



L'OPÉRATION ECEREX

**Etudes sur la mise en valeur
de l'écosystème forestier guyanais.
Après déboisement**

Le point sur les recherches en cours

par J. M. SARRAILH
Coordonnateur du projet

SUMMARY

ECEREX OPERATION : STUDIES OF THE DEVELOPMENT OF THE GUIANESE FOREST ECOSYSTEM AFTER DEFORESTATION

CTFT, ORSTOM, INRA and the Museum National d'Histoire Naturelle are involved in the ECEREX operation (Studies of the development of the Guianese forest ecosystem after deforestation), a multidisciplinary project within the framework of the Man and Biosphere Programme (MAB).

CTFT/French Guiana coordinates the project and is carrying out research work especially on the consequences of the changes brought about by man to the forest ecosystem.

The analyses performed on the experimental plot deal with the respective effects of grazing, plantations, orchards, natural regeneration, etc... on soil erosion and rain flow.

This article comes after two previous publications in this review. It takes stock of the results obtained after 10 years of observations.

RESUMEN

OPERACION ECEREX : ESTUDIOS RELATIVOS A LA VALORIZACION DEL ECOSISTEMA FORESTAL GUYANES TRAS LA DESFORESTACION

El CTFT, el ORSTOM, el INRA y el Museo Francés de Historia Natural han aunado sus esfuerzos en el dispositivo ECEREX (Estudio de la valorización del ecosistema forestal guyanés tras la deforestación), un proyecto pluridisciplinario que forma parte del programa MAN and biosphere (MAB).

El CTFT de Guyana coordina este proyecto y, principalmente, está encargado de las investigaciones acerca de las consecuencias de las modificaciones aportadas por el hombre al ecosistema forestal.

Las investigaciones efectuadas en estas parcelas experimentales se refieren a los efectos comparativos del pastoreo, las plantaciones, las huertas, la regeneración natural, etc., sobre la erosión de los suelos y la escorrentia de las aguas de lluvia.

Este artículo constituye la continuación de dos artículos publicados anteriormente en esta misma revista. En el se analizan los resultados obtenidos tras diez años de observaciones.

AVANT-PROPOS

L'étude sur les possibilités de mise en valeur après déboisement de la forêt guyanaise, communément appelée ECEREX (Écologie, Érosion, Expérimentation) a déjà donné lieu à deux articles (SARRAILH 1980, 1984) dans la revue Bois et Forêts des Tropiques. Un troisième s'impose cependant pour présenter brièvement les con-

naissances acquises depuis la dernière parution. Il nous est ainsi permis de montrer que douze ans après les premiers travaux, de nombreuses recherches sur ce site continuent, tant sur le milieu naturel que sur les aménagements réalisés.

PRÉSENTATION DE L'OPÉRATION ECEREX

Jusqu'en 1975, l'agriculture guyanaise était dominée par un système d'exploitation d'autosubsistance « l'abattis » (culture sur brûlis) qui concernait 2.100 ha sur les 3.300 cultivés. Avec 0,04 % de la superficie occupé par l'agriculture et une production annuelle de 30.000 m³ par an de grumes, le massif forestier n'était pratiquement pas touché. En 1975, les projets papetiers prévoient l'exploitation de la forêt naturelle suivant un rythme approximatif de 15.000 hectares par an, l'approvisionnement étant par la suite assuré par des reboisements en essences à croissance rapide (Pins et Eucalyptus) établis sur les surfaces déboisées.

Parallèlement le programme de développement agri-

cole consiste à créer en dix ans 300 exploitations modernes sur 18.000 hectares en vue de satisfaire le marché local en productions vivrières et fruitières, ainsi qu'en viande. Des cultures d'exportation sont aussi prévues dans le projet (riz, soja, manioc, canne à sucre, fruits). Aussi l'année suivante les pouvoirs publics décident-ils de mettre en place un dispositif d'étude permettant, au moyen de bassins versants expérimentaux, de mesurer l'impact de la transformation de la forêt en aménagements forestiers ou agricoles (pâturages, vergers, reboisements) et de fonder sur les résultats acquis des modèles d'aménagement correspondant à des schémas de mise en valeur susceptibles d'être généralisés en Guyane.

Quatre organismes de recherche ont participé initialement aux travaux :

l'ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération ;

le CTFT : Département Forestier du Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement ;

le MNHN : Museum National d'Histoire Naturelle ;

l'INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

auxquels se sont joints par la suite les chercheurs du Laboratoire ECOTROP du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) et des Universités de Paris VI et de Montpellier.

Cette opération a reçu le label du programme français MAB (l'Homme et la Biosphère) de l'UNESCO. Elle y est inscrite au groupe 1 : écosystèmes forestiers tropicaux et des savanes humides ou subhumides.

DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Le relief, très caractéristique des « hautes terres » guyanaises, est formé d'un ensemble d'unités hydrographiques très petites, de quelques hectares. Il est donc possible d'individualiser de petits bassins versants comparables et de les équiper de dispositifs de mesure appropriés, permettant de définir les diverses caractéris-

tiques du régime des eaux de surface. Après une première phase d'étalonnage sous couvert forestier, les bassins versants subissent les transformations agricoles alors que d'autres conservent leur couverture forestière d'origine. Ainsi dix bassins versants ont été sélectionnés (fig. 1).



Photo Sarrailh.

Framirés âgés de 4 ans sur le bassin versant J.

bassin A	pâturage
bassins B et F	témoins
bassin C	verger d'agrumes
bassins D et E	recrû naturel
bassin G	planté en pins
bassin H	planté en eucalyptus
bassin I	culture sur abattis
bassin J	planté en Framiré (<i>Terminalia ivoirensis</i>).

Tous les bassins aménagés ont fait l'objet d'une exploitation papetière (coupe des arbres de plus de

20 cm de diamètre et débardage des grumes) à l'exception des bassins I et J.

Parallèlement des études sont menées sur 11 parcelles élémentaires de mesure du ruissellement et de l'érosion, sous forêt et sous culture fourragère. La superficie de ces parcelles élémentaires varie de 100 à 400 m².

Enfin une parcelle destinée à l'étude de la régénération naturelle, dite parcelle ARBOCEL, a été exploitée en 1976 sur 26 hectares.

LES RÉSULTATS

ETUDE DU SOL ET DE LA CHIMIE DES EAUX

R. BOULET, C. et M. GRIMALDI (1)

Dynamique des bassins

Le substrat géologique de la région choisie appartient à la série des schistes du Bonidoro.

Bien que les sols qui en dérivent fussent à l'époque de la prospection des bassins mal connus, des observations succinctes avaient déjà permis de conclure à la complexité de leur dynamique dont les caractéristiques avaient guidé le choix des bassins :

— 1 seul bassin à dynamique de l'eau verticale et profonde (ou drainage vertical libre : D.V.L.), sans problème pour la mise en valeur.

— 4 bassins à dynamique de l'eau principalement superficielle (ou drainage principalement superficiel DPS (2) les plus fréquents.

— 5 bassins mixtes permettant de tester la modélisation de la dynamique des phénomènes.

L'étude des dix bassins versants a permis d'interpréter l'évolution des différents caractères et horizons pédologiques d'un bassin à l'autre, comme une séquence de transformation d'une couverture initiale actuellement en déséquilibre. Ce déséquilibre est provoqué par un abaissement relatif du niveau de base, dû à un léger soulèvement du compartiment du socle guyanais, contrecoup de la subsidence des bassins fonctionnels adjacents (bassin de Berbice au NO, bassin de l'Amazone au SE). Quatre principaux stades de transformation de la couverture

initiale sont distingués, représentés schématiquement sur la figure 2.

STADE I (BASSIN C)

La couverture présente un ensemble d'horizons supérieurs microagrégés suffisamment épais et perméables pour absorber les plus fortes averses. Plus en profondeur (> 1,2 m), la macroporosité (fissures, chenaux) est progressivement moins développée et le sol devient moins perméable. Mais, grâce à la capacité d'absorption de l'eau des horizons microagrégés, la filtration s'effectue à travers ce filtre complexe sans atteindre la saturation. Le ruissellement est faible (1 % de la pluie) ; une nappe fluctue à l'aval.

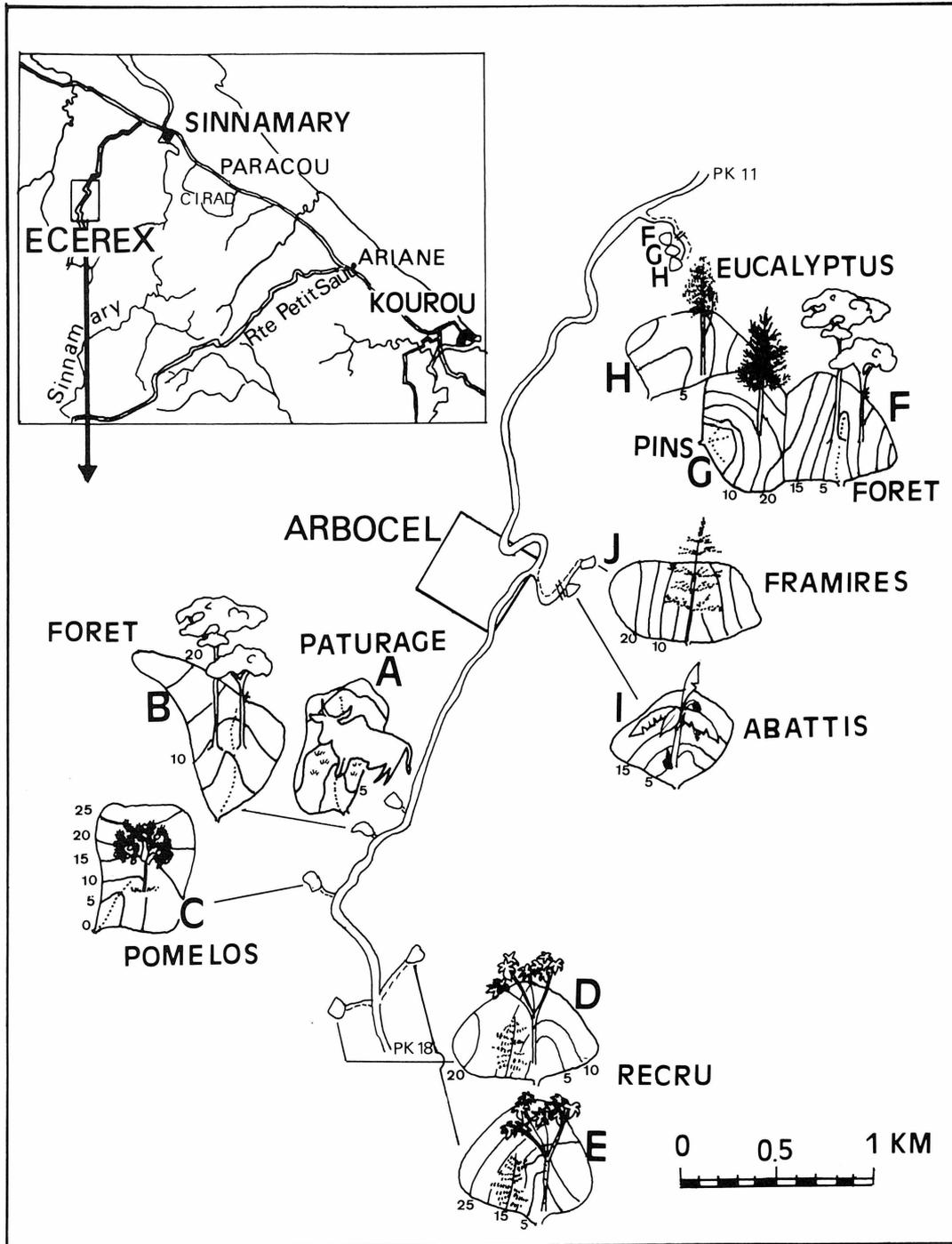
STADE II (BASSINS B, D, E)

L'amincissement à partir de l'aval de l'ensemble microagrégé perméable provoque un « basculement » du drainage, qui, de vertical et profond, devient latéral et superficiel. En effet, lorsque l'épaisseur de l'ensemble microagrégé est inférieure à 1 m environ (cf. GUEHL, 1984), sa capacité d'absorption de l'eau devient insuffisante pour éviter des saturations au-dessus de l'horizon à porosité fine. Il apparaît alors une circulation de l'eau superficielle (ruissellement : 15 % de la pluie) et subsuperficielle, vers 30 cm de profondeur. Au stade II, les bassins sont « mixtes », avec un amont à DVL et un aval à DPS. Dans la partie à DPS, apparaissent vers 70 cm de profondeur, des matériaux « secs au toucher » en toute saison, ce qui ne signifie pas qu'ils sont exempts d'eau, mais que cette eau est fortement retenue par la

(1) ORSTOM, B.P. 165, 97323 CAYENNE Cedex.

(2) Cette dénomination remplace l'ancienne (Drainage vertical bloqué - D.V.B.) depuis que des mesures tensio-neutro-niques ont montré qu'il existe un flux vertical profond, sans doute faible, qui est en cours d'évaluation.

FIG. 1. — Localisation des bassins versants.



porosité très fine. Lorsque la partie amont à DVL reste importante, une nappe fluctue à l'aval (bassins D et E). Dans le bassin B où la partie à DVL n'est que de 10 %, cette nappe aval n'existe pas à l'exutoire du bassin, à une profondeur accessible du moins.

STADE III (BASSIN A)

La zone de basculement du drainage est remontée jusqu'à l'amont. L'ensemble du bassin, de son amont à son exutoire, présente un drainage principalement superficiel.

STADE IV (BASSINS F, G, H)

L'enfoncement de la surface topographique se poursuit et une nappe réapparaît à l'aval avec un écoulement prolongé entre les pluies. Initialement, nous pensions qu'il s'agissait d'une nappe générale. Cependant la poursuite de l'étude sur une plus grande profondeur, a montré qu'il s'agit de nappes perchées dont l'alimentation s'effectue par l'aval du bassin, là où disparaissent les matériaux secs au toucher. Ceci est montré par la forme bombée du magasin de nappe qui, vers l'amont, sous les matériaux secs au toucher, est à contre pente par rapport à la surface topographique et disparaît rapidement (voir fig. 2, stade IV). Le toit de la nappe est lui même légèrement bombé, mais n'a été observé que durant deux saisons des pluies déficitaires.

Il est dès lors possible de caractériser la couverture pédologique d'un bassin versant de façon très précise en indiquant seulement son stade d'évolution. On dispose ainsi d'un outil de cartographie synthétique rapide, permettant d'extrapoler les résultats hydrologiques, agronomiques ou autres, obtenus en bassin versant ou sur tout autre site expérimental de la même région naturelle. Une telle carte a été réalisée au 1/20.000 pour la région ECEREX.

Espace poral d'une couverture pédologique et relation avec son fonctionnement

A l'aide d'observations microscopiques et de mesures physiques, il est possible de caractériser l'espace poral des principaux horizons, des couvertures pédologiques aux stades de transformation II et IV sur schiste (bassins B et F) ou sur pegmatite (bassin I). La détermination du spectre de porosité, c'est-à-dire de la distribution de la porosité en fonction de la taille des pores, permet de différencier nettement les horizons. Ces mesures complètent les observations morphologiques antérieures. Par la caractérisation non seulement des macropores, mais aussi des pores ménagés par les assemblages élémentaires des constituants, ces mesures permettent d'étudier les évolutions microstructurales associées à la pédogenèse ou aux aménagements sylvoagricoles.

Les caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique et rétention d'eau) des mêmes horizons sont

en cours de détermination, à partir des mesures tensio-neutroniques effectuées en plusieurs stations, actuellement sur les bassins B et F (étude de GUEHL sur le bassin I). L'objectif est alors non seulement d'évaluer les flux hydriques dans le sol, mais aussi de relier les caractéristiques de l'espace poral et le fonctionnement hydrodynamique de la couverture pédologique (M. GRIMALDI, R. BOULET, 1989).

Composition chimique des eaux naturelles

(GRIMALDI C., 1989)

Initialement prélevées à l'exutoire afin d'apprécier le bilan de l'érosion sous forme soluble au cours des épisodes pluvieux (ROCHE, FRITSCH), les eaux naturelles peuvent aussi, par leur composition chimique, apporter des informations sur l'évolution géochimique actuelle des volumes pédologiques où elles circulent. D'autres types d'eau ont donc été recueillis : pluies, pluviolessivats, eaux de ruissellement, de circulation latérale, eaux de nappe résurgente ou profonde...

Les éléments chimiques analysés sont Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe , Al , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{--} , l'alcalinité et le pH (fig. 3).

Sous forêt primaire : ces éléments chimiques participent tous à des degrés divers au cycle biologique. Mais certains comme Ca^{++} , Mg^{++} , NO_3^- , SO_4^{--} , dans une moindre mesure K^+ , mobilisés dans les pluviolessivats et dans les eaux superficielles, se retrouvent en quantité infime dans les eaux d'infiltration et les nappes. Ce phénomène reflète la bonne adaptation de la forêt tropicale à la pauvreté du stock de ces éléments dans le sol, en particulier dans les minéraux altérables (seul K^+ peut être libéré par hydrolyse des muscovites).

Na^+ et Cl^- sont les éléments dominants dans l'ensemble de ces eaux : leurs apports par la pluie dépassent les besoins de la végétation en ces éléments : entre les épisodes pluvieux, ils se concentrent dans la solution du sol, par évaporation et absorption sélective des racines.

L'étude de la mobilité de la silice, de l'aluminium et du fer est essentielle pour la compréhension de l'évolution géochimique de la couverture pédologique :

— l'érosion chimique superficielle est importante pour ces trois éléments du fait de la production d'acides organiques dans les eaux de lessivage de la litière (pH autour de 4,7) et de l'augmentation de leur solubilité par complexation avec des molécules organiques ;

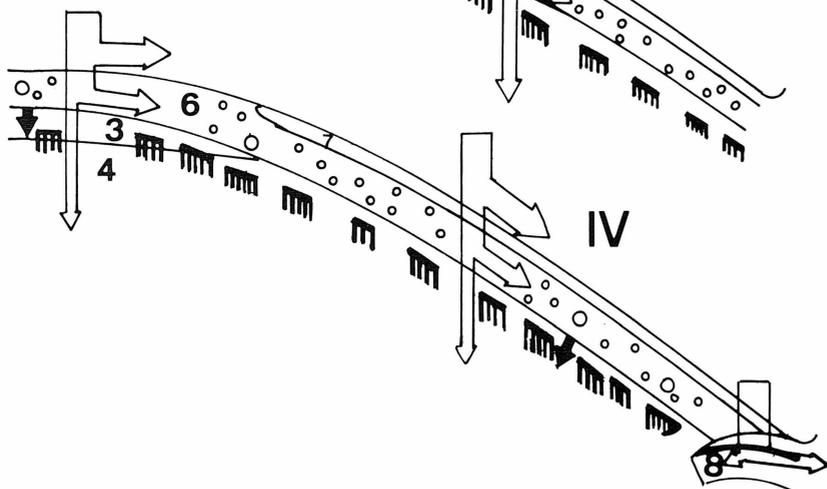
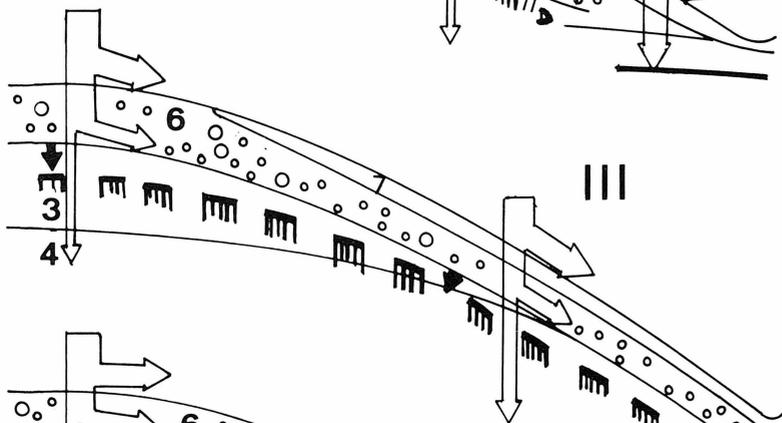
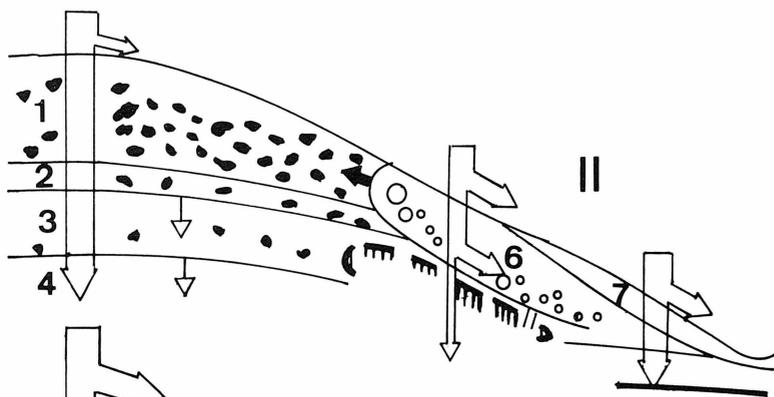
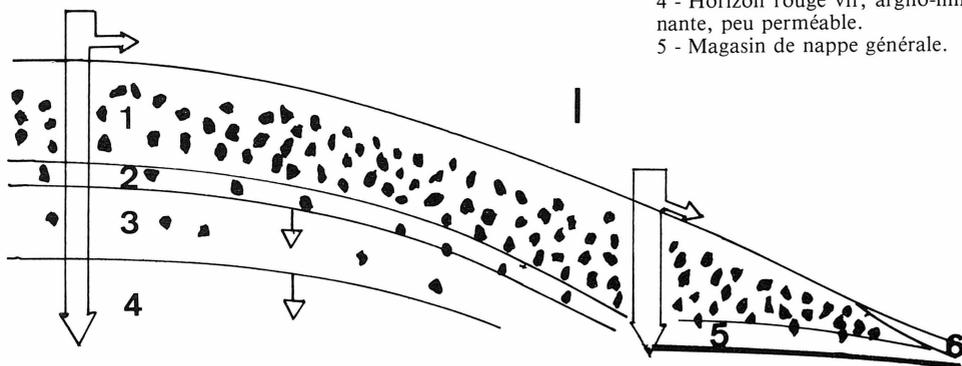
— les circulations latérales se produisent dans des horizons riches en nodules ferrugineux, en voie de dissolution, comme le montrent les concentrations de fer dans ces eaux. La conséquence de ces dissolutions est l'augmentation du pH des solutions, ce qui favorise la néoformation de minéraux alumineux ;

— en profondeur, les eaux de nappe sont acides (le pH diminue jusqu'à 4) et très peu concentrées (sauf en Na^+ et Cl^- par évaporation). C'est le domaine de néoformation de la kaolinite (l'aluminium est immobilisé et la solubilité de la silice reste faible). Localement, le pH de la nappe dépasse 6 (le pouvoir tampon de ces eaux est

FIG. 2. — Evolution des couvertures pédologiques.

Couverture initiale

- 1 - Horizon brun rouge, argileux, microagrégé, à porosité grossière, perméable.
- 2 - Horizon de transition de couleur, structure et porosité.
- 3 - Horizon rouge, argileux, à porosité fine dominante, peu perméable.
- 4 - Horizon rouge vif, argilo-limoneux, à porosité fine dominante, peu perméable.
- 5 - Magasin de nappe générale.



Système transformant

- 6 - Horizon brun jaunâtre, argilo-sableux, à porosité grossière.
 - 7 - Horizon humifère présentant des manifestations d'hydromorphie.
 - 8 - Magasin de nappe perchée, à cloisons rouges centimétriques, orientées dans le sens de la pente du versant, séparées par des bandes de même largeur blanches, limono-argileuses, à porosité tubulaire grossière.
- Nodule ferrugineux lithorélictuel, de taille et forme variable.

○ Nodule ferrugineux lithorélictuel arrondi et à cortex brun.

▩ Limite des matériaux « secs au toucher ».

⇓ Cheminement de l'eau.

— Toit de nappe.

▽ Progression des horizons de la couverture initiale.

▾ Progression du système transformant.

très faible) avec remobilisation de l'aluminium et du fer sous des formes polymères. Ces variations non encore précisément expliquées peuvent être rapprochées des différences observées entre des zones très déferrifiées et l'altérite fortement colorée en rouge par les oxydes de fer.

Sous recrû naturel, une dizaine d'années après leur défrichement, on observe encore sur les bassins D (recrû naturel) et I (abattis traditionnel) une mobilité accrue des ions Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , SO_4^{++} . Dans le même temps, le pH des eaux superficielles (supérieur à 5, parfois 6) est plus élevé que sous forêt. Le cycle biologique n'est donc plus aussi « serré » que sous forêt primaire : le stock des éléments nutritifs apportés au sol lors du défrichement (matière organique brûlée ou décomposée sur place) diminue progressivement, les cations basiques étant échangés avec les H^+ , sur le complexe argileux ou lors du lessivage de la végétation.

Suivi de la fertilisation sur les pâtures : parcelles d'érosion et bassin versant A

Il s'agissait de préciser l'effet des engrais sur les caractéristiques chimiques des sols et d'évaluer les pertes en

éléments fertilisants dans les eaux de ruissellement qui constituent sur ces sols la part essentielle du lessivage.

L'étude a porté sur :

— quatre parcelles d'érosion de 200 m² couvertes de *Digitaria swazilandensis* sur les parcelles 1 et 2, de *Brachiaria* USDA sur la parcelle 3 et de *Brachiaria decumbens* sur la parcelle 4 ;

— deux bassins versants d'un hectare et demi : le bassin A couvert en *Digitaria swazilandensis* et le bassin C par une prairie de *Brachiaria* USDA en plante de couverture d'un verger.

Différentes formes d'engrais ont été comparées.

On observe un effet positif à court terme des propriétés chimiques du sol, excepté sur une parcelle où l'apport d'azote, réalisé sous forme d'engrais complet NPK 3 × 17, a entraîné une nitrification acidifiant le complexe absorbant, visible tant sur les analyses de sol que sur celles des eaux. Le travail du sol récent effectué sur cette parcelle aurait créé, sans doute, les conditions favorables à cette nitrification. Même en l'absence de nitrification, le lessivage intense lors de certaines averses limite les gains du sol en potassium et en azote (apportée sous forme de NO_3^-). L'apport simultané de fertilisants ammoniacés et d'amendements calcomagnésiens améliore cependant le taux de saturation du complexe absorbant et limite probablement la nitrification.

HYDROLOGIE

J. M. FRITSCH (1)

Dans un premier temps et avant toute intervention, les principales phases du cycle de l'eau sont étudiées sur les bassins sous couverture forestière naturelle (ROCHE, 1982) ; c'est la phase d'étalonnage.

On constate que le bilan de l'eau est étroitement lié à la nature pédologique du sol et que le facteur topogra-

phique joue un rôle secondaire (tableau 1). Dans un premier stade où la perméabilité des sols est élevée sur l'ensemble de la superficie (bassin C), l'essentiel de la pluie s'infiltré, la part ruissellée ne représente que 5 % du total précipité.

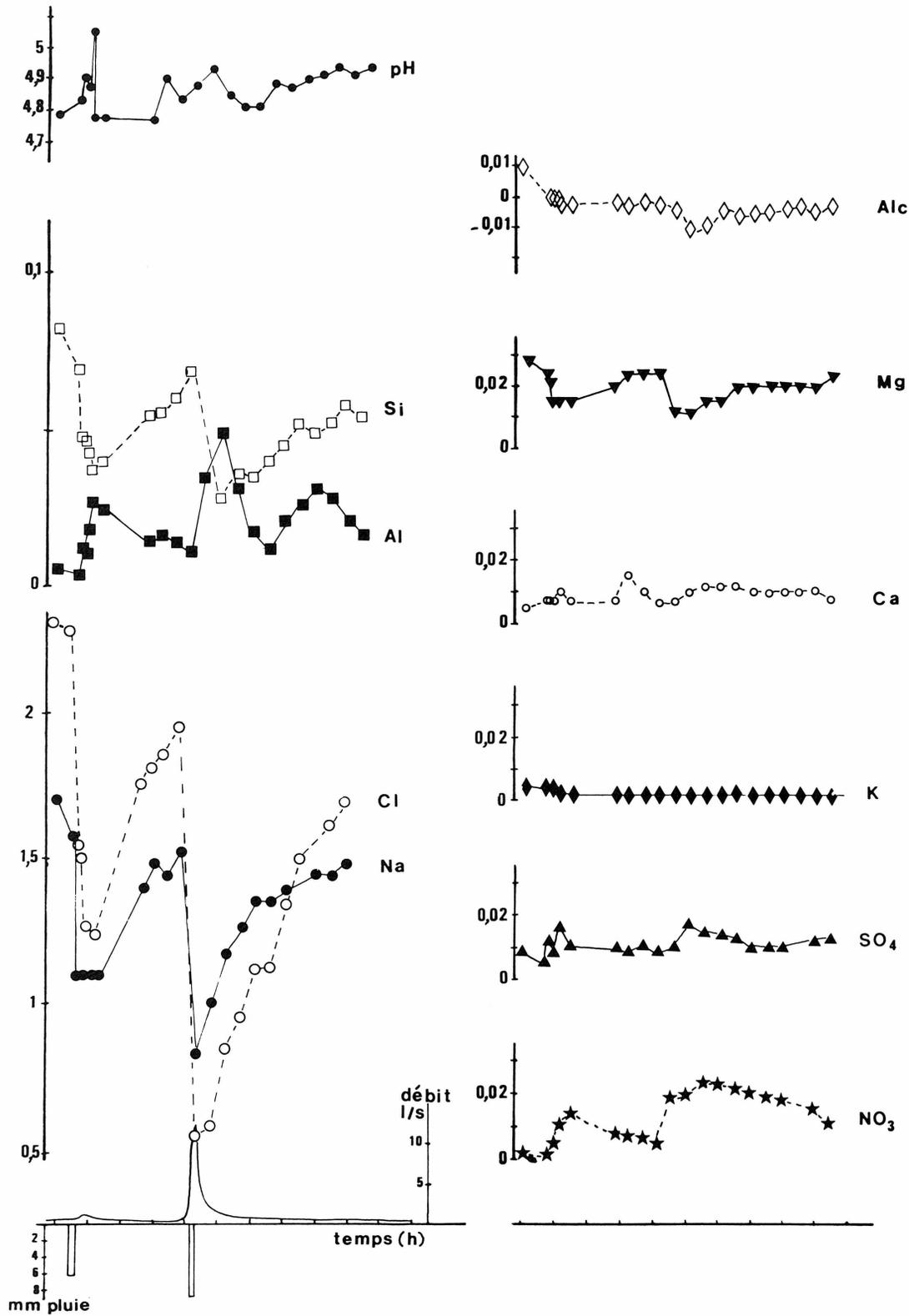
Comme précédemment indiqué (cf. chapitre pédolo-

TABLEAU 1
CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET PÉDOLOGIQUES DES BASSINS-VERSANTS.
PLUVIOMÉTRIE, ÉCOULEMENT ET RUISSÈLEMENT SOUS FORÊT NATURELLE EN 1979

	C	I	E	D	B	A	J	G	F	H
Surface (ha)	1,6	1,1	1,6	1,4	1,6	1,3	1,4	1,5	1,4	1,0
Pente des versants (%)	17-20	22-23	32-23	28-18	17-17	20-20	32-29	26-34	35-31	19-24
Surfaces à drainage libre (%)	100	60	57	60	10	0	2	0	0	0
Surfaces à drainage (%) principalement superficiel	0	40	43	40	90	100	98	90	96	86
Zones de nappes (%)	—	—	—	—	—	—	—	10	4	14
Pluie annuelle (mm)	3.526	3.365	3.407	3.197	3.286	3.430	3.229	3.187	3.141	3.288
Lame écoulée (mm)	372	488	497	533	668	690	996	1.551	1.617	1833
Coefficient d'écoulement (%)	10,6	14,5	14,6	16,7	20,3	20,1	30,8	48,7	51,5	56,8
Lame ruissellée (mm)	212	372	471	506	565	597	948	967	1.079	1.143
Coefficient de ruissellement (%)	6,0	11,1	13,8	15,8	17,2	17,4	29,4	30,3	34,3	35,4

(1) ORSTOM - Montpellier.

FIG. 3. — Evolution de la composition chimique de l'écoulement à l'exutoire du bassin F, au cours d'un épisode pluvieux (concentrations en moles/l, sauf l'alcalinité en milliéquivalents/l et le pH en unités logarithmiques).



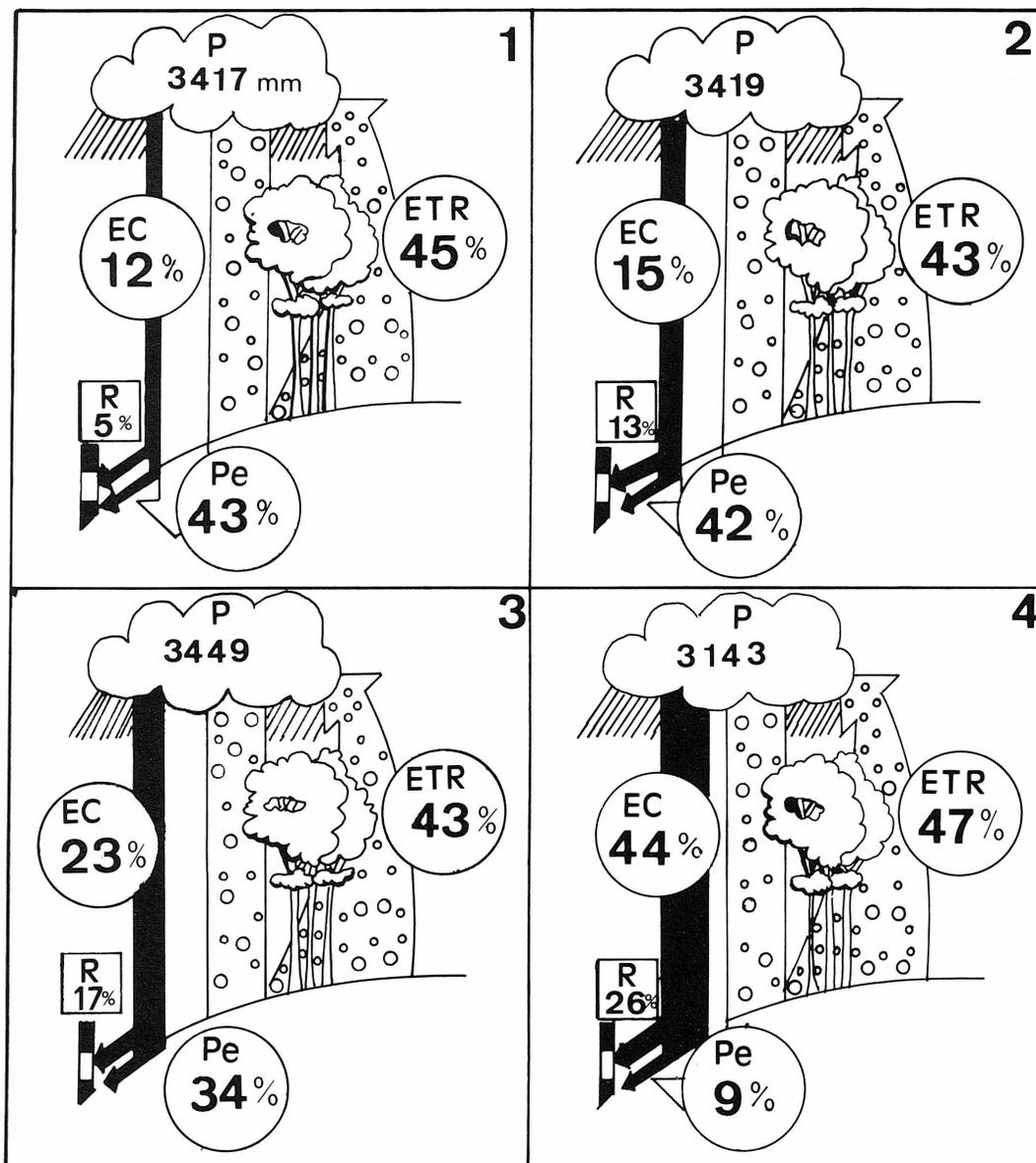


FIG. 4. — Bilan de l'eau en forêt naturelle suivant le stade d'évolution des couvertures pédologiques.

P = Pluie en mm.
 ETR = Evapotranspiration réelle : % de P.
 EC = Ecoulement : % de P.
 Pe = Percolation : % de P.
 R = Ruissellement : % de P.
 ETR + EC + Pe = 100 %.

1 - Bassin à drainage vertical libre (Bassin C).
 2 - Bassin à drainage mixte (Bassin D).
 3 - Bassin à drainage superficiel (Bassin A).
 4 - Bassin à drainage superficiel (Bassin F).

gie), l'amincissement de l'ensemble microagrégé perméable (stade II puis III) entraîne une augmentation sensible du ruissellement. Au stade IV (bassins F, G, H)

l'enfoncement de la surface topographique provoque la réapparition à l'aval d'une nappe : la percolation ne représente plus que 9 % du total de la pluie (fig. 4).

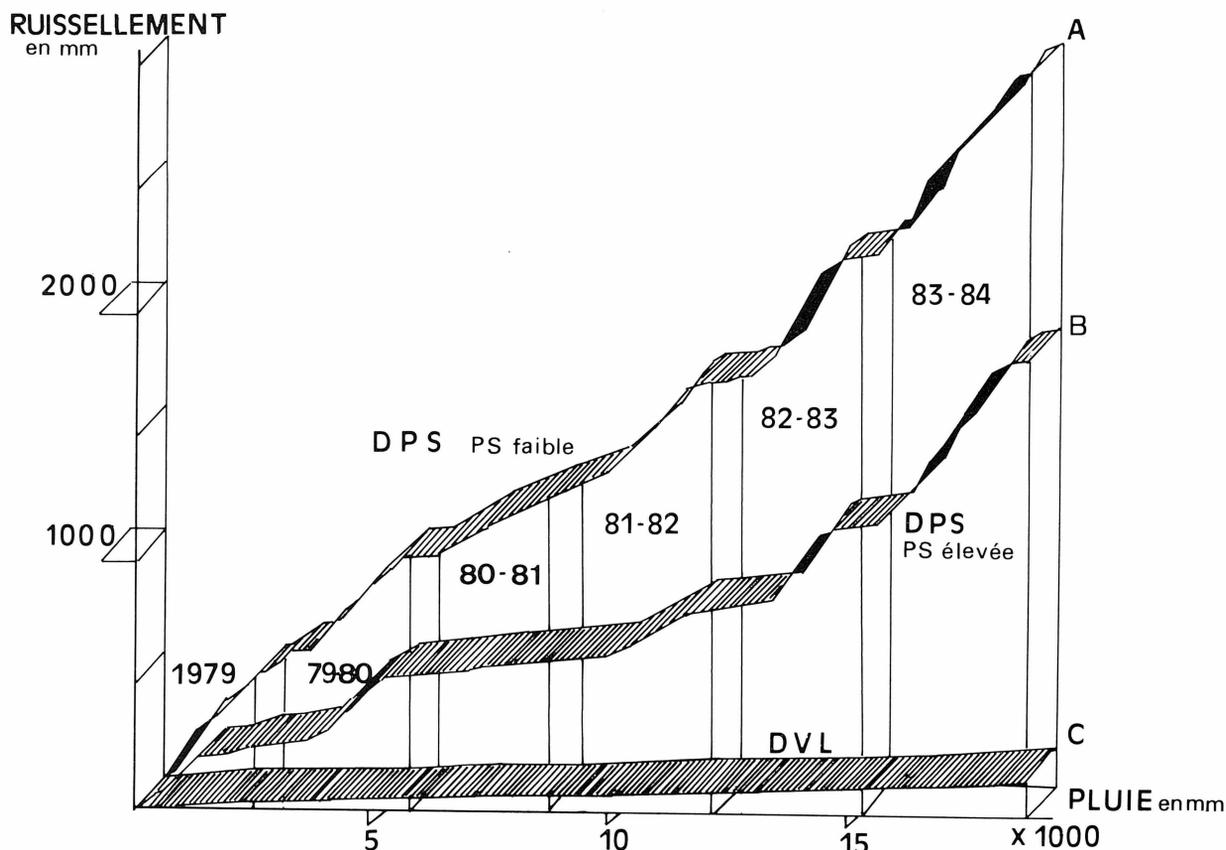


FIG. 5. — Ruissellement cumulé en fonction de la pluie. Parcelles en forêt naturelle.

A : Drainage principalement superficiel - perméabilité de surface faible.
 B : Drainage principalement superficiel - perméabilité de surface élevé.
 C : Drainage vertical libre.

Après défrichement, le ruissellement a augmenté globalement dans les proportions allant de 1,5 à 3,3 suivant les bassins, ces augmentations étant toujours dans l'ordre inverse de l'abondance des écoulements naturels.

Le nombre de crues des bassins expérimentaux défrichés augmente dans un rapport de 1,5 à 2,5.

Les concentrations en suspension à l'exutoire des bassins versants augmentent de façon très significative après le défrichement, puisque par exemple, sur les bassins A et C, le mode se situe à 50 mg.l⁻¹ contre 25 sous forêt naturelle au bassin B. On observe l'apparition de concentrations allant jusqu'à 5.000 mg.l⁻¹ au bassin A, et 10.000 mg.l⁻¹ aux bassins G et H.

La conjonction de l'augmentation du ruissellement et

des concentrations en suspension aboutit à des transports solides aux exutoires tout à fait remarquables, d'autant que les charriages quasi-inexistants sous forêt se voient multipliés par des facteurs 50 à 500 (J. M. FRITSCH, J. M. SARRAILH, 1986).

La mise en place d'un pâturage va permettre l'amélioration du régime hydrique et de l'érosion : ainsi le facteur d'accroissement du ruissellement passe de 2,5 à 1,7 du défrichement au pâturage dans le cas du bassin A et de 3,3 à 2,9 dans le cas du bassin C.

L'érosion redevient du même ordre de grandeur que sous forêt, le facteur d'accroissement chute de 34 à 3,2 pour le bassin A, de 34 à 2,4 pour le bassin C (J. M. FRITSCH, 1987).

RUISSELLEMENT ET ÉROSION EN PARCELLES ÉLÉMENTAIRES

J. M. SARRAILH

Cette opération est étroitement liée au dispositif en bassins versants et a pour but de permettre la caracté-

sation du ruissellement et de l'érosion à plus grande échelle qu'en bassins et sur des surfaces plus homogè-

nes. La station est équipée de 11 parcelles, dont 3 sous forêt naturelle, 7 sous prairies artificielles et 1 parcelle WISCHMEIER (étude de la résistance des sols à l'érosion).

Sous forêt : le ruissellement est très faible sur sol à drainage vertical libre (DVL) de 0,6 à 1,4 % de la pluie, l'infiltration est donc presque totale malgré une pente de 18 % (fig. 5).

Sur sol à drainage principalement superficiel (DPS), deux parcelles parallèles ont été installées, l'une n'incluant que le haut de pente, l'autre quatre fois plus longue (400 m²) inclut le sommet et la majeure partie de la pente.

Les résultats montrent que le ruissellement sur le versant complet est élevé (15 à 22 % de la pluie annuelle). Le ruissellement se déclenche pour des pluies faibles et augmente rapidement avec la hauteur d'eau. La parcelle sommitale a un comportement intermédiaire entre celle à DVL et celle englobant le versant à DPS (ruissellement annuel 10 %). Sur cette parcelle, l'infiltration prédomine sur le ruissellement tant que l'eau de pluie est acceptée par le réservoir constitué par les horizons poreux et perméables surmontant les horizons secs au toucher. Lorsque ce réservoir est virtuellement rempli le surplus d'eau ruisselle en totalité. Sur la pente par contre, la perméabilité de surface est faible et des averses de faibles intensités provoquent le ruissellement (BOULET, 1982).

La comparaison entre la parcelle A et le bassin versant B aux mêmes caractéristiques montrent que malgré la

TABLEAU 2

TRANSPORTS SOLIDES ANNUELS EN SUSPENSION ET PAR CHARRIAGE (en kg. ha⁻¹) ET ACCROISSEMENT PAR RAPPORT AU MILIEU NATUREL DE L'ANNÉE DU DÉFRICHEMENT SUR LES BASSINS A, C, G ET H

Bassins	A	C	G	H
Suspensions	5.696	1.898	7.823	2.786
Accroissement des suspensions	× 19	× 28	× 25	× 8
Charriages	6.322	1.284	9.165	3.085
Accroissement des charriages	× 108	× 49	× 515	× 126
Total des transports solides	12.018	3.182	16.988	5.871
Accroissement des transports solides	× 34	× 34	× 51	× 16

Périodes de référence :

Forêt Naturelle : A, B et C juillet 1977 à août 1978
 F, G et H août 1978 à juillet 1980
 Année du défrichement : A et C décembre 1978 à novembre 1979
 G et H janvier 1981 à décembre 1981.

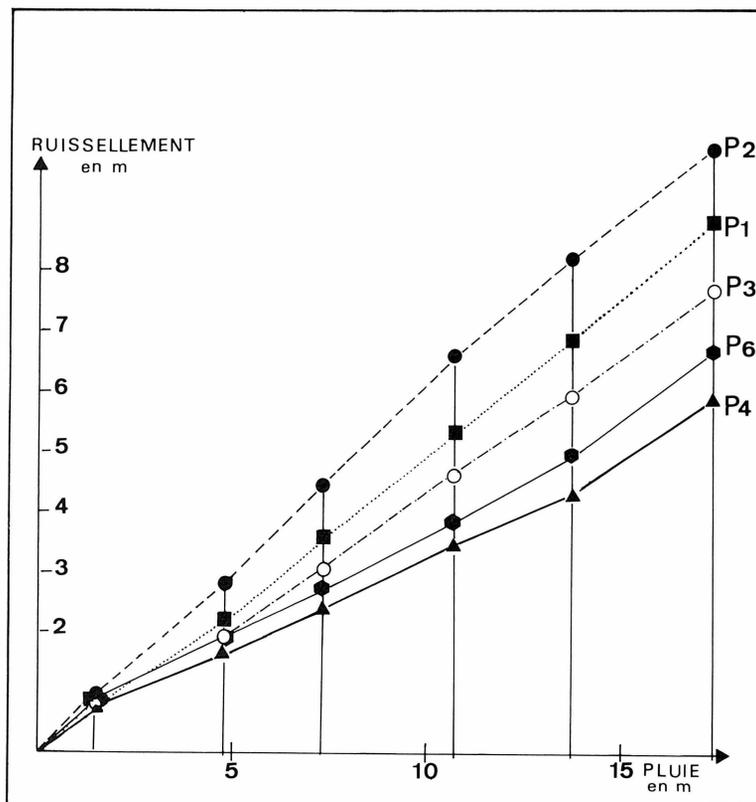


FIG. 6. — Ruissellement cumulé en fonction de la pluie. Parcelles en fourrages.

P1 : Panicum maximum
 P2 : Brachiaria ruziziensis
 P3 : Brachiaria USDA
 P4 : Brachiaria decumbens
 P6 : Digitaria swazilnsdensis

différence d'échelle (400 m² et 16 000 m²) l'écart du ruissellement entre les deux dispositifs après trois saisons hydrologiques n'est que de 3 %. Les écarts entre les résultats restent très faibles et révèlent une inertie plus grande du bassin versant dans sa réponse hydrologique aux premières pluies après la saison sèche. L'extension de la comparaison à un petit bassin versant, la crique Delices (4,5 km²), de nature pédologique proche du bassin versant F, montre que le régime hydrologique de ce bassin est calqué sur celui de Délices avec pratiquement le même écoulement annuel total, un coefficient de ruissellement légèrement supérieur et des débits de base un peu moins importants.

La méthodologie de la parcelle est donc séduisante au niveau de la simplicité d'exploitation, et permet des possibilités d'extrapolation à des échelles beaucoup plus

vastes (J. M. FRITSCH, P. L. DUBREUIL, J. M. SARRAILH, 1987).

Sous couvert graminéen : les résultats obtenus sont là encore très cohérents avec ceux observés sur le bassin versant A : les ruissellements sont fortement augmentés lors de l'installation de la prairie et atteignent 50 à 64 % de la pluie la première année de culture (fig. 6).

Trois ans après, pour les prairies à fort rendement, les ruissellements sont revenus à un niveau sensiblement inférieur :

parcelle 4 : *Brachiaria decumbens*, 29 %,
parcelle 6 : *Digitaria swazilandensis*, 32 % de la pluie.

Les ruissellements sur les autres graminées restent élevés, tout particulièrement dans la parcelle 2, en *Brachiaria ruziziensis*.

BOTANIQUE

Les recherches se poursuivent actuellement, plus particulièrement sur l'architecture des arbres, les relations sol-plante et la régénération de la forêt.

Rappelons cependant que si l'on considère les arbres de plus de 20 cm de diamètre, les familles les mieux représentées sont les *Lecythidaceae*, 26 % de l'effectif total, *Caesalpiniaceae*, 22 %, *Chrysobalanaceae*, 12 %, *Sapotaceae*, 12 %. La phytomasse — biomasse revenant aux végétaux — a été évaluée en moyenne à 318 tonnes de matière sèche par hectare. Elle varie suivant les bassins de 263 t/ha⁻¹ à 372 t/ha⁻¹ sans que ces différences soient significativement liées à la nature du type de drainage (fig. 7) (LESCURE *et al.*, 1983).

L'étude de la litière et de la nécromasse montre que la production annuelle de litière est de 7,9 t/ha⁻¹ de matière sèche, dont 72,4 % de feuilles, 18,4 % de brindilles et 9,2 % de fleurs et fruits.

Cette litière se décompose en 210 jours. Les analyses des éléments biogènes contenus dans les feuilles de wapa, de mahot et de gaulette sont portées sur la figure en kilogrammes par hectare et par an.

De ces résultats on peut conclure que l'apport de ces éléments par la litière est faible en Guyane française comparé à la moyenne des forêts tropicales. Néanmoins le stockage des éléments minéraux dans la biomasse, leur transfert avant la chute des feuilles, et la rapidité des cycles biogéochimiques permettent à ces forêts chimiquement pauvres de se contenter des faibles apports atmosphériques d'éléments minéraux et des sols très peu fertiles pour constituer des écosystèmes équilibrés à forte biomasse, mais extrêmement fragiles et vulnérables aux interventions humaines mal contrôlées (PUIG-DELOBELLE, 1988).

L'étude de la régénération naturelle de huit espèces d'arbres a été entreprise à partir de 1984, en grande partie sur ECEREX.

Ces espèces ont été choisies en fonction des modes de dissémination des graines.

Parmi les *Caesalpiniaceae*, le Wapa, *Eperua falcata*, projette ses graines par déhiscence explosive (autochorie) ; pour les autres Wapas, *Eperua grandiflora*, les graines tombent d'elles-mêmes au sol (barochorie). Les graines d'Angélique, *Dicorynia guianensis*, sont transportées par le vent (anémochorie), tandis que les graines de Wacapou, *Vouacapoua americana* sont disséminées par les rongeurs (synzoochorie - rongeurs), celles de *Swartzia longicarpa* et *S. remiger*, par les chauves-souris. Pour deux *Myristicaceae*, *Virola michellii* et *V. sp. nov.*, les principaux disséminateurs sont des mammifères arboricoles et des oiseaux (endozoochorie).

Pour les quatre premières, la dispersion des graines et leur survie ont été analysées en fonction de la distance au pied porteur. Les structures démographiques en hauteur et la dynamique des populations de plantules et de stades juvéniles de toutes les espèces ont été étudiées autour des pieds porteurs sur des parcelles de forêt mature (2.500 m² à 8.100 m²), et dans des chablis ; elles ont été comparées à la répartition des arbres. Un continuum hypothétique de huit modes de régénération est proposé, allant des espèces disséminées à de faibles distances, très tolérantes au sous-bois et montrant une répartition dense, aux espèces disséminées à de grandes distances, moins tolérantes à l'ombre et montrant une large répartition (FORGET, 1988).

De même la régénération des palmiers a été suivie pour *Oenocarpus oligocarpa*, *Astrocargum sciophilum*,

PHYTOMASSE 318 t.ha⁻¹ M.S.

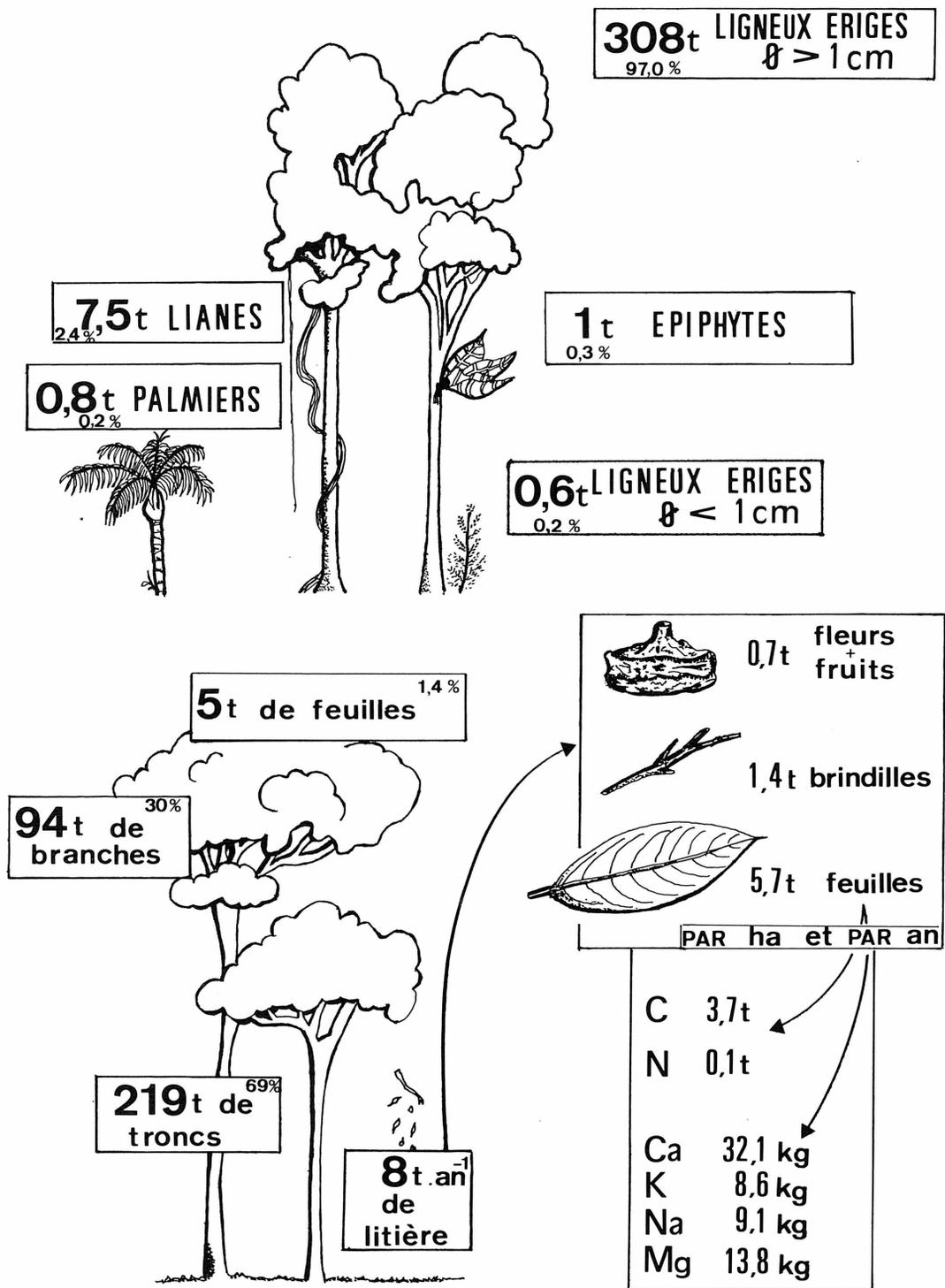


FIG. 7. — Composition de la forêt biomasse et apports minéraux par la litière.

A. paramaca, *Attalea attaleoides*, *Geonoma oldemanii* (SIST, 1988). Ce sont les oiseaux toucans et maraills ainsi que les rongeurs qui sont les principaux disséminateurs.

En ce qui concerne la régénération de la forêt après coupe rase, l'étude est poursuivie depuis 1976 sur la parcelle de 25 hectares appelée ARBOCEL.

La figure 8 montre l'évolution imagée de la répartition des espèces au cours des années (l'échelle des espèces représentées figure le nombre d'individus et non pas la taille). Dans une première phase, des pionnières éphémères dominant en nombre le recrû : il s'agit des *Cecropia* et des *Solanum*. Celles-ci finissent par disparaître au profit des pionnières durables : *Goupia glabra*, *Laetia procera*, *Xylopia nitida*, *Vismia*. Les espèces d'ombre prennent une importance numérique grandissante : *Pay-*

pyrola guianensis, des Rubiacées et des Melastomacées : *Miconia*, *Loreya*, *Isertia*, *palicourea* (LEMAIRE, 1988 ; LARPIN, 1988).

A ce stade de l'évolution, douze ans, le nombre de tiges utilisables pour la pâte à papier ou le bois énergie est encore négligeable. L'arrivée d'essences commercialement intéressantes est encore très faible. En effet, la venue des graines d'espèces de forêt primaire, généralement de grande taille, dépend des arbres présents sur les lisières de la forêt et des agents susceptibles de les transporter (mammifères, oiseaux).

Si les coupes rases devaient se généraliser, il conviendrait de limiter leur taille et de préserver des massifs suffisants de forêt primaire.

RÉSULTATS OBTENUS SUR LA PRODUCTIVITÉ DES AMÉNAGEMENTS

Le pâturage : Bassin A

BEREAU, SARRAILH, 1985

Le problème de la pérennité des pâturages est un problème essentiel du développement agricole guyanais.

Sur le bassin A, 1,6 hectare de *Digitaria swazilandensis* a été planté en juin 1979.

La fertilisation annuelle de 150 unités NPK (engrais complet apportant Azote, Phosphore, Potasse) à l'hectare autorise la pâture de 8 à 10 taurillons sur cette superficie.

A partir de 1982, et grâce à un financement CORDET, une étude précise de l'évolution du pâturage a été engagée en commun par l'I.N.R.A. et le C.T.F.T. Le bassin a été alors divisé en quatre parties, la parcelle 3, située hors du dispositif, a été retirée de l'étude en 1983.

Sauf en 1983-1984, année marquée par une saison

sèche de longue durée, les rendements ne diminuent qu'à partir de la huitième année. Durant cette période l'envahissement par les mauvaises herbes est contrôlé par une bonne gestion du troupeau, une fertilisation correcte et un usage modéré d'herbicide sélectif.

La taille forcément limitée de ce dispositif ne permet pas de juger en vraie grandeur de la rentabilité économique du système. Sa productivité élevée nécessite des entrées coûteuses, que les éleveurs guyanais, confrontés à de graves problèmes économiques, ne peuvent réaliser. La rentabilité de l'élevage en Guyane n'est pas véritablement maîtrisée actuellement, aussi un important mouvement de décapitalisation du cheptel a-t-il diminué fin 1987 le nombre de bovins (- 15 %).

TABLEAU 3
PRODUCTION ANNUELLE DES PARCELLES PÂTURÉES EN kg.MS.ha⁻¹.an.⁻¹

Parcelle	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87
1	23,69	12,03	27,17	26,44	19,50
2	18,65	11,79	22,08	19,56	14,94
3	15,47		Arrêt de la parcelle 3		
4	24,29	15,01	25,39	23,28	17,10
5	26,51	15,26	27,88	32,80	20,09
Moyenne	21,72	13,52	25,63	25,52	17,91

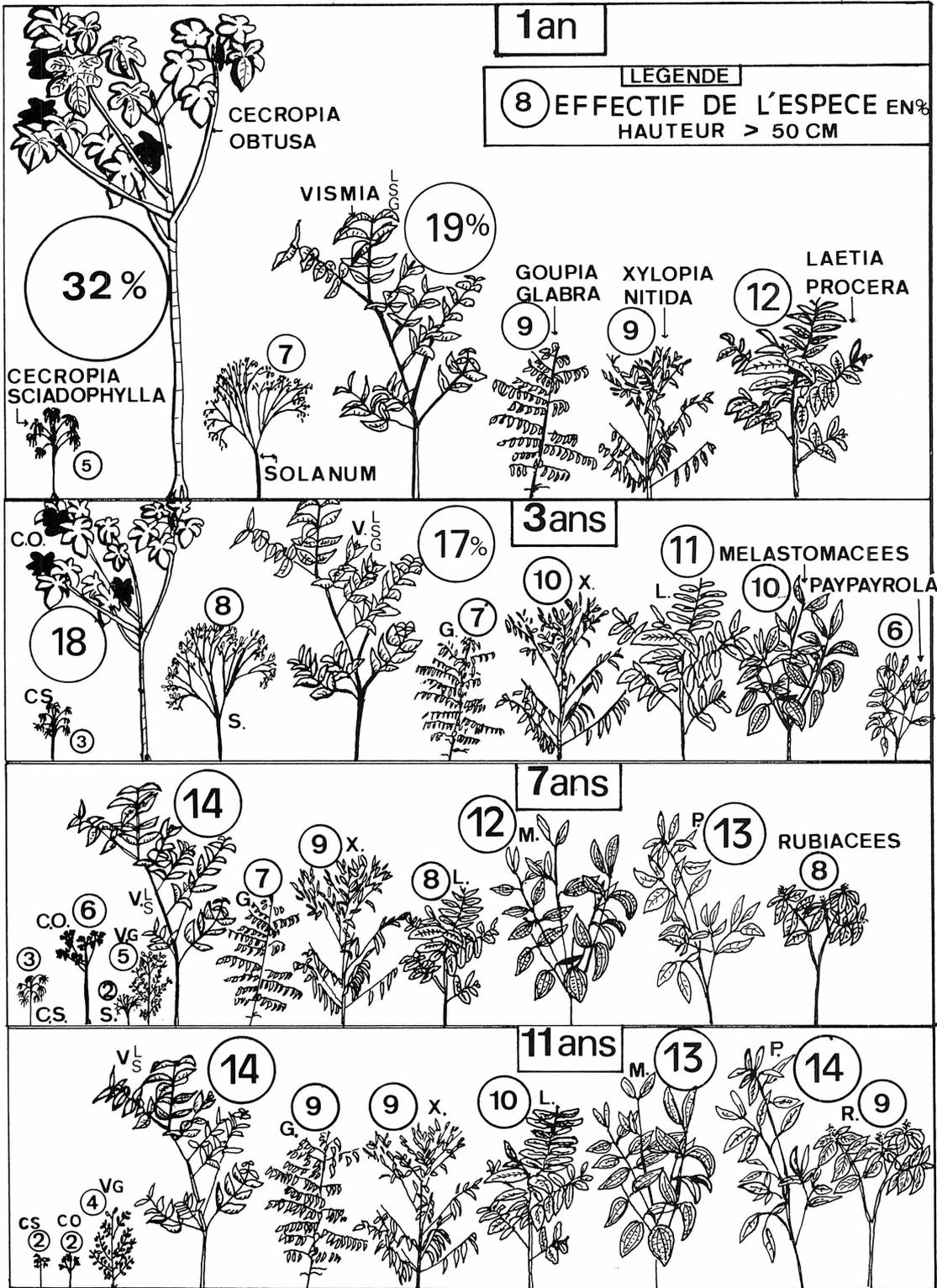


FIG. 8. — Evolution de la répartition des espèces. Régénération de la forêt après coupe rase.

FIG. 9. — Croissance en diamètre des essences de reboisement.

Le verger : Bassin C

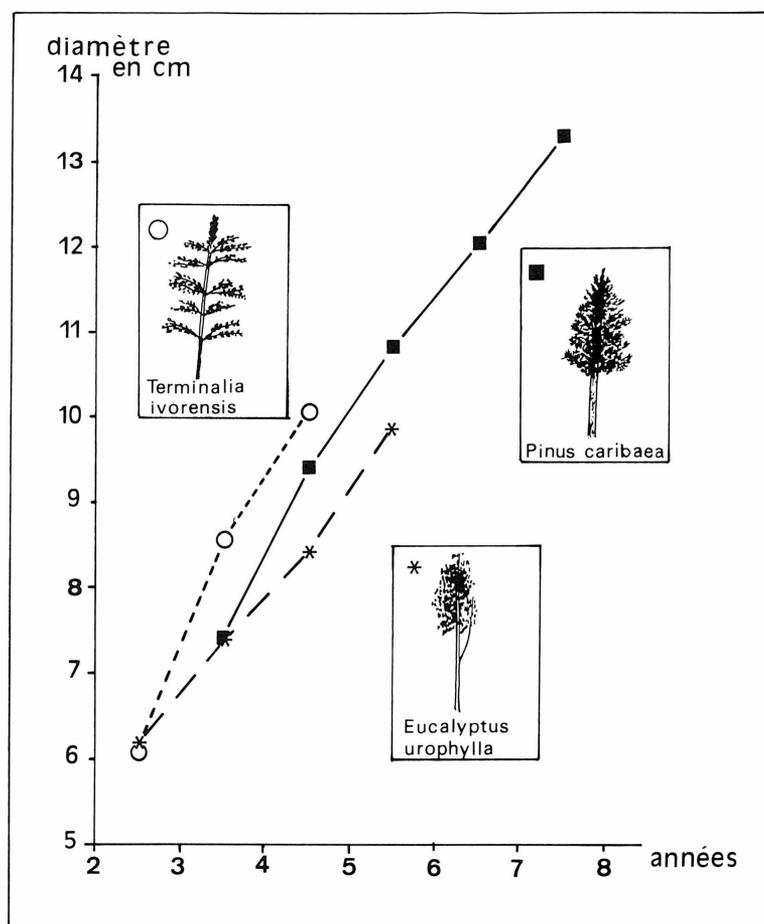
Sur ce bassin, 470 Pomelos ont été plantés en juillet 1979. Depuis plusieurs années, ces fruitiers produisent de façon régulière et satisfaisante. Malgré l'intérêt que représenterait l'étude de la production d'agrumes, celle-ci n'a pu être encore réellement réalisée (hétérogénéité du verger, absence de gardiennage, vols de fruits, étalement de la production). Néanmoins sur ce type de sol à bon drainage cet aménagement semble digne d'intérêt, sans sous-estimer les problèmes d'entretien et de commercialisation.

Les reboisements : Bassins G, H et J

Les reboisements ont été réalisés sur les sols les moins favorables à l'agriculture et après des défrichements en pleine saison des pluies dont on voulait estimer l'ampleur des dommages prévisibles.

Les résultats sont très hétérogènes et dans l'ensemble les croissances observées sont faibles (fig. 9).

Dans les zones d'accumulation de matière organique, elles peuvent être satisfaisantes. Par exemple, pour le Framiré *Terminalia ivorensis*, la moyenne obtenue à quatre ans et demi, autour des andains, est de 17,4 cm



de diamètre. Sur les sommets très découpés par le défrichement mécanisé la moyenne chute à 4,9 cm.

Dans tous les cas, la nécessité de réaliser de coûteux entretiens manuels les premières années rend caduque la possibilité de reboiser rentablement les collines.

CONCLUSIONS

La conquête des terres par le défrichement de la forêt tropicale humide, rendue nécessaire pour le développement agricole de la Guyane, se heurte à la fragilité et à la complexité du milieu.

La mise à nu des sols par les engins mécaniques, entraîne une phase où l'érosion intense peut avoir des répercussions irréversibles sur la fertilité des sols.

Le défrichement de la forêt ne s'impose pas toujours et un choix préalable des terres à aménager, selon les critères mis au point dans de tels dispositifs, doit permettre de préserver les surfaces couvertes de sols dont on a pu montrer la grande fragilité.

La suppression de la forêt et la préparation des terres perturbent profondément l'écosystème.

Elles nécessitent l'utilisation d'un matériel approprié : lame oblique laissant les souches arasées au sol et râteau poussant les débris en courbes de niveau.

Le travail doit être impérativement effectué pendant la saison sèche, en évitant les pentes trop marquées. Les possibilités d'aménagement restent cependant réelles, liées avant tout aux caractéristiques hydrodynamiques des sols.

Cette étude a permis d'observer que vergers ou pâturages semblent bien adaptés au milieu, encore faut-il que

les possibilités financières des exploitants leur permettent les entretiens indispensables.

Les reboisements en essences à croissance rapide, peu productifs sur ce type de sol, et dont l'entretien s'avère trop contraignant, doivent être réservés à d'autres zones plus favorables. On leur préfère un aménagement par éclaircie de la forêt naturelle après exploitation.

Cette opération, après douze années de suivi conserve tout son intérêt pour l'acquisition des données de base nécessaires au développement. De plus, ce laboratoire au cœur de la forêt voit s'accroître régulièrement le nombre de chercheurs qui disposent en ce site d'un outil de recherche écologique particulièrement adapté à l'étude de l'écosystème forestier équatorial.

BIBLIOGRAPHIE

RÉFÉRENCES AU TEXTE

- BEREAU (M.), SARRAILH (J. M.), 1985. — Un aspect de la pérennité de *Digitaria swazilandensis* pâturé : évolution du rendement en milieu déforesté. *Système d'élevage herbager en milieu équatorial*. Séminaire organisé par le département SAD de l'INRA Cayenne, 9-10 décembre 1985, INRA, 1987, p. 63-84.
- FORGET (P. M.), 1988. — Dissémination et régénération naturelle de huit espèces d'arbres en forêt guyanaise. Thèse 3^e cycle, Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 245 p.
- FRITSCH (J. M.), SARRAILH (J. M.), 1986. — Les transports solides dans l'écosystème forestier tropical humide guyanais. Effets du défrichement et de l'aménagement des pâturages. Cah. ORSTOM, série Pédologie, vol. XXII, p. 93-106.
- FRITSCH (J. M.), 1987. — Écoulements et érosion sous prairies artificielles après défrichement de la forêt tropicale humide in : *proceedings of IAHS Symposium on Forest Hydrology and Watershed Management*. XIX^e assemblée générale de l'UGGI, Vancouver, 9-22 août 1987, p. 123-129.
- FRITSCH (J. M.), DUBREUIL (P. L.), SARRAILH (J. M.), 1987. — De la parcelle au petit bassin versant : effet d'échelle dans l'écosystème forestier amazonien in : *Proceedings of IAHS Symposium on Forest Hydrology and Watershed Management*. XIX^e assemblée générale de l'UGGI, Vancouver, 9-22 août 1987, p. 131-149.
- GRIMALDI (C.), 1989. — Origine de la composition chimique des eaux superficielles en milieu tropical humide : exemple de deux petits bassins versants sous forêt en Guyane française. A paraître in *Bull. Sci. Geol., Strasbourg*.
- GRIMALDI (M.), BOULET (R.), 1989. — Espace poral d'une couverture pédologique sur socle en Guyane française. Relation avec son fonctionnement hydrique. Cah. ORSTOM, Série Pédologie (à paraître).
- GUEHL (J. M.), 1984. — Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. *Ann. Sci. For.*, 41 (2), p. 195-236.
- LARPIN (D.), 1988. — Étude d'un recru forestier en Guyane française. DEA USTL Montpellier, 57 p.
- LEMAIRE (P.), 1988. — Dynamique et avenir sylvicole d'un recru naturel après coupe papetière de la forêt dense humide guyanaise. Rapport stage ENGREF, 67 p., 17 annexes.
- PUIG (H.), DELOBELLE (J. P.), 1988. — Production de litière nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 43, 3-22.
- SARRAILH (J. M.), 1980. — L'écosystème forestier guyanais. Étude écologique de son évolution sous l'effet des transformations en vue de sa mise en valeur. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 189, p. 31-36, 1980.
- SARRAILH (J. M.), 1984. — Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais. Opération ECEREX : résumé des premiers résultats. *Bois et Forêts des Tropiques*, n° 206, p. 13-32.
- SIST (P.), 1985. — Régénération et dynamique des populations de quelques espèces de palmiers en forêt guyanaise. DEA Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 65 p.

SUR LES TRAVAUX EFFECTUÉS A ECEREX

- ATRAMENTOWICZ (M.), 1988. — La frugivorie opportuniste de trois marsupiaux Didelphidés de Guyane. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, vol. 43, p. 47-57.
- BARTHELMY (D.), 1988. — Architecture et sexualité de quelques plantes tropicales : le concept de floraison automatique. Thèse 3^e cycle, USTL Montpellier.
- BOULET (R.), CHAVEL (A.), HUMBEL (F. X.), LUCAS (Y.), 1982. — Analyse structurale et cartographie en pédologie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIX, n° 4, 1982, p. 309-351.
- CHARLES-DOMINIQUE (P.), 1986. — Inter-relations between frugivorous vertebrates and pionner plants : *Cecropia*, bird and bats in French Guyane in Frugivores and seed dispersal. ESTRADA + FLEMING ed., Junk Publishers, Dordrecht, 119-135.
- FORESTA (H. de), CHARLES-DOMINIQUE (P.), ERARD (C.), PRÉVOST (M. F.), 1984. — Zoochorie et premiers stades de la régénération naturelle après coupe en forêt guyanaise. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, vol. 39 (4), p. 369-409.
- FORESTA (H. de), PRÉVOST (M. F.), 1986. — Végétation pionnière et graines du sol en forêt guyanaise. *Biotropica*, vol. 18 (4), p. 279-286.
- LEBERRE (C.), BARTHES (B.), 1988. — Contribution à l'étude du pâturage sous ombrage en Guyane. Rapport multigr. ORSTOM, Cayenne, 56 p.
- LESCURE (J. P.), PUIG (H.), RIERA (B.), LECLERC (D.), BEEKMAN (A.), BÉNÉTEAU (A.), 1983. — La phytomasse épigée d'une forêt dense en Guyane française. *Acta Aecologica*, 1983, vol. 4, n° 3, p. 237-251.
- LESCURE (J. P.), BOULET (R.), 1985. — Relationships between soil and vegetation in a tropical rain forest in French Guiana. *Biotropica*, 17 (2), p. 154-164.
- MAURY-LÉCHON (G.), BETSCH (J. M.), BETSCH-PINOT (M. C.), 1986. — Dynamiques comparées de la végétation et de la pédofaune dans un recru en zone forestière tropicale (Guyane française). *Mémoires du MNHN*, NS, Série A, tome 132, p. 243-256.
- PRÉVOST (M. F.), 1983. — Les fruits et les graines des espèces végétales pionnières de Guyane française. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, vol. 38, p. 121-145.
- PUIG (H.), PRÉVOST (M. F.), 1986. — Périodicité de l'accroissement de quelques arbres de Guyane. *Mémoires du MNHN*, NS, Série A, tome 132, p. 159-171.

- RIERA (B.), 1985. — Importance des buttes de déracinement dans la régénération forestière en Guyane française. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 40, 1-9.
- RIERA (B.), ALEXANDRE (D.), 1988. — Surface des chablis et turn over rate en forêt guyanaise. *Oecol. Gener.*, vol. 9 (2), p. 211-220.
- RIERA (B.), 1986. — A propos des chablis en forêt guyanaise. *Mémoires MNHS*, NS, Série A, tome 132, p. 198-114.
- ROCHE (M. A.), 1982. — Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX en Guyane. *Cah. ORSTOM*, Sér. hydrol., vol. XIX, n° 2, p. 81-114.
- SABATIER (D.), 1985. — Saisonnalité et déterminisme du pic de fructification en forêt guyanaise. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, vol. 40, p. 289-320.
- SABATIER (D.), PUIG (H.), 1986. — Phénologie et saisonnalité de la floraison et de la fructification en forêt dense guyanaise. *Mémoires du MNHN*, NS, Série A, tome 132, p. 173-184.
- TOSTAIN (O.), 1988. — Le nid et la ponte de *Perissocephalus tricolor*, *Cotingidae* en Guyane française. *Alanda*, vol. 5, p. 153-158.
- TOSTAIN (O.), 1988. — Nouvelles données sur la nidification de quatre Manakins (*Pipridae*) de Guyane française. *Alanda*, vol. 56, p. 159-170.
- TOSTAIN (O.), 1988. — Description du nid et de la ponte du Manakin à gorge blanche, *Corapipo gutturalis*, *Pipridae*. *Alanda*, vol. 56, p. 159-170.

En vente au CTFT

Les filières de formation dans les domaines de la forêt, du bois et de la pisciculture

Format 21 × 29, 7, 68 p.
Editeur Centre Technique Forestier Tropical.
Nogent-sur-Marne-France
Prix : 70 F

L'organisation de l'enseignement supérieur en France (grandes Ecoles et Universités) n'est pas aisée à comprendre à l'étranger.

En outre, les études dans les domaines de la sylviculture et du matériau bois ne sont conduites que dans quelques établissements spécialisés, les matières s'y rapportant étant traitées dans des filières universitaires très variées.

Cette note est un effort de clarification pour faciliter la compréhension des cursus aboutissant aux diplômes d'Ingénieur et de Docteur d'une part, et pour choisir plus aisément la spécialisation scientifique souhaitée et l'organisme qui la dispense, d'autre part.

Enfin, quelques informations sont données sur les enseignements en Pisciculture, Economie et Biométrie.