yoda, 1974.



- entre 58 et 45 mètres l'éclairement relatif va passer de 100 p.100 à 25 p.100 en franchissant une première strate constituant la voute forestière ;
- entre 45 et 30 mètres nous nous situons au-dessus d'une strate intermédiaire et il y a peu ou pas de variation de rayonnement ;
- en dessous de ce niveau la diminution est logarithmique et atteint 5 p.100 à 20 m et 1 p.100 à 5 m. Sur le site de Paracou ce sont des valeurs de cet ordre qui sont relevés en sous-bois de forêt primaire.

Du fait de ce faible rayonnement, d'un brassage de l'air réduit et de températures plus basses, les strates inférieures interviennent pour une très faible part dans la transpiration des formations forestières non perturbées.

## CONCLUSION

La transformation des massifs forestiers en formations végétales d'un autre type (forêts secondaires, plantations, pâturages), tend en effet à modifier, au moins sur le plan régional, les équilibres énergétiques (et principalement l'énergie utilisée dans les processus d'évapotranspiration). Cette transformation modifie également les termes du bilan hydrique. L'intensité de ces changements devrait pouvoir être précisée avant tout aménagement induisant une conversion à grande échelle de la forêt naturelle.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE D.Y., 1981 - L'indice foliaire des forêts tropicales. Analyse bibliographique. *Acta Oecologica, Oecologia Gener.*, 2 (4) : 299-312.
- BLANCANEUX Ph., 1974 - Caractéristiques physico-chimiques des sols ferrallitiques du bouclier guyanais; leurs relations avec les eaux de drainage et de ruissellement. Centre ORSTOM Cayenne, Cote P 138. Ronéo, 25 p.
- BOULET R., BRUGIERE J.M. & HUMBEL F.X., 1979 - Relations entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane française septentrionale : conséquences agronomiques d'une évolution déterminée par un déséquilibre d'origine principalement tectonique. *Sci. du sol*, 1 : 3-18.
- BOULET R., HUMBEL, F.X. & LUCAS Y., 1988 - Analyse structurale et cartographie en pédologie. III Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 19 (4) : 341-351.
- BOYE et al., 1978 - Climatologie. in : Atlas des départements français d'Outre-Mer, 4. La Guyane, ed. CNRS - ORSTOM, Bordeaux - Talence.
- FRITSCH J.-M. Ecoulement et érosion sur les bassins-versants ECEREX en 1979. *Bull. Liaison ECEREX n° 4*. ORSTOM Cayenne : 23-44.
- GRANIER A., 1985 - Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. for.*, 42 (2) : 81-88.
- GRANIER A., 1987 - Mesure de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Ann. Sci. for.* 44 (1) 1-14.
- GRANIER A., HUC R. & COLIN F., (en préparation). Transpiration and water relations of two rain forest species growing in plantations (*Simarouba amara* and *Goupia glabra*) in French Guiana.
- GRIMALDI C. 1988 - Origine de la composition chimique des eaux superficielles en milieu tropical humide: Exemple de deux petits bassins versants sous forêt en Guyane française. *Sci. Géol. Bull.* 41, (3-4) : 247-262.
- GRIMALDI M. & BOULET R., 1989-1990 - Relations entre l'espace poral et le fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 25 (3) : 263-275.
- GUEHL J.-M., 1984 - Utilisation des méthodes tensio-neutroniques pour l'étude des transferts hydriques dans le sol en milieu ferrallitique guyanais. *Sci. du Sol*, 1 : 35-50.
- ROCHE M.A., 1982 - Evapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en Guyane. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, 19 (1) : 37-44.
- ROCHE M.A., 1982 - Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX, en Guyane. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, 19 (2) : 81-114.
- MADEC H., 1963 - L'évapotranspiration potentielle et le bilan de l'eau en Guyane. Monographies de la Météorologie Nationale. N° 39, 17 p.
- PUIG I.H., 1979 - Production de litière en forêt guyanaise: résultats préliminaires. *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*. 115 (3-4), 106-113.
- YODA K., 1974 - Three-dimensional light intensity in a tropical rain forest of west Malaysia (light distribution under canopy in Pasoh). in: IBP synthesis meeting, Kuala Lumpur, 12-18 Aug. 1974. *Japanese J. Ecol.*, 24 (4) : 247-254.