

Institut de Recherches sur  
le Caoutchouc en Afrique  
(I.R.C.A.)

Office de la Recherche  
Scientifique et Technique Outre-Mer  
(O.R.S.T.O.M.)

"EROSION, RUISSELLEMENT ET LESSIVAGE OBLIQUE SOUS UNE  
PLANTATION D'HEVEA EN BASSE COTE D'IVOIRE"

I - MILIEU, DISPOSITIF ET RESULTATS EN 1966.

par

ROOSE (E.J.)

Chargé de Recherche en Pédologie à l'ORSTOM

Abidjan, août 1967

# S o m m a i r e

## Introduction

### Chap. 1 - Le milieu et le dispositif expérimental

- 1.1. Situation géographique et végétation
- 1.2. Climat
- 1.3. Pédologie et géomorphologie
- 1.4. Description du dispositif expérimental
- 1.5. Les mouvements de l'eau de gravité et le sol.

### Chap. 2 - Les résultats de la campagne 1966

- 2.1. La pluviosité et la végétation
- 2.2. L'érosion, le ruissellement et le drainage oblique
- 2.3. Résultats analytiques et discussion
- 2.4. Conclusions - pertes physiques  
- pertes chimiques

### Chap. 3 - Conclusions générales

Remerciements.

## Annexes

1. - Liste des illustrations
2. - Pluviosité en 1966 à l'Anguédédou, case d'érosion.
3. - Description détaillée du dispositif de mesure de l'érosion du ruissellement et du lessivage oblique.
4. - Description et résultats analytiques du sol.
5. - Bibliographie.

## Introduction

Un protocole d'accord signé en mars 1967 entre les Directeurs Généraux de l'I.R.C.A. et de l'O.R.S.T.O.M. prévoit l'exploitation d'une parcelle d'étude de l'érosion, du ruissellement et du lessivage oblique installée depuis novembre 1965 dans une jeune plantation d'hévéa à l'Anguédédou.

L'I.R.C.A. assure les manipulations sur le terrain et l'O.R.S.T.O.M. les analyses des échantillons et le regroupement des résultats. Chaque année un rapport rend compte du déroulement des opérations durant la campagne et des résultats obtenus.

Ce premier rapport décrit également le dispositif et le milieu dans lequel s'effectuent les mesures.

Les buts poursuivis par cette étude sont :

- la mesure de l'érosion et du ruissellement sous une plantation d'hévéa aménagée en terrasse.(1)
- l'observation et la mesure qualitative et si possible quantitative du lessivage oblique à l'intérieur d'un sol ferrallitique fortement désaturé sur sable tertiaire
- un bilan approximatif des départs minéraux.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherches sur l'érosion et le lessivage oblique des sols des régions subéquatoriales sous végétation naturelle ou cultivée qui a commencé en 1964 et comprend déjà des parcelles de mesure à Adiopodoumé, Anguédédou, Azaguié, Divo, Bouaké et Korhogo.

---

(1) On a semé du *Flemingia* dans les interlignes où le recru forestier est rabattu régulièrement. Les expériences doivent durer depuis la plantation des hévéas jusqu'à ce que leur couvert soit assez dense pour concurrencer sérieusement la couverture végétale des interlignes.

## Chap. 1 - Le milieu et le dispositif expérimental

### 1.1. Situation géographique et végétation

La plantation d'hévéa choisie pour l'expérience (1) a été aménagée dans l'ancienne forêt classée de l'Anguédedou (2) située à une vingtaine de kilomètres au Nord-Ouest d'Abidjan.

Après le défrichement manuel de la forêt (3) et un brûlage léger, les lignes de plantation ont été piquetées le long des courbes de niveau (écartement théorique : 8 m) et les gros troncs non consommés ont été andainés entre les lignes. De petites terrasses (larges de 2 m) en légère contrepente ont été aménagées à la daba de part et d'autre des lignes de plantation. (voir figure 1).

Le repiquage des jeunes plants greffés eut lieu le 27 octobre 1965 à raison de deux plants tous les 2 mètres. La densité à la plantation, est de 1250 arbres/ha et doit atteindre 450/480 arbres/ha à la mise en saignée. La variété utilisée est un Tjir 1 illégitime.

### 1.2. Le climat

La forêt de l'Anguédedou se situe sous climat qualifié de Guinéen-forestier par Aubreville ou encore de Attiéen à facies littoral par Rougerie (1960).

---

(1) Parcelle du bloc 3-3 des jardins grainiers et expérimentaux de l'I.R.C.A.

(2) 5°25' de latitude Nord ; 4°8' de longitude Ouest.

(3) forêt psammo-hygrophile à *Thurreanthus africana* (Aubreville, 1938).

Figure n° 1

# Plantation des hêves en terrasses isohypses à l'ANGUEDEDOU

ANDAINS EN COURBES DE NIVEAU  
RECRU FORESTIER

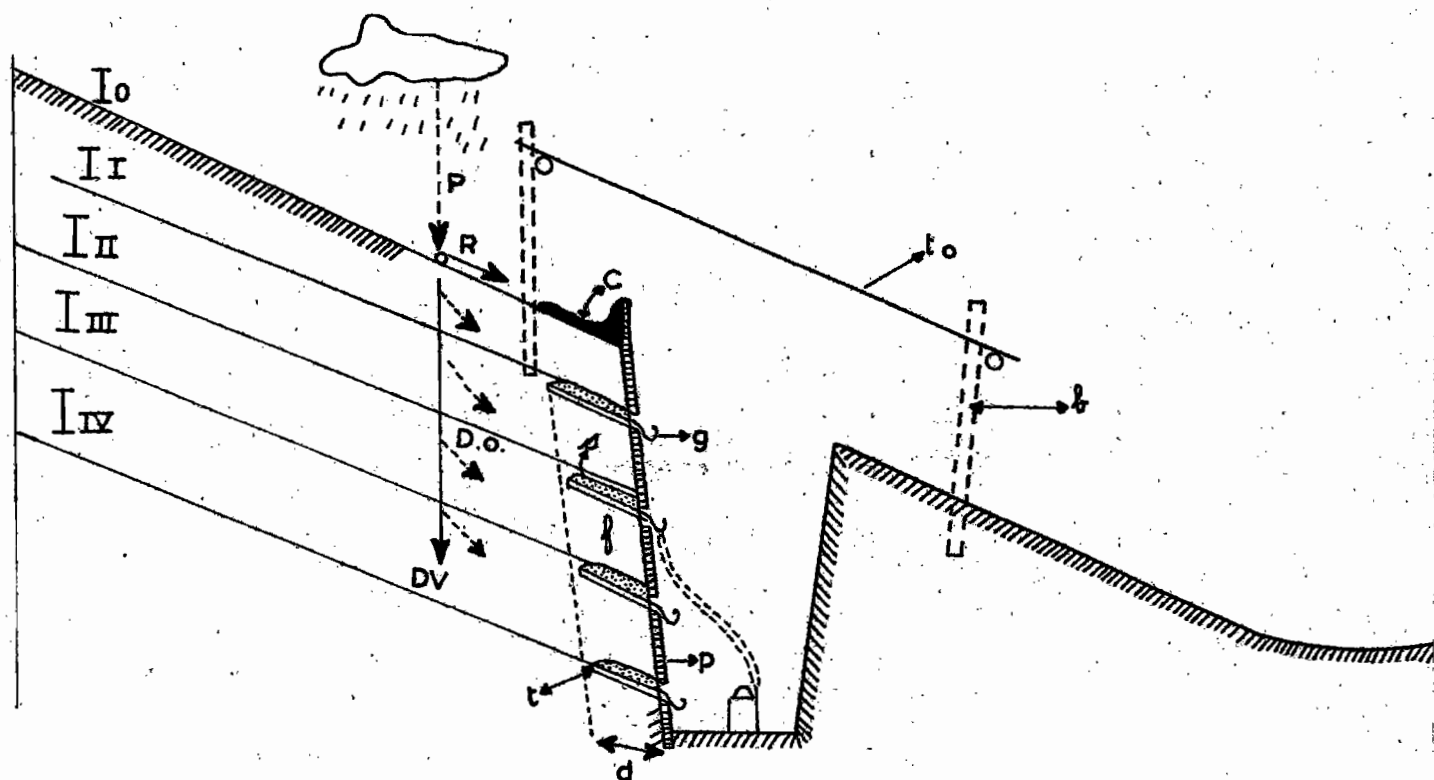
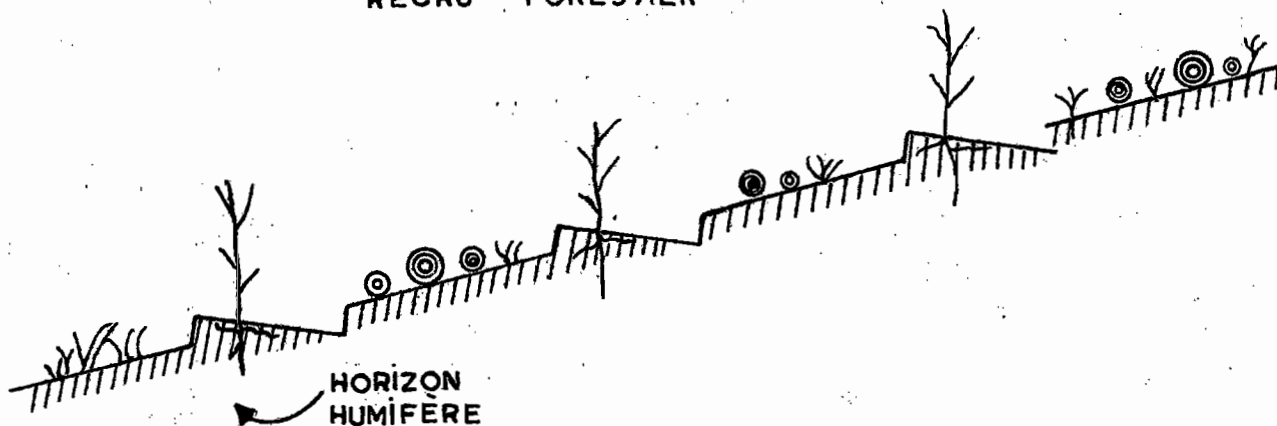


Figure n° 2

Schéma des mouvements de l'eau de gravité et d'une "case de lessivage oblique"  
P = pluie ; R = ruissellement ; DV = drainage vertical ; DO = drainage oblique ;  
I I, II, III, IV = horizons pédologiques ; C = canal du ruissellement ; g = gouttière ;  
t = tôle ; f = fente ; s = sable lavé ; d = tranche de sol protégée par le canal C et la  
tôle to ; b = bâti qui soutient le toit to ; p = planches de soutènement

La pluviosité annuelle moyenne (1) est de l'ordre de 2.100 mm (Eldin et Daudet, 1967) mais peut varier entre 1.500 et 3.000 mm (Roose et Cheroux, 1966).

Deux saisons des pluies centrées sur juin et octobre alternent avec deux saisons sèches d'importance très inégale (voir figure n° 3). La grande saison des pluies commence en avril-mai par une série de tornades violentes mais de courte durée (forte intensité mais hauteur moyenne). Plus de 50 % du total annuel des pluies tombent en juin-juillet. Août est le mois le plus sec de l'année et ne reçoit que de faibles crachins sans importance au point de vue de l'érosion. Depuis septembre jusqu'à mars la pluviosité est faible : la petite saison des pluies centrée sur octobre est peu marquée et très irrégulière. Il peut cependant survenir des averses importantes d'autant moins dangereuses pour la conservation des sols que la couverture végétale est généralement dense à cette époque.

En pleine saison (juin-juillet) la pluie peut tomber durant des heures avec des intensités relativement fortes. On a enregistré une pluie de 288 mm en 24 heures à Dabou en juin 1964 et de 210 mm en 7 heures le 19 juillet 1966 à Adiopodoumé. Ces pluies exceptionnelles sont particulièrement intéressantes à étudier pour leur action érosive et le lessivage vertical et oblique auxquelles elles donnent naissance. Il semble que des intensités instantanées de plus de 2,5 mm/minute, soient très rares mais il est fréquent d'enregistrer des pluies de 1 à 1,5 mm./minute.

La température annuelle moyenne est de 26° centigrades: février à mai connaissent les plus fortes chaleurs tandis qu'il fait frais de la fin juin à fin septembre.

L'humidité relative mensuelle oscille entre 80 % (avril) et 90 % (juin) : elle peut descendre en dessous de 50 % lors des rares manifestations de l'harmattan en décembre-janvier.

---

(1) Les données climatiques ont été calculées à partir des mesures effectuées à la station de l'I.F.A.C. à l'Anguédédou de 1959 à 1966.

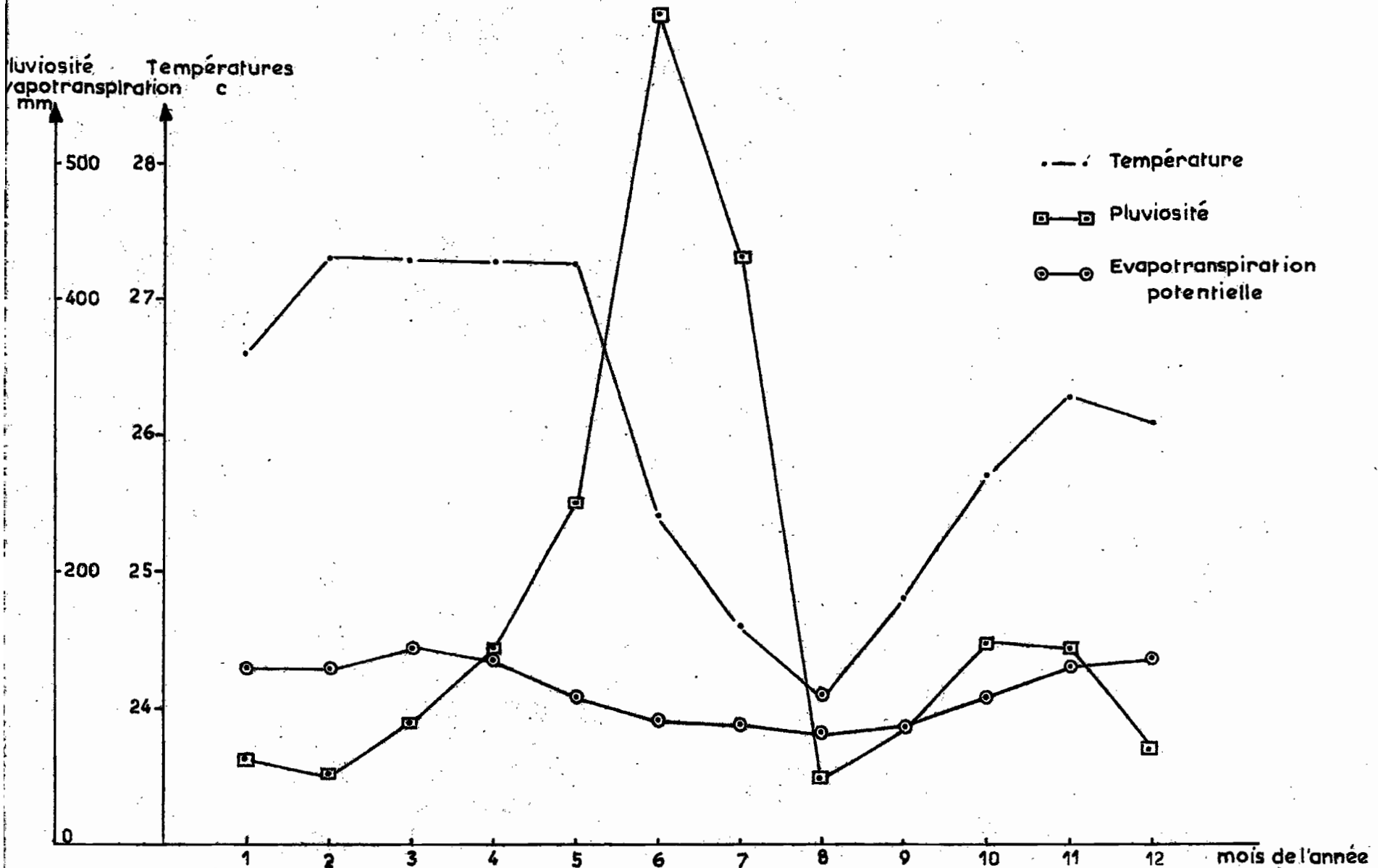


Figure 3 Variations mensuelles de température, pluviosité et évapotranspiration potentielle à ANGUEDEDOU (station IFAC) (Moyennes de 1959-1966)

L'évapotranspiration potentielle (1) annuelle s'élève à 1394 mm (ELDIN et DAUDET, 1967) : elle dépasse la pluviosité durant 6 mois de l'année (voir figure 3).

### 1.3. Le sol

La forêt de l'Anguédédou est située sur les sables du Continental Terminal et couvre un plateau profondément entaillé par un réseau hydrographique fonctionnel ou non (vallées sèches).

Le matériau originel est généralement sablo-argileux avec des lentilles plus argileuses ou plus sableuses sur plusieurs dizaines de mètres. Il est composé de sable grossier de quartz et d'argile essentiellement kaolinitique avec de la goethite. Localement on observe des bancs de grès ferruginisé ou des gravillons latéritiques.

Cette stratigraphie lenticulaire conditionne-t-elle le relief et le réseau hydrographique actuel ? Cela peut se concevoir. Toujours est-il qu'on observe aujourd'hui un lien très net entre la richesse du sol en colloïdes (argile, fer, humus) et la pente (ROCSE et CHEROUX, 1966). Plus les pentes sont raides plus le sol est argileux, coloré en jaune rouge par le fer (présence de tâches ou de gravillons) et riche en humus. La parcelle que nous avons installée est située sur forte pente (environ 29 %).

Le sol présente d'abord un mince horizon humifère (10 cm) brun foncé, sableux, très perméable ( $K = 10$  cm/heure) et très meuble puis un horizon de pénétration de la matière organique (10 à 110 cm) brun jaune sablo-argileux déjà beaucoup plus cohérent et moins perméable ( $K = 2$  cm/heure).

---

(1) L'évapotranspiration potentielle se définit comme le maximum d'eau qu'un tapis graminéen dense poussant dans des conditions optimales d'humidité du sol évapore et transpire durant une période déterminée.

Vient ensuite un horizon jaune brun (110-210 cm), avec des trainées rouges et des petits cailloux de grès ferruginisés vers le bas : il est argilo-sableux cohérent mais plus perméable ( $K = 5 \text{ cm/h.}$ ). Enfin un horizon jaune brun sensiblement plus compact et moins perméable, épais de 70 cm, doit permettre la formation d'une nappe très temporaire lors des pluies exceptionnelles.

Les teneurs en bases échangeables sont médiocres ( $S \leq 1 \text{ meq. \%}$ ) tout au long du profil et le degré de saturation inférieur à 15 % sauf dans les cinq premiers centimètres où on constate un net enrichissement (dû à la présence de matière organique) encore accusé par les feux courants allumés six mois après le défrichage. La capacité d'échange de bases est faible et baisse progressivement de 10 méq % en surface à 5 méq % vers 1,5 m de profondeur.

Le pH est acide (voisin de 5,5). Les teneurs en phosphore total (0,6 à 0,3 %) et en azote total (1,8 à 0,3 %) sont moyennes en surface et médiocres en profondeur. La concentration en carbone baisse de 2,5 % en surface à 0,5 % vers 1,5 m. Le rapport C/N baisse de 14 en surface à 8 en profondeur ce qui indique une très bonne activité microbiologique.

Ce sol se présente donc comme un excellent milieu de culture, poreux homogène et profond mais pauvre chimiquement. Il est appauvri en argile sur 25 cm et lixivie en bases et phosphore dans l'horizon de pénétration de la matière organique (25 à 70 cm).

Suivant la dernière classification française (G. AUBERT et P. SEGALIN, 1967) on peut le ranger dans la classe des sols ferrallitiques, sous-classe fortement désaturée, groupe appauvri, sous-groupe modal, famille sur matériau argilo-sableux.

#### 1.4. Description du dispositif expérimental (1)

Afin de prouver la valeur satisfaisante de l'aménagement antiérosif des plantations d'hévéa en terrasses isohypses (aménagement préconisé par l'I.R.C.A. pour le plan de développement de la culture de l'hévéa en Côte d'Ivoire) il fallait choisir les conditions les plus favorables aux phénomènes d'érosion, à savoir une pente forte, longue et régulière sur un sol riche en argile.

On a donc délimité une parcelle de 34 mètres de long (selon la plus grande pente) et 6 mètres de large sur une pente de 29 % par des plaques en éverite empêchant aussi bien l'entrée que la sortie des eaux ruisselantes. En aval de cette parcelle (environ au 2/3 de la pente générale) deux fosses ont été creusées, l'une en vue de recueillir les eaux de ruissellement et l'autre pour intercepter le drainage oblique. Un canal en béton dirige les eaux de ruissellement vers une cuve de stockage.

Les eaux qui circulent obliquement à l'intérieur du sol sont recueillies par des gouttières disposées dans des fentes creusées sous les limites inférieures des horizons pédologiques et stockées dans des jerrycans en plastique. Le canal de ruissellement et les deux fosses sont protégées des pluies par un toit de tôles (voir figure n°2). Un pluviographe à mouvement hebdomadaire enregistre la hauteur et l'intensité des pluies.

#### 1.5. Les mouvements de l'eau de gravité et le sol

Lorsqu'une pluie (P) tombe sur le sol une part (R) va ruisseler en surface tandis que l'autre va s'infiltrer : c'est le drainage (DV) (voir figure 2).

Si un horizon du sol présente une perméabilité supérieure à celle de l'horizon sous-jacent, une fois satisfaite la capacité au champ, une partie de l'eau s'infiltrant verticalement dans cet horizon est libre d'entamer un mouvement oblique (DO) suivant la pente. C'est ainsi qu'il se forme souvent une nappe suspendue temporaire qui met quelques heures à tarir après la fin de la pluie.

---

(1) Voir aussi Annexe 3.



Fig. 4 - Vue générale de la case d'érosion et de lessivage oblique (photo DUVAL) ANGUEDEDOU - Sables tertiaires - plantation d'hévéas en novembre 1965 en courbe de niveau après l'abat-tage de la forêt.



Fig. 5 - Détail de la case d'érosion et de lessivage oblique : les gouttières "g" reliées aux jerrycans par des tuyaux en plastique ; le canal "c" du ruissellement débouche directement dans un fût de 200 litres ; le toit a été enlevé pour la photo novembre 1967. (photo DUVAL).

Remarquons qu'il existe en amont de la fosse de lessivage oblique une tranche de sol d'une vingtaine de centimètres, d'épaisseur protégée des eaux de pluie par le toit en tôle et du ruissellement par le canal. Il ne peut donc y avoir de drainage vertical dans cette tranche de terre et l'eau qu'on y récolte provient nécessairement d'un mouvement oblique imprimé aux eaux circulant en amont.

## Chap. 2 - Les résultats de la campagne 1966

### 2.1. La pluviosité et la végétation

Les précipitations atmosphériques en 1966 (1583 mm) ont été nettement plus faibles que la moyenne annuelle (2.100mm). Peu de tornades ont marqué le début de la saison des pluies qui a été très progressif. Cependant quelques grosses averses en juin (14-15), en juillet (3-4 - 11-19) et en octobre (28-29) ont donné lieu à des manifestations importantes de ruissellement et de drainage oblique (voir tableau n°6 en annexe).

A la fin de l'année 1965, le sol était déjà bien recouvert par le recru forestier et les débris végétaux délaissés par les feux et andainés entre les lignes de plantation. Au début de 1966, le recouvrement total est assuré par le recru forestier, des composées et diverses plantes rudérales. A la fin de 1966 on peut noter un envahissement par des graminées et diverses espèces nouvelles.

Relevé effectué par C.J. du PLESSIX

Espèce dominante : Paspalum conjugatum

Espèces fréquentes: Digitaria velutina

Paspalum scrobiculatum

Solanum torvum

Erigeron floribundos

Cyathula prostrata

Espèces rares : Flemingia congesta et latifolia

Centrosema pubescens.

## 2.2. L'érosion, le ruissellement et le drainage oblique

TABLEAU 1 - Résumé pour 1966 de l'érosion, du ruissellement et du drainage oblique.

Pluviosité totale en 1966	mm.	1583
Pluies érosives	mm.	1184
Ruissellement total en	mm	13,76
Ruissellement total en	l./ha.	137.600
" moyenne arithmétique en %		1,42
" moyenne pondérée en %		1,16
" maximum en %		4,6
par rapport à pluviosité totale%		0,88
Suspension (S) *	en kg/ha	55,7
Terre de fond (T)	en kg/ha	270,4
Erosion totale (E)	en kg/ha	326,1
S/E x 100	en %	17,1
Drainage oblique en litres	sur 2x34 m	par ha
de 0 - 30 cm	10,8	1.588
30 - 60 cm	> 26,8	> 3.940
60 -100 cm	> 48,7	> 7.160
100 -150 cm	> 51,8	> 7.615
TOTAL	* 138,1	> 20.303

\* Dans les expériences en case d'érosion les matériaux érodés sont recueillis sous forme "d'eau sale" (= Suspension) et de dépôts au fond d'une cuve (= Terre de fond).

### 22.1. L'érosion

La quantité de matériaux solides arrachés par l'érosion durant la première année de mise en culture est négligeable. Elle est du même ordre de grandeur que celle qu'on peut mesurer sous forêt secondaire à Adiopodoumé sur des pentes semblables (ROOSE, avril 1967).

Encore faut-il faire remarquer qu'une part importante des terres de fond provient probablement de la mise en place des bordures. Sauf accident majeur on peut donc prévoir que les transports solides iront encore en décroissant tant que la couverture végétale ne souffrira pas trop de la concurrence des hévéas. Une fois que les couronnes des hévéas se seront rejointes, l'expérience nous montrera si le feuillage des arbres absorbe suffisamment l'énergie cinétique des gouttes de pluie pour compenser l'affaiblissement de la couverture végétale des interlignes (qui joue le rôle de bande d'arrêt) ou s'il est nécessaire de prévoir des aménagements antiérosifs plus importants que les terrasses en courbe de niveau. (1)

Dès aujourd'hui, il semble démontré que ce type d'aménagement (2) a passé avantageusement le stade des premières années si dangereux pour la plupart des aménagements de type mécanique. En effet les résultats des mesures de l'érosion sur une seule parcelle seraient sans valeur s'ils n'étaient confirmés par l'observation sur le terrain de plusieurs dizaines d'hectares aménagés de la sorte depuis près de quatre ans.

- 
- (1) La couverture végétale des interlignes ne disparaît pas entièrement sous une culture d'hévéa après défriche forestière. Les plantes héliophiles disparaissent en faveur des sciaphiles et des semis naturels d'hévéas. De plus un tapis important de feuilles mortes jonchent le sol car les hévéas perdent leurs feuilles en saison sèche.
- (2) Cet aménagement comprend
- un défrichement manuel suivi, 6 mois plus tard, par un feu courant superficiel et rapide ménageant au maximum la flore et la microfaune du sol.
  - un andainage en courbe de niveau des gros matériaux restants.
  - la protection des interlignes par le recru forestier, un semis de légumineuses *Flemingia congesta* et *Latifolia* et les plantes rudérales qui jouent très vite le rôle de bandes d'arrêt.
  - la confection de petites terrasses isohypses de 2 mètres de large en légère contrepente.

Lors des pluies exceptionnelles du 19 juillet 1966 (plus de 200 mm en 7 heures) et celles de juin 1964 (plus de 250 mm en 24 heures) aucune rupture n'a dû être signalée dans les zones aménagées alors qu'en savane de Dabou plusieurs digues et routes ont été coupées à ces dates dans les zones aménagées en terrasses d'absorption totale, malgré les moyens onéreux mis en oeuvre.

Il faut encore noter l'importance (17 %) des éléments fins transportés en suspension par rapport à la masse totale de terre érodée. Elle signifie que l'érosion prend la forme d'une érosion en nappe où les eaux de ruissellement n'ont guère l'occasion de prendre de la vitesse, de l'énergie ni d'élever leur compétence et leur capacité de transport (1).

L'enherbement des interlignes freine les eaux de ruissellement qui s'écoulent en nappe et peuvent, sans danger d'érosion régressive, déborder des terrasses isohypses. Couvertes à concurrence de 15 à 80 % entre deux sarclages, les lignes isohypses de plantation des hévéas ne subissent pas non plus les dommages (déchaussement) qu'il est courant de constater lorsque les plantations sont établies sans tenir suffisamment compte du relief.

## 22.2. Le ruissellement

Quoique très faible (de l'ordre de 1 % en moyenne et jusqu'à 3 % durant les plus fortes averses) il n'est pas négligeable et c'est une des caractéristiques originales et intéressantes de ce type d'aménagement que d'en permettre l'existence. En effet c'est une sécurité de savoir que lorsqu'il se présente un afflux d'eau excédentaire durant la saison des pluies celle-ci ne risque pas de rompre les digues mais s'écoule lentement à travers l'entrelas des tiges et racines des végétaux qui pous-

---

(1) La compétence d'un cours d'eau est la taille maximale des matériaux qu'il peut déplacer.

La capacité est la quantité totale de matériaux qu'un cours d'eau peut transporter. Elle est fonction de la vitesse du fluide et donc de son énergie cinétique.

sent dans les interlignes avant d'atteindre le bas-fond. Ici aussi il faut noter que le volume d'eau ruisselé a été gonflé par les eaux de pluie tombant inopinément dans le canal de ruissellement mal protégé par les tôles. C'est ainsi que les plus forts coefficients de ruissellement (3 à 4,6 %) sont atteints pour les pluies les plus faibles (moins de 10 mm) ce qui ne s'explique que par l'influence prépondérante des eaux de pluie sur les eaux de ruissellement lors des faibles précipitations. Toutefois, cette source d'erreur est négligeable pour le bilan annuel.

La cuve de réception étant trop petite, nous n'avons pu mesurer le coefficient de ruissellement des plus fortes pluies. On peut cependant estimer qu'il n'a pas dépassé de beaucoup 2,4 %, coefficient atteint les 3 et 4 juillet et que nous avons appliqué empiriquement à la pluie du 19 juillet. Une installation plus importante sera aménagée en 1967 en vue de pouvoir mesurer la totalité du ruissellement (partiteur et deuxième cuve).

### 22.3. Le drainage oblique

Il n'est pas particulièrement spectaculaire dans les sols sur sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire (Anguédédou et Adiopodoumé). Le coefficient de drainage oblique (1) qui se définit comme la partie des eaux de pluie qui circule latéralement dans une tranche de sol (ici 1,50 m) durant une période donnée est de l'ordre de 1 ‰ (moyenne annuelle). Pour des pluies particulières il peut dépasser 1 % ; c'est ce qui s'est passé les 3 et 4 juillet et probablement le 19 juillet.

Malheureusement les récipients prévus pour stocker les échantillons se sont révélés nettement insuffisants lors des pluies exceptionnelles. Nos observations sont donc très incomplètes et nettement en dessous de la réalité surtout pour les deux horizons de profondeur.

---

(1) Dans un rapport précédent (ROOSE, février 1967) nous avons attribué cette même définition au terme "coefficient de ruissellement hypodermique". Nous devons lui préférer le terme de "coefficient de drainage oblique" car on ne peut plus parler de ruissellement hypodermique quand la majorité de celui-ci se passe à plus d'un mètre de profondeur dans le sol. Nous garderons le terme de lessivage oblique pour définir l'entraînement de colloïdes d'un horizon éluvial d'un sol situé en haut d'une catena vers un horizon illuvial d'un autre sol situé en contrebas.

En les comparant avec les résultats obtenus à Adiopodoumé on peut estimer que le drainage oblique a du dépasser 100 litres dans les horizons 50-90 cm et 90-150 cm (soit un coefficient de drainage oblique de plus de 2 % pour cette pluie).

Le drainage oblique ne se fait pas avec la même intensité ni à tous les étages durant toute la saison des pluies. On pourrait schématiser grossièrement les relations sol-eau de gravité de la façon suivante :

- 1- Les premières pluies de la saison sont brutales mais relativement peu importantes (tornade de 20 à 30 mm). Le sol est gorgé d'air qui encombre des macroporosités et les écoulements resteront très superficiels ; on n'observera que du ruissellement et un drainage oblique peu abondant et limité aux deux premiers horizons du sol (= ruissellement hypodermique).
- 2- Vient ensuite une période où l'eau pénètre à l'intérieur du sol et est absorbée très activement dans les microporosités. On n'observera que très peu d'écoulements latéraux d'eau libre car celle-ci est fixée dans les agrégats (peu de ruissellement et de drainage oblique).
- 3- Enfin lorsque le sol est pratiquement en permanence à la capacité au champ (fin juin) l'eau libre s'infiltré dans les macropores et pénètre en profondeur jusqu'à atteindre un horizon relativement moins perméable. L'eau sature alors l'horizon susjacent et y circule latéralement en formant une petite nappe suspendue temporaire.  
Les pluies à cette époque peuvent dépasser 100 mm mais les coefficients de ruissellement seront relativement faibles étant donné l'établissement d'un fort drainage. Par contre le drainage oblique sera beaucoup plus abondant surtout en profondeur.
- 4- Ces phénomènes se reproduisent à la petite saison des pluies mais de façon moins nette étant donnée la distribution plus lâche des pluies.

Il faut enfin remarquer que si on peut aisément limiter les phénomènes de ruissellement et d'érosion à une parcelle convenablement délimitée par des tôles, il est pratiquement impossible de définir la surface correspondant aux échantillons d'eau de drainage oblique recueillis. Faute de précision nous avons considéré cette surface comme étant égale à 34 x 2 mètres pour nous faire une idée approximative des volumes écoulés à l'hectare dans cette tranche de sol épaisse de 1,50 m. Des expériences utilisant des substances radioactives devraient nous permettre de préciser la trajectoire suivie par ces eaux de lessivage oblique.

### 2.3. Résultats analytiques et discussion

Tous les résultats d'observations et d'analyses des eaux et des terres ont été consignés sur fiches par pluies individuelles. Nous ne pourrions en présenter ici qu'un bref résumé (1).

Les méthodes analytiques utilisées sont classiques et seront décrites en détail dans un fascicule à paraître. Signalons seulement que toutes les eaux ont été filtrées au filtre rapide (filtres plissés PRAT-DUMAS n° 4) en vue d'écarter les impuretés (sable, poussière, insectes, etc..) étrangères au phénomène étudié et que les analyses ont été réalisées dans les meilleurs délais compatibles avec les méthodes d'analyse en série (généralement en moins d'un mois).

Les résultats présentés au tableau 2 donnent les moyennes arithmétiques, les moyennes annuelles pondérées (2) pour chaque étage et le rapport moyenne pondérée sur moyenne arithmétique (2) multiplié par 100. Ce rapport met en évidence l'influence du volume des échantillons sur les teneurs en éléments chimiques. En effet si les concentrations sont plus faibles lorsque les volumes écoulés sont forts, le rapport sera inférieur à 100. Si par contre ce rapport est supérieur à 100 cela signifie que la concentration en l'élément considéré augmente avec le volume écoulé.

Si ce rapport est voisin de 100, volume et concentration des échantillons sont indépendants ou encore leur dépendance est complexe et fait intervenir d'autres facteurs.

(1) Il existe trois jeux complets de ces fiches qui peuvent être consultés aux stations de l'I.R.C.A. et de l'O.R.S.T.O.M. en Côte d'Ivoire.

(2) La moyenne pondérée (mp), est la somme des produits des teneurs de chaque échantillon par son volume divisé par le volume total des échantillons.

La moyenne arithmétique (ma) est le quotient de la somme des teneurs de chaque échantillon par le nombre d'échantillons.

$$mp = \frac{\sum (X \cdot vx)}{\sum vx} \quad ma = \frac{\sum X}{n \cdot X}$$

TABLEAU 2 - Résumé des résultats analytiques : moyennes pondérées (mp) et arithmétiques (ma).

		Io	I 1	I 2	I 3	I 4	Moyenne
Volumes totaux en litre/ha		137.600	1.588	3.940	7.160	7.615	
pH	ma	7,18	6,97	6,67	6,94	6,70	
résistivité	ma	12.830	5.650	12.085	8.680	11.176	
CaO	ma	11,30	42,83	8,67	14,17	7,04	15,37
	mp	8,92	36,35	3,35	10,73	5,47	8,95
	mp/ma %	79	85	39	76	78	58
MgO	ma	5,71	24,97	8,67	10,80	9,98	9,47
	mp	5,42	22,77	10,38	10,93	10,45	5,78
	mp/ma %	95	91	120	101	105	62
K <sub>2</sub> O	ma	21,76	60,58	10,92	23,18	9,46	26,00
	mp	13,54	49,69	10,38	19,19	10,24	13,71
	mp/ma %	62	82	95	83	108	53
Na <sub>2</sub> O	ma	6,14	12,86	3,58	7,31	3,24	6,88
	mp	3,42	11,92	1,86	5,76	2,47	3,46
	mp/ma %	56	93	52	79	76	50
S bases	ma	44,91	141,24	31,84	55,46	29,72	57,72
	mp	31,30	120,73	25,97	46,61	28,63	31,90
	mp/ma %	70	85	82	84	96	55
M.O.	ma	27,96	78,25	17,07	17,73	18,64	32,24
	mp	23,90	56,40	12,78	12,35	17,98	23,56
	mp/ma %	85	72	75	70	96	73
N total	ma	14,05	41,93	11,85	25,11	14,60	19,14
	mp	12,78	35,18	7,54	19,26	15,12	13,01
	mp/ma %	91	84	64	77	104	68
N-NH <sub>4</sub>	ma	0,32	0,64	0,03	0,96	0,45	0,43
	mp	0,33	0,44	0,03	0,83	0,16	0,34
	mp/ma %	103	69	100	86	36	79
N-NO <sub>3</sub>	ma	1,09	7,44	1,65	4,76	4,00	2,63
	mp	0,98	5,36	1,65	3,98	3,70	1,30
	mp/ma %	90	72	100	84	93	49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ma	0,91	1,57	0,34	0,26	0,26	0,86
	mp	0,70	1,50	0,43	0,26	0,26	0,68
	mp/ma %	77	96	125	100	100	79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ma	1,15	0,72	0,87	0,35	0,74	0,96
	mp	1,20	0,60	0,89	0,35	0,69	1,17
	mp/ma %	104	83	102	100	93	122
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ma	0,72	0,92	0,65	1,28	0,90	0,82
	mp	0,84	0,88	0,73	1,04	0,82	0,84
	mp/ma %	117	96	112	81	91	102
SiO <sub>2</sub>	ma	8,39	5,36	4,30	5,06	5,56	7,23
	mp	6,46	4,00	3,95	4,49	4,70	6,34
	mp/ma %	77	75	92	89	85	88

Notes

- . Io correspond aux eaux de ruissellement
- . I 1, 2, 3, 4 correspondent aux eaux de drainage oblique aux niveaux 0-30 cm ; 30-60 ; 60-95 ; 95-145 cm.
- . Toutes les valeurs sont exprimées en mgr/litre et les rapports mp en %.

### 2.3.1. La température, le pH et la résistivité

Température et pH sont des données de base relatives à la solubilité des différents corps chimiques qui nous intéressent.

Les mesures de température ayant été réalisées à la collecte des échantillons, soit quelques heures après la fin de la pluie, sont faussées par excès. On peut en première approximation considérer qu'elles varient rarement au-delà de 22 à 26° C.

Le pH varie très rapidement dans des milieux peu tamponnés comme ces eaux qui sont peu chargées. Or le pH est mesuré 1 à 3 jours après la fin de la pluie. Dans ce laps de temps les équilibres des gaz dissous dans les eaux peuvent varier dans une large mesure et en particulier le gaz carbonique. Des expériences préliminaires ont montré que le pH augmente toujours avec le temps et peut même augmenter de une unité pH en 48 heures dans un récipient en verre ordinaire (solubilisation des impuretés) non bouché et peu rempli (forts échanges avec l'air).

Le pH a varié de 5,9 à 7,7 unités mais ces chiffres sont probablement trop élevés. Il semble que le pH augmente avec le volume d'eau ruisselé et soit toujours plus faible dans les eaux de lessivage oblique. Il semble qu'il y ait une relation directe entre le pH et la résistivité.

La résistivité est une mesure physique qui, étant en corrélation assez étroite avec la somme des cations et des anions en solution dans l'eau permet de vérifier rapidement l'ordre de grandeur des résultats analytiques et de suivre la richesse minérale globale des eaux au cours de l'année. Elle a varié en 1966 de 2000 à 35000 ohms .cm. En moyenne on peut dire que la charge soluble des eaux est faible sauf au début des saisons des pluies.

### 2 3.2. Les bases : calcium, magnésium, potassium, sodium.

Les teneurs en bases sont élevées par rapport à la pauvreté du sol en ces éléments et aux résultats trouvés à Adiopodoumé sous forêt. Ceci est en liaison étroite avec la minéralisation brutale imposée par le défrichement et le brûlis ultérieur. Cette richesse en bases va en s'atténuant au fil des saisons des pluies.

En général les eaux de ruissellement qui sont restées moins longtemps en contact avec le sol sont moins riches que les eaux de drainage. Ceci n'est cependant pas toujours vrai en particulier pour les teneurs en calcium, potassium et sodium des eaux s'écoulant dans le second et le quatrième horizon. Les eaux s'écoulant dans l'horizon humifère sont toujours les plus riches.

Trois facteurs interviennent à la fois dans l'évolution des teneurs dans les échantillons d'eau : la saison, les volumes écoulés et la profondeur de l'écoulement. Comme les volumes écoulés et la profondeur de l'écoulement varient en fonction de la saison, il faut donc être prudent dans l'interprétation des résultats.

Ainsi, en voyant les moyennes pondérées (tableau 2) on pourrait conclure hâtivement que les teneurs en bases baissent avec la profondeur d'écoulement. En fait c'est parce que les écoulements de surface viennent les premiers qu'ils sont les plus riches et parce que les écoulements de profondeurs ne surviennent qu'en fin de saison des pluies et qu'ils sont alors beaucoup plus abondants que leurs teneurs moyennes sont inférieures. Plus exactes seront les comparaisons des sommes des bases lors des plus fortes pluies.

TABLEAU 3 - La somme des bases et la résistivité (ohm.cm) en fonction de la profondeur d'écoulement pour quelques pluies importantes.

	14/6/66	15/6	3/7	19/7	29/10	Moyennes pondérées	Résistivité (mp)
Surface	27,48	23,53	14,09	17,79	27,50	22,08	28.840
0-30	-	-	-	66,86	137,70	102,28	3.725
30-60	-	-	28,33	22,24	33,30	27,96	16.540
60-95	64,75	50,98	39,20	30,11	37,80	44,47	10.550
95-150	32,96	29,21	27,11	29,59	-	29,72	12.711

Le classement  $I_1 > I_3 > I_4 > I_2 > I_0$  obtenu pour la somme des bases (confirmé pour la résistivité) lors des plus fortes pluies s'applique généralement pour chacune des bases considérées.

Il est intéressant de noter l'influence du débit des écoulements sur les concentrations relatives en chacun des cations. En effet, les cations les moins solidement fixés au complexe absorbant du sol seront évacués les premiers par les eaux lixiviantes. Lorsque, vers la fin de la saison des pluies, les écoulements des eaux de drainage sont nettement plus importants la proportion des cations solidement absorbés par le complexe va augmenter par rapport aux autres cations. Il en résulte que, plus les cations sont solidement fixés au complexe absorbant du sol moins ils sont sensibles à "l'effet diluant" des forts écoulements.

Or, les rapports des moyennes pondérées aux moyennes arithmétiques, qui donnent une idée de l'effet diluant (voir 2.3.) s'établissent comme suit :

$$\text{Mg (62 \%)} > \text{Ca (58 \%)} > \text{K (53 \%)} > \text{Na (50 \%)}$$

On pourrait donc en conclure que, sur ce type de sol, l'énergie de fixation au complexe absorbant du magnésium est supérieure à celle du calcium et, à plus forte raison de celles des cations monovalents (K et Na).

### 23.3. Les matières organiques : carbone et azote.

Malgré la destruction par le feu d'une bonne partie des végétaux (1) après le défrichage, les pertes en matières organiques par les eaux de ruissellement et de drainage sont importantes: Les teneurs peuvent atteindre 60 à 100 mgr/litre en surface (0 à 30 cm) mais restent encore appréciables en profondeur (5 à 30 mgr/litre).

L'effet de dilution lié au volume d'eau écoulé semble moins important que la profondeur des écoulements.

Les teneurs moyennes en azote total sont plus élevées dans les eaux de drainage oblique que dans les eaux de ruissellement. Il semble qu'une bonne partie de l'azote soluble soit rapidement entraîné en profondeur. Dans la mesure où le pivot et les racines profondes des arbres jouent un rôle actif dans leur nutrition hydrique (surtout en saison sèche), on pourrait donc émettre l'hypothèse selon laquelle ces racines participent aussi l'assimilation de l'azote et d'autres corps particulièrement solubles comme le potassium.

Notons aussi que le rapport  $\frac{mp}{ma}$  % est voisin ou supérieur à 100 ce qui indique que les teneurs ne sont pas influencées uniquement par les volumes d'eau écoulés (activité microbologique) et encore qu'il se perd énormément d'azote à l'époque où le sol est très humide (juin-juillet-octobre).

Cet azote total peut être fractionné en azote minéralisé ( $-NH_4$  et  $-NO_3$ ) et en azote organique (obtenu par différence). La fraction minéralisée augmente en profondeur mais reste peu importante. (1/9 à 1/4) par rapport à cette dernière ce qui laisserait penser qu'une bonne partie de l'azote est solubilisée et est perdue pour les plantes avant même de leur être assimilable. Il faut cependant noter que les physiolo-

---

(1) Le brûlage par feux courant est très superficiel ce qui permet un redémarrage vigoureux et rapide d'un recru naturel qui reconstitue un stock de matière organique assez rapidement :

(du Plessis août 1967, communication orale).

gistes ont prouvé que certaines plantes sont capables d'assimiler l'azote sous certaines formes organiques simples.

Les pertes en azote ammoniacal sont extrêmement réduites (1/3 à 1/20 de l'azote nitrique) mais peu influencées semble-t-il par l'effet diluant car d'autres facteurs entrent en jeu : la capacité d'adsorption des colloïdes (HAQUE, I. et IBRAHIM, M. ; 1965) et l'activité microbologique fonction elle-même des conditions pédoclimatiques (humidité, pH et température). Ces phénomènes sont complexes mais on peut déjà confirmer l'hypothèse des microbiologistes (DOMMERGUES, 1962) qui affirment que les ammonificateurs restent plus longtemps actifs que les nitrificateurs dans les sols en voie de dessèchement. Ceci se traduit par des rapports  $\frac{NH_4}{NO_3}$  plus élevés en fin des deux saisons sèches que durant les grosses pluies.

Quant à l'azote nitrique, très soluble, il s'en perd de fortes quantités dans les eaux de profondeur. Les teneurs dans les eaux de drainage sont 2 à 5 fois plus élevées que dans les eaux de ruissellement.

Les pertes en matières organiques carbonées et azotées (minéralisées ou non) semblent donc beaucoup plus indépendantes de l'effet diluant (contrairement aux bases) que des influences de la profondeur d'écoulement et de la saison (aspect qualitatif).

#### 23.4. Phosphore, fer, alumine et silice.

Les teneurs en phosphore sont peu élevées mais varient fort peu au cours de l'année. Il semble solidement fixé (matière organique, fer, alumine) et lentement mis en solution dans l'eau du sol. On a rarement mis en évidence de carence phosphatée dans les sols sur sable tertiaire (1).

---

(1) Rapport annuel I.R.C.A. 1961, p. 49.

Sur la culture 58 de l'I.R.C.A., expérience 11, est apparue en mai 1961 une déficience en phosphore. L'analyse foliaire en effet a montré des teneurs de 0,17 % dans les feuilles alors que les valeurs normales dépassent généralement 0,20 %. (du PLESSIX, août 1967).

Les teneurs en phosphore baissent très nettement dans l'horizon humifère puis se stabilisent en profondeur. Il semble donc que les phénomènes de solubilisation et d'insolubilisation du phosphore sont liés à la minéralisation des matières organiques dans les horizons de surface ; s'il en était autrement on observerait en profondeur une accumulation de phosphore insoluble ce qui n'apparaît pas dans les analyses (voir annexe 4 tableau 7).

Ce phosphore solubilisé est soit réassimilé soit insolubilisé sur place (fer, alumine) soit encore emporté par les eaux de drainage jusqu'à la nappe phréatique et aux cours d'eau (MANGIN et coll : teneur faible en phosphate de la charge soluble mais relativement importante en comparaison avec les teneurs des granites du bassin du Bandama).

Les teneurs en fer et en alumine sont peu élevées relativement à la silice (1/3 à 1/10) ce qui concorde bien avec le type de pédogénèse (ferrallitisation) du sol étudié. Les concentrations en fer et en silice sont plus élevées dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage.

Il semble que le fer, la silice et surtout l'alumine aient tendance à être plus concentrés lors des forts écoulements d'eau de drainage (rapports  $\frac{mp}{ma}$  % voisin ou même supérieur à 100). Ce fait a également été relevé par des sédimentologues travaillant sur des marigots à Tiassalé et Korhogo (1). L'explication de ce phénomène fait probablement intervenir des variations d'humectation des colloïdes du sol mais aussi de solubilité en fonction du pH.

L'influence de la profondeur des écoulements est peu nette, probablement à cause de l'intervention en sens contraire de différents facteurs.

---

(1) BOULANGE (B.) - Adiopodoumé, communication personnelle et orale le 3 août 1967.

### 23.5. Les éléments traces.

Les teneurs (1) en bismuth, zinc, césium, molybdène, étain, vanadium, nickel, cobalt, titane, chrome et lithium sont toujours inférieures à 0,010 mgr/litre. Plomb, cuivre et rubidium peuvent atteindre entre 0,015 et 0,060 mgr/litre tandis que strontium, barium et manganèse dépassent 0,160 à 0,200 mgr/litre et que alumium et fer varient entre 0,120 et 0,400 mgr/litre dans six échantillons prélevés en 1966.

### 23.6. Lessivage oblique et érosion en nappe.

Un des buts de cette expérience est d'étudier les mouvements des colloïdes à l'intérieur du sol afin de savoir s'ils suffisent à expliquer l'appauvrissement en argile constaté dans les horizons superficiels de nombreux sols tropicaux.

Pour ce faire nous avons laissé reposer durant quatre mois 8 échantillons de 3 à 20 litres d'eau filtrée (au filtre rapide) en provenance de la case de lessivage oblique. Puis après avoir constaté des dépôts sur les parois des récipients nous les avons transvasés dans des bombonnes en verre et hâté leur floculation. (2)

---

(1) Grâce à la collaboration de Mr. PINTA, chef du laboratoire de spectroscopie de l'ORSTOM à Bondy, nous avons en l'occasion de faire évaluer les teneurs en éléments traces, des eaux de ruissellement et de drainage oblique.

(2) Floculation ! soit au sulfate d'alumine : 1cc/litre d'une  
! solution à 5 %  
! soit à l'acide chlorhydrique fumant : 1cc/l.

Cette dernière méthode a toujours donné des poids de flocculat inférieurs à la première probablement à cause des facultés dissolvantes de l'acide chlorhydrique.

Les flocculats présentent une couleur brun-jaune d'autant plus sombre qu'ils proviennent d'horizons humifères. On en a recueilli de 8 à 53 mgr/litre ; les teneurs semblent diminuer en profondeur.

Par ailleurs nous avons comparé dans le tableau 4 la granulométrie du sol en place (0 à 5 cm), à celle des matériaux érodés (terre de fond et suspension) et lessivés. Il en ressort que les matériaux érodés sont légèrement plus riches en particules fines (0 à 0,1 mm) et plus pauvres en sables (0,1 à 2 mm) que le sol en surface.

TABLEAU 4 - Comparaison de la granulométrie des terres érodées et lessivées et du sol en place (0 à 5 cm).

	Terre de fond		Suspension		Lessivage oblique total kg	Total [1]		Sol 0-5cm [2]	Rapport [1] / [2]
	%	kg	%	kg		kg	%		
Argile	10,94	29,580	53,3*	29,687	0,605	59,872	18,93	13,2	1,43
Limon fin	2,67	7,219	18,0	10,025	-	17,244	5,45	3,7	1,47
Limon grossier	0,77	2,082	10,7	5,960	-	8,042	2,54	0,9	2,82
Sable fin	10,43	28,201	7,9	4,400	-	32,601	10,31	16,0	0,64 !
Sable grossier	73,38	198,406	0	0	-	198,406	62,75	63,6	0,98
Total		270,4		55,7	0,605		326,7		

#### Notes

\* repris de "quelques exemples des effets de l'érosion sur les cultures" ROCSE. avril 1967.

\*\* Nous signalons qu'on n'a pas pu tenir compte ici du lessivage vertical de l'argile étant donné l'absence de mesure directe du drainage vertical. Celui-ci pourrait pourtant jouer un rôle non négligeable dans l'appauvrissement en colloïdes des trente premiers centimètres du sol.

Ceci caractérise une érosion en nappe. En effet si le ruissellement acquiert suffisamment d'énergie pour creuser une rigole ou une ravine, il emporte toutes les particules du sol quelque soit leur taille et il n'existe guère de différence entre la granulométrie des horizons entaillés par l'érosion et celle des matériaux érodés. Encore faut-il souligner qu'en première année les bordures de la parcelle ne sont pas stabilisées et donnent prise à des transports de sable grossier qui diminuent en cours d'expérience.

Cet appauvrissement en argile de l'horizon superficiel provient en majeure partie du déplacement des particules fines par les eaux de ruissellement (voir tableau 4) et non du lessivage oblique (nous n'avons aucune donnée sur le lessivage vertical).

Nous nous garderons de tirer des conclusions hâtives de ces premiers résultats qui devront être confirmés au cours des six années à venir. Il semble cependant difficile d'expliquer l'appauvrissement en éléments fins dans les horizons superficiels des sols sur sables tertiaires par le seul lessivage oblique. Celui-ci interviendrait à côté de l'érosion en nappe pour une part plus ou moins importante suivant les sols.

Il faudrait aussi réserver une place au lessivage vertical qui n'a pu être mesuré directement mais qui pourrait être prépondérant si on remarque l'importance du volume d'eau intéressé par le drainage vertical (voir 24.2) et si on admet des charges en colloïdes semblables pour les eaux de drainage oblique et vertical. Le lessivage vertical pourrait se traduire soit par un dépôt diffus des colloïdes dans la masse du matériau originel ici très sableux et poreux,

soit par des accumulations argileuses dans des zones de drainage préférentiel (HUMBEL, F.X., 1964).

soit traverser ces formations géologiques perméables dans leur ensemble et être exporté vers la mer par l'intermédiaire des sources et des rivières. (1) (2)

#### 2.4. Conclusions

Le but final de cette expérimentation en case de mesure de l'érosion et du lessivage oblique est l'établissement des pertes physiques (terre, eau) et chimiques.

##### 24.1. Les pertes en terre

Elles sont très faibles et de l'ordre de celles qu'on peut mesurer sous forêt. On peut cependant constater qu'elles doivent aboutir à des changements qualitatifs de la surface du sol suite au type d'érosion différentiel qui s'accentuera sans doute au cours des années suivantes.

##### 24.2. Essais de bilan hydrique

Nous sommes loin de posséder les éléments nécessaires à l'établissement d'un bilan hydrique de la parcelle. Celui-ci serait pourtant très intéressant car il nous permettrait de chiffrer approximativement les pertes annuelles en éléments fertilisants au départ des teneurs moyennes de l'eau du sol constatées aux différentes profondeurs au cours de l'année. Nous voudrions donc ici esquisser un 1er bilan hydrique fut-il très grossier, pour indiquer l'ordre de grandeur et l'importance des différents facteurs et pour mettre en évidence les mesures qui nous manquent.

---

(1) Notons que les eaux des cours d'eau qui naissent dans les sables tertiaires sont extrêmement claires et limpides.

(2) de BOISSEZON : Adiopodoumé août 1967 ; communication personnelle.

Nous pourrions partir du schéma suivant :

$$P = R + (D.o. + D.v.) + ETR + D H \%$$

où P. = : pluviosité annuelle en m<sup>3</sup>/ha  
: 1583 mm en 1966 soit 15.830 m<sup>3</sup>/ha.

R. = : ruissellement annuel en m<sup>3</sup>/ha  
: 1 % de P soit ± 150 m<sup>3</sup>/ha en 1966

D.o. = drainage oblique  
: soit ± 20 m<sup>3</sup>/ha en 1966

D.v. = drainage vertical (non mesuré).

ETR = évapotranspiration réelle (non mesurée)

On pourrait l'évaluer au départ de l'E.T. potentiel  
( ETP = 1400 mm )

. en établissant un coefficient correctif qui varierait de 1 durant les mois où il n'y a pas de déficit hydrique à 0,2 durant les mois les plus secs.

. ou encore au départ d'un coefficient global (à définir) qui varie probablement entre 0,4 et 0,7.

$$\text{soit } ETR \begin{cases} = 14.000 \times 0,4 = 5.600 \text{ m}^3 \\ = 14.000 \times 0,7 = 9.800 \text{ m}^3 \end{cases}$$

D H % = différence d'humidité du sol entre le début et la fin de la période considérée. (non mesuré).

- on peut la négliger si on considère de nombreuses années ou si on démarre le bilan au moment où le sol est saturé (juin-juillet) (1) pour le finir à la même époque.

On pourra donc grossièrement évaluer le drainage vertical.

$$D.V. = P - (R+D_o + ETR) = 15.830 - (150+20+5600) = 10.060 \text{ m}^3 \\ = 15.830 - (150+20+9800) = 5.860 \text{ m}^3$$

---

(1) ELDIN ; communication orale 3 août 1967 à Adiopodoumé.

Nous voyons donc que les éléments les plus importants (et qui nous échappent) sont le drainage vertical qui intervient principalement en saison des pluies et l'évapotranspiration réelle qui se manifestent surtout en saison sèche.

Nous espérons pouvoir mettre au point une méthode de mesure du drainage du sol en place à différentes profondeurs et nous baser sur les travaux de Mr ELDIN et LESPINAT sur l'évapotranspiration réelle et potentielle à Adiopodoumé (en cours de dépouillement).

Nous pourrons ainsi mieux définir le milieu écologique dans lequel vivent les hévéas de notre parcelle.

### 24.3. Pertes chimiques

Le tableau 5 nous donne la répartition des pertes minérales et organiques entre l'érosion, le ruissellement et le lessivage oblique. On voit que les pertes en calcium, magnésium, potassium, azote et matières organiques sont loin d'être négligeables. Cependant elles sont compensées (au moins en partie) par les remontées biologiques grâce à un enracinement profond.

Calcium, matières organiques et phosphore circulent en majeure partie sous forme solide (terre érodée) tandis que le potassium, le sodium et l'azote se perdent principalement en solution dans les eaux de ruissellement. Nous n'avons malheureusement aucune analyse sur les éléments fins en suspension.

Les pertes par drainage oblique sont relativement faibles mais si on admet que les eaux de drainage vertical ont la même composition chimique que les eaux de drainage oblique on peut conclure, étant donné leur volume, que c'est par drainage vertical que la couche du sol exploitée par les racines perd la plus grosse part de ses éléments fertilisants.

TABLEAU 5 - Pertes en matières minérales et organiques suite aux phénomènes d'érosion et de drainage oblique (% du total exprimé en kg/ha.).

	Perte par ruissellement %	Perte par drainage oblique %	Perte par érosion %	Pertes totales kg/ha
Ca O	39,6	6,1	54,3	3,101
Mg O	57,3	18,0	24,7	1,302
K <sub>2</sub> O	78,6	14,1	7,3	2,370
Na <sub>2</sub> O	77,0	14,1	8,9	0,610
M. O.	29,2	3,2	67,6	11,268
N total	71,9	13,9	14,2	2,446
N NH <sub>4</sub>	84,9	15,1	-	0,053
N - NO <sub>3</sub>	65,2	34,8	-	0,207
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25,9	2,2	71,9	0,371
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	93,2	6,8	-	0,177
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86,6	13,4	-	0,134
SiO <sub>2</sub>	90,8	9,2	-	0,979

### Chap. 3 - Conclusions générales

En vue de tester l'efficacité de l'aménagement anti-érosif (1) préconisé par l'I.R.C.A. pour les plantations d'hévéa en Côte d'Ivoire et de mesurer le drainage oblique dans les sols ferrallitiques fortement désaturés sur sables tertiaires, l'O.R.S.T.O.M. et l'I.R.C.A. ont conclu un protocole d'accord pour l'exploitation en commun d'une case de mesure expérimentale de l'érosion et du lessivage oblique.

Nous avons établi en 1965 une parcelle de 34 x 6 m sur un sol argilo-sableux typique de pente voisine de 29 % dans la plantation I.R.C.A. à l'Anguédedou. Au-bas de celle-ci ont été installés deux dispositifs l'un, classique, permettant de mesurer l'érosion et le ruissellement, l'autre, de conception originale en vue de recueillir le drainage oblique.

Les principaux résultats obtenus durant la première année sont :

1. L'érosion (326 kg/ha) et le ruissellement ( $\pm 1$  % des 1583 mm de pluie tombés sur la parcelle) sont négligeables et de l'ordre de grandeur de ceux qu'on peut observer sous la forêt secondaire dans les mêmes conditions. Il s'agit d'une érosion en nappe.

2. Le drainage oblique ( $\pm 1$  % de la pluviosité) est négligeable par rapport au drainage vertical et à l'évapo-transpiration. Lors des pluies exceptionnelles, le coefficient de drainage oblique a pu dépasser 2 %.

---

(1) Cet aménagement comprend un défrichement manuel suivi d'un brûlage rapide six mois plus tard, l'andainage en courbe de niveau, recru forestier dans les interlignes et plantation en terrasses isohypses en légère contrepente.

3. Des nombreuses analyses d'eau et de terre, il ressort l'importance des pertes en bases, azote et silice en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage. Les pertes en azote ammoniacal et en phosphore sont négligeables. Les matières organiques et le phosphore restent liées pour une bonne part aux terres érodées.

Grâce à l'étude de cette parcelle et à l'observation de plusieurs dizaines d'hectares de plantations d'hévéa traités selon cette technique par l'I.R.C.A. depuis 1964 on peut déduire que les méthodes antiérosives préconisées sont pleinement efficaces dans ce sens qu'elles limitent l'érosion et le ruissellement à des valeurs négligeables tout en évitant les dangers dus aux pluies exceptionnelles.

Ceci confirme nos convictions selon lesquelles, dans un sol poreux et sous un climat où les pluies tombent en grandes quantités durant quelques mois de l'année (en particulier sur les sables tertiaires de Côte d'Ivoire) les aménagements antiérosifs du type de conservation totale de l'eau sont plus dangereux qu'utiles. Il faut leur préférer des aménagements retenant les premières et dernières pluies de la saison mais permettant l'écoulement contrôlé des eaux excédentaires durant les mois les plus pluvieux.

Il faut noter enfin que la composition chimique des eaux de drainage oblique recueillies à chaque niveau pédologique reflète celle des solutions du sol à ces niveaux. On pourra donc envisager de dresser un bilan chimique global des pertes subies par la parcelle dès qu'on aura établi le bilan hydrique et en particulier le drainage vertical en-dessous de la zone exploitée par les racines.

A N N E X E S

Annexe 1.Liste des illustrations.

- Figure 1. Schéma des plantations d'hévéa en terrasses isohypses à l'Anguédédou.
- Figure 2. Schéma des mouvements de l'eau de gravité dans le sol et d'une case de mesure du lessivage oblique.
- Figure 3. Variations des données climatiques au cours de l'année.
- Figure 4 et 5. Photos de la parcelle de l'Anguédédou en 1965.
- Tableau 1. Résumé de l'érosion, du ruissellement et du drainage oblique en 1966.
- Tableau 2. Résumé des résultats analytiques en 1966 : moyennes arithmétiques et pondérées.
- Tableau 3. La somme des bases et la résistivité en fonction de la profondeur d'écoulement pour quelques pluies importantes.
- Tableau 4. Comparaison de la granulométrie des terres érodées, lessivées et du sol en place.
- Tableau 5. Pertes en matières minérales et organiques suite aux phénomènes d'érosion, de ruissellement et de drainage oblique.
- Tableau 6. Pluviosité en 1966 à l'Anguédédou, case d'érosion.
- Tableau 7. Résultats analytiques du profil pédologique de la case d'érosion et de lessivage oblique de l'Anguédédou.
-



Annexe 3.Description détaillée de la parcelle expérimentale de mesure de l'érosion, du ruissellement et du lessivage oblique.

En vue de mesurer l'érosion et le ruissellement dans les cultures d'hévéas sur terrasses isohypses de l'Anguédédou on a délimité une parcelle de 34 x 6 m au moyen de tôles d'évérite sur un sol de pente (29 %) argilo-sableux. Au bas de cette parcelle un canal protégé par une tôle recueille les eaux de ruissellement ainsi que les terres érodées.

En aval du canal de ruissellement on a creusé une fosse (1) dont les bords sont verticaux et dont la profondeur (1,75 m) atteint l'horizon argileux moins perméable.

Après avoir délimité, décrit les horizons pédologiques (voir annexe 4) et récolté les échantillons nécessaires, on étançonne soigneusement tout le profil à l'aide de planches (2), qui s'appuient sur deux chevrons (3) encastrés dans les bords de la fosse (voir figure n°2). Les boiseries sont en bois rouge protégé de la pourriture par un recouvrement de carbonil.

On a pris soin de laisser un interstice de 3 cm entre les planches délimitant les horizons pédologiques. Au moyen d'un outil tranchant (matchette, long couteau) et en dérangeant le moins possible la structure on découpe une tranche "f" de sol (4) dont la pente épouse celle du terrain (5). On y introduit une tôle "t" (6) que l'on force à pénétrer au-delà du fond de la fente et dont le rebord extérieur est rattaché à une gouttière ordinaire. On bourre avec soin (5) la fente "f" de sable

---

(1) Fosse : largeur, 1,5 m ; longueur 2,1 m.

(2) Planches : largeur 20 à 30 cm ; longueur 2,2m ; épaisseur 27mm

(3) Chevron : longueur 2 m ; épaisseur 6 x 6 cm

(4) Fente : longueur 210 cm ; profondeur légèrement inférieure à la largeur de la tôle rattachée à la gouttière soit 19cm : épaisseur moins de 2 cm.

(5) Ces deux opérations sont les plus délicates et décisives pour l'obtention des échantillons d'eau.

(6) Tôle rattachée à la gouttière en fer galvanisée : longueur 2 m, largeur 20 cm ; épaisseur 2 mm.

grossier lavé "s" en vue de plaquer la tôle "t" contre la lèvre inférieure de "f" et de percer les capillaires qui risquent de contourner la lèvre supérieure (effet du lissage). Sans ces précautions l'eau suit ces capillaires et n'est pas captée par la tôle "t".

Des tuyaux en plastique canalisent l'eau de lessivage oblique coulant dans les gouttières "g" (pente longitudinale 1 % max.) vers des récipients en polyéthylène posés au fond de la fosse. Les gouttières ont été placées à 30-63-95 et 145 cm de la surface du sol.

Les eaux de ruissellement sont recueillies dans un canal en béton large de 20 cm (recouvert de FLINKOT) qui les dirige vers un piège à sédiment puis un fût de stockage de 200 litres. En août 1967 on a ajouté un deuxième fût muni d'un partiteur à 17 fentes permettant la mesure d'un ruissellement de 3.500 litres soit 3,5 fois le volume qui s'écoulerait sur la parcelle pour une pluie de 100 mm et un coefficient de ruissellement de 5 %. Un canal assure (depuis août 1967) l'évacuation des eaux des fosses de ruissellement et de lessivage oblique. Un pluviographe à auget basculeur (type météo nationale n° R 208 A) à mouvement hebdomadaire permet de mesurer l'intensité et la hauteur des pluies et d'évaluer leur énergie cinétique.

Un bâti "b" en tube d'acier soutient un toit "to" de tôle dont l'extrémité supérieure empêche l'eau de pluie de tomber dans le canal de ruissellement. Les bords de la fosse sont stabilisés par un crépis de ciment.

Description du profil de la case de lessivage oblique et d'érosion installée dans le bloc 3 / 3 du jardin grainier de l'I.R.C.A. à Anguédédou.

- Topographie : pente 29 %; 2/3 du bas de la pente, en tête de vallée entaillant profondément le plateau. (genre de cirque) (paysage à forte pente). (voir ROOSE et CHEROUX, 1966).
- Erosion : localement, en nappes. Présence de ravineaux peu profonds en dehors de la parcelle.
- Végétation : vieille forêt secondaire pélo-hygrophile avec palmiers, hauteur 40 m, défrichée depuis un an. brûlée et andainée en courbes de niveau. Formation de terrasses laissées à nu, en légère contre pente, larges de 2 m, en courbes de niveau. Entre celles-ci un recru forestier de composées et divers entre les troncs calcinés. Plantation des jeunes hévéas le 27.10.65 (variété TJIR 1 illégitime).
- Description :
- 0 - 0,5cm : litière brûlée profondément aux emplacements des feux; ailleurs litière de brindilles peu épaisse. Surface du sol trouée par les souches renversées; pas de souches importantes sur la surface de la case d'érosion. Il est prévu par contre que l'on conservera les troncs d'arbres parmi le recru.
- 0,5 - 5 cm : horizon gris noir à gris brun si la litière n'a pas été brûlée; nombreux grains de quartz blanchis; débris de coquilles en surface; structures particulières avec quelques agrégats polyédriques mêlés au système racinaire; le feu a augmenté le durcissement de petits agrégats peu humifères (grains de quartz + argile cuite) chevelu radulaire dense; très forte porosité horizon bouillant; nombreux charbons de bois (à sec couleur 10 YR 4/3= brun à brun foncé et 10 YR 4/2= brun gris foncé si charbon de bois). Passage très net (couleur, structure, texture).

- 5 - 25 cm : h. brun gris de pénétration de l'humus (10 YR 5/4 = brun jaune) déjà collant, sablo-argileux ( $A + L > 20 \%$ ) structure polyédrique moyenne peu développée; sable assez bien lié au fer et à l'argile; cependant vite délavé sous l'effet des pluies; nombreuses racines fines; quelques racines de 1 cm de diamètre à tendance horizontale; (buttent contre l'horizon plus argileux); charbons de bois petits et peu abondants; un trou de rat (diamètre 4 cm) à 40 cm du chevron droit (amont) bien rebouché; horizon un peu plus compact; passage progressif (couleur, argile).
- 25 - 110 cm : horizon brun à brun jaune (taches jaunes de plus en plus nombreuses et concentrations d'argile augmentant avec la profondeur surtout à partir de 60 cm. taches grises humifères (50-60 cm, 7,5 YR 5/4 = brun; 80-90 cm, 7,5 YR 5/6 = brun fort) texture argilo-sableuse ( $A + L \approx 35 \%$ ), collant au marteau; structure polyédrique moyenne peu développée à fondue; fentes verticales à faces luisantes (accumulation argile) beige; racines, diamètre  $> 1$  cm peu nombreuses mais nombreuses racines très fines; direction dominante horizontale; encore quelques charbons de bois (les derniers), pénétration d'humus de plus en plus faible; porosité élevée; assez compact; trou de rats parallèles à la pente à 40 cm de la surface et 75 cm du chevron gauche. passage progressif (couleur)
- 110-160 cm : horizon brun jaune avec quelques traces ou lignes rouges (130-150, 7,5 YR 5/6: brun fort) encore quelques taches humifères au sommet; sablo-argileux ( $A + L > 35 \%$ ); structure polyédrique moyenne à grossière peu développée; tendance structure fondue; horizon très collant, toujours frais (même avant le début de la petite saison des pluies) quelques racines diamètres  $> 1$  cm, presque horizontales encore nombreu-

ses racines fines ; plusieurs alvéoles diamètre plus ou moins 3 cm ; horizon assez compact mais encore poreux ; colle au marteau ; son clair ; faces beiges et luisantes des fentes de retrait.

passage net (couleur + rouge, grès pourri)

160-210 cm : sondage à partir de 1,80 m

horizon brun jaune à mailles rougeâtres (170-190 7,5 YR 6/6 = jaune rouge) argileux avec lignes de cailloux (diamètre  $\leq$  à 5 cm) de grès ferrugineux rouge rose en voie de décomposition, cassables à la main, grains de quartz brillants bien détachés de la masse ferrugineuse, séparation brutale entre le sol et le grès déjà plus ou moins décoloré sur 2 à 3 mm ; structure fondue à l'état humide ; horizon collant, assez compact, encore poreux, quelques racines.

passage très net (couleur et grès)

210-280 cm : horizon brun jaune à jaune ; lignes rougeâtres moins nombreuses (230-250, 7,5 YR 6/6 = jaune rouge) ; horizon très argileux et compact beaucoup plus tassé, + sec, difficile à percer à la sonde, probablement - poreux.

vers 2,80 m : on retrouve un matériau + rouge avec des cailloux de grès ferrugineux ressemblant à l'horizon 160-210 (280-290 ; 7,5 YR 6/6 = jaune rouge).

TABLEAU 7 - Résultats analytiques du profil de la "case d'érosion et de lessivage oblique" Anguédédou parcelle jardin grainier n°3/3 I.R.C.A.

Profondeur	0/5	0/5 brûlés	10/20	50/60	80/90	130/150	170/190	230/250	280/290
<u>Bases échangeables</u>									
Ca méq. %	2,50	11,48	0,22	0,06	0,24	0,14	0,13	0,04	0,07
Mg	1,56	3,38	0,38	0,16	0,31	0,19	0,14	0,06	0,05
K	0,34	0,30	0,24	0,25	0,34	0,19	0,06	0,03	0,06
Na	0,09	0,05	0,16	0,10	0,11	0,14	0,18	0,10	0,10
S méq. %	4,49	15,21	1,00	0,57	1,00	0,66	0,51	0,23	0,32
T "	9,45	9,50	6,76	6,45	6,10	4,84	4,28	3,33	2,55
V %	47,5	> 100	14,8	8,8	16,4	13,6	11,9	6,9	12,5
pH %	5,8	7,2	6,0	5,0	5,3	5,1	5,3	5,3	5,4
<u>Bases totales</u>									
Ca méq. %	3,30	26,10	0,60	0,30	0,45	0,65	0,25	28,60	0,15
Mg "	2,95	11,65	2,65	1,95	3,05	4,70	1,15	0,50	3,75
K "	0,67	1,26	0,64	0,67	1,08	0,84	0,29	1,60	0,12
Na "	0,25	0,66	0,17	0,22	0,38	5,90	0,16	0,16	1,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total ‰	0,615	0,480	0,338	0,368	0,503	0,450	0,375	0,285	0,270
C ‰	24,49	23,47	9,46	8,58	6,70	4,64	3,88	1,71	1,00
M.O. ‰	42,24	40,48	16,32	14,80	11,56	8,00	6,69	2,95	1,72
N ‰	1,88	1,65	0,94	0,82	0,61	0,59	0,53	0,29	0,23
C/N	13,1	14,3	10,1	10,5	11,0	7,9	7,3	5,8	4,3

.../...

Profondeur	0/5	0/5 brûlés	10/20	50/60	80/90	130/150	170/190	230/250	280/290
<u>Triacide</u>									
SiO <sub>2</sub> %	6,00	-	9,41	13,04	-	16,55	18,74	21,67	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	5,41	-	8,95	13,15	-	14,65	18,82	25,51	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	3,50	-	4,95	7,35	-	10,00	13,45	19,45	-
TiO <sub>2</sub> %	0,56	-	0,81	1,03	-	1,34	1,63	2,26	-
Résidu %	77,78	-	70,10	57,19	-	47,24	38,35	22,15	-
SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	1,88	-	1,78	1,68	-	1,92	1,69	1,44	-
Argile %	13,2	9,9	22,0	30,9	36,0	35,7	35,2	32,2	35,0
limon %	3,7	6,7	5,1	3,4	3,4	3,0	7,5	10,7	7,1
Limon grossier %	0,9	1,5	1,5	1,8	1,4	1,5	3,0	4,3	3,9
Sable fin %	16,0	19,1	18,1	14,4	13,8	14,0	12,7	10,8	11,5
Sable grossier %	63,6	59,9	52,9	49,2	45,3	45,6	41,3	41,8	42,4
Perméabilité K cm/heure.	16,61	7,83	3,09	2,90	2,10	5,56	5,24	2,98	5,62
PF 2,5	11,18	12,13	13,07	15,19	16,06	15,87	17,93	21,06	20,91
pF 2,7	10,38	10,93	12,21	14,42	15,79	15,40	17,64	20,89	20,00
pF 3	9,22	9,43	10,46	13,43	14,27	14,26	16,73	18,68	18,84
pF 4,2	8,71	8,08	8,15	9,95	11,64	11,40	13,49	16,76	16,53
Instabilité structurale Is	1,11	1,56	2,87	2,59	2,84	2,55	2,68	2,79	2,70

Bibliographie

a) Généralités - Pédologie, climatologie, agronomie et divers...

- AUBERT (G.) et SEGALEN (P.) - 1966. Projet de classification des sols ferrallitiques.  
Cahier O.R.S.T.O.M. série Pédologie Vol. 4 n°4 p, 97-112
- BEATER (B.E.) FRANKEL (E.) - 1965. Alterations in chemical composition during the progressive weathering of Dwyka tillite and dolerite in Natal.  
Proc. (39th) Congr.S. afr. Sug. Technol. Ass. p.250-251.
- BLANCHAR (R.W.), CALDWELL (A.C.) - 1966. Phosphate ammonium moisture relationships in soils. I Ion concentrations in static fertilizer zones and effects on plants  
2 Ion concentrations in leached fertilizer zones and effects on plants.  
Proc. Soil Sci. Soc. Am. 30 p.39-48.
- COLMAN (E.A.) - 1953. "Vegetation and watershed management"  
The Ronald Press 412pp.
- DHAR (B.K.), SEN (M.K.) - 1965. Mineralization of a urea-formaldehyde compound in some Indian soils.  
Technology, India 2, p. 162-165.
- DOMMERGUES (Y.) -1962. "Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche".  
Thèse Fac.Sciences Paris série A n°3888 n°4739  
(voir Ann. Agron. 13 (4) 265-324 suite 13 (5) 379-469.
- du PLESSIX (C.J.) - 1966. Première approche expérimentale de l'intérêt du désherbage pour l'entretien des jeunes hévéas cultivés sur sables tertiaires en Côte d'Ivoire.  
I.R.C.A. rapport multigr. 78p.
- ELDIN (M.) et DAUDET (A.) - 1967. Notice des cartes climatologiques de Côte d'Ivoire  
1. Déficits hydriques cumulés et durée de la saison sèche.  
2. Données pluviométriques.  
Rapport multigr. ORSTOM Adiopodoumé 9 pages.

- GAISER (R.N.) - 1952. "Root channels and roots in forest soils"  
Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 16, p. 62-65.
- HAQUE (I.), IBRAHIM (M.) - 1965. The influence of source of  
nitrogen, texture of soil and depth of irrigation on  
the movement of fertilizer nitrogen.  
Pakist. J. Soil Sci. 1 n°2 p. 1-13.
- HUMBEL (F.X.) - 1964. Etude de quelques dépressions circulaires  
à la surface d'un plateau sédimentaire de Côte d'Ivoire.  
Cah. ORSTOM, série Pédol., 11, 3, p. 27-42.
- MANGIN (J.Ph.), LECOLLE (J.), MATHIEU (Ph.), MONNET (C.)  
PINTA (M.), SIRCCULON (J.) - 1966.  
"Géochimie des eaux naturelles ; le transport en solu-  
tion par un fleuve de Côte d'Ivoire".  
C.R. Ac. Sc. Paris tome 262 du 23/5/66 série D.  
p. 2204-2206.
- OTOUL (E.) - 1960. Le système racinaire de l'hévéa dans les  
conditions écologiques de Yangambi.  
Publication INEAC série techn. n°62, 61p. nombreuses  
photos et dessins.
- ROOSE (E.) et CHEROUX (M.) - 1966. "Les sols du bassin sédi-  
mentaire de Côte d'Ivoire".  
Cahier ORSTOM - série pédologie - Vol. IV, n°2, p.51-92
- ROOSE (E.J.) - avril 1967. "Quelques exemples des effets de  
l'érosion hydrique sur les cultures".  
Rapport O.R.S.T.O.M. multigr. 18p. 21 réf. 3 tableaux.
- ROUGERIE (G.) - 1960. "Le façonnement actuel des modèles en  
Côte d'Ivoire".  
Mém. IFAN n° 58 DAKAR, 542p.
- WIKLANDER (L.) - 1965. [The composition and ecological impor-  
tance of the soil solution]  
Grundförbättring, 18, p. 71-88.  
(voir Soils and Fertilizers fév. 1961 vol. 29 n°1 p.31.

b) L'eau dans le sol

- CHAHAL (R.S.) - 1964. Effect of temperature and trapped air on the energy status of water in porous media".  
Soil Sci. n° 98 p. 107-112.
- CHAHAL (R.S.) - 1965. Effect of temperature and trapped air on matric suction.  
Soil Sci. Vol. 100 n°4 Oct. 1965, p. 262-266.
- COLMAN (E.A.) and BCDMAN (G.B.) - 1945. Moisture and energy conditions during downward entry of water into moist and layered soils .  
Soil Sci. Amer. Proc. 9, p. 3-11.
- FEODOROFF (A.) - 1964. Remarques sur le mécanisme de l'infiltration de l'eau non saturante dans un sol initialement sec.  
C.R. Ac. Sci. (Paris), 9/12/1964, 259, 23, 4320-2.  
4 réf.
- FEODOROFF (A.) - 1965. Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante.  
Thèse ann. Agro. (Paris) 1965-16, 2 et 3,
- HANSEN (V.E.) - 1955. Infiltration and soilwater movement during irrigation .  
Soil Sci. 79, p. 93-105.
- HORTON (J.H.) HAWKINS (R.H.) - 1965. Flow path of rain from the soil surface to the water table.  
Soil Sci., 100 (6) : 377-383.
- PECK (A.J.) - 1965. Moisture profile. Development and air compression during water uptake by bounded porous bodies : 2 - Horizontal columns.  
Soil Sci. Vol. 99 n° 5 p. 327-334.

- PECK (A.J.) - 1965. Moisture profile development and air compression during water uptake by bounded porous bodies : 3, vertical columns.  
Soil Sci. Vol. 100 n° 1, p. 44-51, 8 réf.
- POWERS (W.L.) - 1934. Soil water movement as affected by confined air .  
J. Agr. Research 49 p. 1125-1133.
- SEGINER (I.) and LEVINE (G.) - 1964. Infiltration of water under pressure from a piezometer cavity into a homogeneous soil : 1. One dimensional infiltration.  
Soil. Sci. Vol. 97, n°1, p. 48-57.
- SMITH (W.O.), OLSEN (H.W.), BAGNOLD (R.A.), RICE (J.C.) - 1966.  
Certain' flcws of air and water in sands during infiltration.  
Soil Sci. (Baltimore) juin 1966, 101, 6, 441-449.

c) Le drainage oblique

- BURYKIN (A.M.) - 1957. Seepage of water from soils in mountainous regions of the humid subtropics.  
Soviet Soil Sci. Pochvovedenie n°12 p. 90-97.
- HEWLETT (J.D.) - 1961. Soil moisture as a source of baseflow from steep mountain watersheds .  
U.S. Dept. of Agric. Southeast. Forest Expt. Sta. paper 132, 11pp.
- HOCYER (M.D.) -1962. Action et mouvement de l'eau dans la forêt . p. 38-91.  
Extrait de 'Influences exercées par la forêt sur son milieu.  
FAO- Rome Etude des forêts et des produits forestiers n° 15, 341pp.

- HURSH (C.R.) - 1944. Chairman's report to sub-committee on subsurface flow .  
Trans. Amer. Geophys. Union - Part V, p. 743-746.
- HURSH (C.R.) and FLETCHER (P.W.) - 1942. The soil profile as a natural reservoir.  
Proc. Soil. Sci., Soc. Amer., 7, p. 480-486.
- HURSH (C.R.) and HOOVE (M.D.) - 1941. Soil profile characteristics pertinent to hydrologic studies in the southern Appalachians .  
Proc. Soil Sci., Soc. Amer. 6 p. 414-422.
- KELLER (J.) , ALFARO (J.F.) - 1966. Effect of water application rate on leaching .  
Soil Sci. (Baltimore) août 1966, 102, 2, 107-114.
- KIRKHAM (D.) - 1947. "Studies on hillside seepage in the lowan drift area."  
Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 12 p. 73-80.
- ROESSEL (B.W.P.) - 1951. Hydrologic problems concerning the runoff in headwater regions .  
Trans. Amer. Geophys. Union 31, p. 431-442.
- ROOSE (E.J.) - 1967. Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place .  
Rapport ORSTOM multigr. 25p. 21 réf. 2 fig. 2 photos 2 tableaux.
- SWARTZENDRUBER (D.) - 1960. Water flow through a soil profile as affected by the least permeable layer .  
J. Geophys. Research n° 65, p. 4037-4042.
- TAYLOR (S.A.) and HEUSER (N.C.) - 1953. Water entry and downward movement in undisturbed soil core .  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. n° 17, p. 195-201.

- VAN DIJCK (D.C.) - 1958. Water seepage in relation to soil layering in the Canberra district .  
CSIRO, Div. of soils, Commonwealth of Austral.  
Rpt. 5/58 13pp.
- VAN 't WOUDT (B.D.) - 1954. On factors governing subsurface stormflow in volcanic ash soils .  
N.Z. Trans. Amer. Geophys. Union, 35, p. 136-144.
- WHIPKEY (R.Z.) - 1965. Measuring subsurface stormflow from simulated rainstorms - a plot technique .  
U.S. Dept. of Agr. , Forest serv. Cent. States Forest Expt. Sta. Res. Note C3-29, 6pp.
- WHIPKEY (R.Z.) - 1965. Subsurface stormflow from forested slopes.  
Bull. Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, juin 1965, p. 74-87.

**INSTITUT DE RECHERCHES SUR  
LE CAOUTCHOUC EN AFRIQUE  
I.R.C.A.**

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE - MER  
O.R.S.T.O.M**

**"EROSION, RUISSELLEMENT ET LESSIVAGE OBLIQUE  
SOUS UNE PLANTATION D'HEVEA EN BASSE  
COTE D'IVOIRE"**

**III RESULTATS DES CAMPAGNES 1967, 1968 et 1969.**

**par**

**ROOSE (E. J.)**

**Chargé de Recherche en Pédologie à l'O.R.S.T.O.M.**

**avec la collaboration de**

**DELABARRE (M.), COMBES (J. Cl.) de l'IRCA**

**Henry des TUREAUX (P.) et DIALLO SOUNSOUNA (H.) de l'O.R.S.T.O.M.**

INSTITUT DE RECHERCHES SUR  
LE CAOUTCHOUC EN AFRIQUE  
(I.R.C.A.)

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
(O.R.S.T.O.M.)

"EROSION, RUISSELLEMENT ET LESSIVAGE OBLIQUE SOUS UNE  
PLANTATION D'HEVEA EN BASSE COTE D'IVOIRE"

III - RESULTATS DES CAMPAGNES 1967 - 1968 et 1969

ROOSE (E.J.)

Chargé de Recherche en Pédologie à l'ORSTOM

avec la collaboration de

DELABARRE (M.), COMBES (J.Cl.) de l'IRCA

Henry des TUREAUX (P.) et SOUNSOUNA (H.) de l'ORSTOM

# S O M M A I R E

	pages
<u>RESUME</u>	1
<u>SUMMARY</u>	3
<u>INTRODUCTION</u>	5
<u>CHAP. 1 - LE MILIEU ET LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL</u>	
1.1. Le milieu	6
1.2. Le dispositif	9
<u>CHAP. 2 - LES RESULTATS EXPERIMENTAUX</u>	
2.1. Les precipitations atmospheriques	12
211. Hauteurs annuelles	12
212. Répartition des classes de hauteur dans l'année	13
213. Répartition des intensités	15
214. Erosivité du climat	17
215. Déroulement des campagnes	24
2.2. Evolution de la végétation	29
2.3. L'érosion	29
2.4. Le ruissellement	31
2.5. Le drainage oblique	33
2.6. Les résultats analytiques	35
261. Température, pH, résistivité	40
262. Les bases	44
263. Les matières organiques, carbone et azote	51
264. Le phosphore	57
265. Le fer, l'alumine et la silice	59
266. Chlorure, sulfate, bicarbonate	63
2.7. Appauvrissement, lessivage et érosion en nappe	64
271. Lessivage oblique	65
272. Lessivage vertical	68
273. Erosion sélective en nappe	71
274. Conclusions sur les phénomènes d'appauvrissement	74

<u>CHAP. 3 - ESSAIS DE BILAN DES PERTES</u>	pages
3.1. Les pertes en terre	75
3.2. Essais de bilan hydrique	76
321. Méthode	76
322. Critique de la méthode	80
323. Résultats	83
3.3. Essai de bilan chimique	86
3.4. Les engrais	91
<u>CHAP. 4 - CONCLUSIONS GENERALES</u>	94
Remerciements	102
Annexes : I - Bibliographie	103
II - Tableaux	107

---

## RESUME

Au bas d'une parcelle de 204 m<sup>2</sup> et de 29 % de pente, un dispositif original simple a été mis en place sous une jeune plantation d'hévéa (défrichement et plantation en 1965) sur un sol ferrallitique sablo-argileux fortement désaturé. Ce dispositif vise l'étude de l'efficacité de la méthode antiérosive de plantation en terrasse isohy- se après léger brûlis de la forêt ainsi que de la pédogénèse ac- tuelle (appauvrissement, lessivage et lixiviation) sous climat sub- équatorial (pluie = 2.100 mm ; t° annuelle = 25,9°C et humidité = ± 85 %).

Les résultats des campagnes 1966 à 1969 montrent que l'érosion est de l'ordre de 200 kg/ha/an dont 20 à 60 % d'éléments fins en sus- pension, le ruissellement // 0,5 % et le drainage oblique // 0,4 %. Si l'érosion en nappe est faible elle est cependant pernicieuse car elle entraîne préférentiellement les particules fines et les matières organiques détruisant ainsi la capacité d'échange de bases et la re- tention en eau de l'horizon superficiel du sol. L'analyse d'une bonne centaine de pluviogrammes a permis d'établir deux courbes liant la hauteur de pluie unitaire à son érosivité (index R. de WISCHMEIER) l'une est linéaire et s'applique aux mois de juin-juillet-août, l'autre est curvilinéaire à tendance parabolique et peut s'étendre à tous les autres mois de l'année. La moyenne pour 10 années est de  $R = 990$  pieds tonnes par acre inch et par heure pour une pluviosité annuelle moyenne de 2096 mm : une courbe de ré- partition moyenne de l'érosivité climatique cumulée a été établie valable uniquement pour la région d'Abidjan.

Une estimation du bilan hydrique par décade et par mois a été tentée au départ de la formule  $\text{Pluie} = \text{Ruis.} + \text{Drain} + \text{ETR} + \text{var.}$  stock d'eau du sol où ETR a été définie comme la plus grande frac- tion de l'ETP compatible avec l'eau susceptible de s'évaporer (pluie - ruiss. + stock d'eau). On a trouvé que ETR est de l'ordre de 55 % ( $\pm 5$  %) de la pluviosité annuelle et donc le drainage d'environ 44 % .

La charge colloïdale moyenne des eaux de drainage baisse de 246 mgr/l en I<sub>1</sub> (horizon 0-30 cm) à 105 mgr/l en I<sub>2</sub> (30-60 cm) à 86 mgr/l en I<sub>3</sub> (60-100 cm) à 71 mgr/l en I<sub>4</sub> (100-150 cm) et il ne reste plus que 2 à 10 mgr/l à une source pérenne d'Adiopodoumé. L'érosion interne par lessivage oblique s'élève en moyenne à 5,6 kg/ha/an et il faudrait environ 120.000 ans pour obtenir l'appauvrissement constaté au sommet du profil.

Si on estime à 845 mm le drainage vertical il s'en suit une perte de 2,1 tonnes/ha/an d'argile enlevée au 1er horizon dont les 3/4 se déposeraient avant 1,5 m dans le profil. En partant d'un profil homogène avec 31,5 % d'argile il faut compter 300 ans pour arriver au profil appauvri actuel. Le drainage vertical est donc un agent pédogénétique puissant dans ce type de sol tant pour la lixiviation que pour le lessivage vertical. L'érosion sélective entraîne une perte annuelle de 27,22 kg/ha/an de particules fines (0-50 microns).

Des nombreux résultats d'analyse d'eau et de terre il ressort que l'érosion et le drainage oblique n'entraînent qu'une faible lixiviation des éléments fertilisants par rapport au drainage vertical.

	! Ca O !	! Mg O !	! K <sub>2</sub> O !	! Na <sub>2</sub> O "	! C !	! N !	! P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> !	! Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> !	! Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> !	! SiO <sub>2</sub> !
Erosion!	1,519!	0,611!	1,309!	0,315"	8,907 !	1,326!	0,402!	6,571!	11,973!	15,657!
Drainage oblique!	0,357!	0,419!	0,525!	0,158"	0,726 !	0,559!	0,047!	0,063 !	0,056'	0,271!
Drainage vertical!	44,109 !	67,347 !	76,219 !	19,604 !	124,131 !	78,923 !	6,845 !	10,309 !	8,873 !	44,194 !

Les bases et l'azote migreraient presque exclusivement en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage, le fer et l'alumine sous forme solide tandis que les autres figurent dans la charge solide mais surtout dans la charge soluble (et pseudo-soluble).

Les teneurs en silice des eaux sont 2 à 3 fois supérieures à celles du fer et de l'alumine réunis ce qui confirme le mode ferrallitique d'évolution actuel du sol.

SUMMARY

On a plot of 204 m<sup>2</sup> and 29 % slope, an original but simple equipment was built to study actual pedogenesis (erosion, leaching and clay impoverishment) under a young plantation of rubber tree on terraces in subequatorial conditions : rainfall = 2.100 mm ; annual t° = 25,9° Centigrades ; humidity = ± 85 %). The soil in the French classification of Mr. AUBERT is called strong desaturated ferrallitic soil on clay sand.

The data of 1966 to 1969 show that soil losses are about 200 kg/ha/year which 20 to 60 % are fine particles in suspension. The runoff and the oblique drainage are both equal to about 0,5 %. Sheet erosion is slight quantitatively but dangerous qualitatively because it brings out preferentially organic matter and fine particles destroying water retention capacity and basis exchange capacity.

The analysis of more than hundred rainrecords gave us two relations between the rainfall height and its erosivity (R index of WISCHLEIBER) : the first is rectilinear and valuable during the months of June-July and August since the second is curvilinear and is valuable during all the other months. The average R index for eleven years is about 990 foot-tons/acre.inch/hour and the curve of cumulated R index during the year was estimated for an average rainy year, curve valuable only for this area of Abidjan.

We tried to get an estimation (by decade) of water balance from the formula :

Rainfall = Runoff + drainage + actual - E - T ± soil humidity  
 where AET = actual evapotranspiration is defined as the most important part of potential evapo-transpiration (PET) which is available to evaporate (rainfall less runoff + soil humidity). We find that AET is about 55 % and therefore the vertical drainage is 44 % of annual rainfall.

The average pseudo-soluble charge (colloids) of drainage water is decreasing from 246 mg/l in the upper horizon to 105 mgr/l in the second (I<sub>2</sub>) to 86 mgr/l in the third, to 71 mgr/l in the last horizon (150 cm) but it remains only two to ten mgr/l of colloid in spring water. Internal erosion by oblique leaching is in average 5,6 kg/ha/an year and it must wait 120.000 years to get the impoverishment we can see on the top of the soil.

If vertical drainage is 845 mm, each year the first horizon loses 2,1 tons/ha of clay which the 3/4 would be deposited before 1,5 m of depth into the profile. If we start with a homogeneous profile with 31,5 % of clay we have to stay only 300 years to get the actual profile.

Selective erosion get off yearly about 27,22 kg/ha of fine particles (0-50 microns).

From numerous data of chemical composition of soil and water samples it appears that erosion and oblique drainage involve only slight lixiviation of fertilizing elements : 1,9 kg/ha/year of CaO ; 1 kg of MgO ; 1,8 kg of K<sub>2</sub>O ; 9,6 kg of carbone ; 1,9Kg of nitrogen ; 0,45 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 6,6 kg of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; 12 kg of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and 15,9 Kg of SiO<sub>2</sub>.

This is quite negligible in comparison with the lixiviation due to estimated vertical drainage : 44,1 kg/ha/year of CaO ; 67,3 kg of Mg O ; 76,2 kg of K<sub>2</sub>O ; 124,1 kg of Carbone ; 78,9 kg of nitrogen ; 6,8 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ; 10,3 kg of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; 8,9 kg of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ; 44,2 kg of SiO<sub>2</sub>.

Basis and nitrogen would almost exclusively be lixiviated in solution in runoff and drainage water ; iron and aluminium would stay solid while carbon and silicium would be lixiviated mostly in solution.

The silicium concentration of water is two or three times higher than these of iron and aluminium : this is normal in "ferralitic pedogenesis" area.

## INTRODUCTION

Un protocole d'accord signé en mars 1967 entre les Directeurs Généraux de l'I.R.C.A. et de l'O.R.S.T.O.M. prévoit l'exploitation d'une parcelle d'étude de l'érosion, du ruissellement et du lessivage oblique installée depuis novembre 1965 dans une jeune plantation d'hévéa à l'Anguédédou.

L'I.R.C.A. assure les manipulations sur le terrain et l'O.R.S.T.O.M. les analyses des échantillons et le regroupement des résultats. Un rapport rend compte du déroulement des opérations **durant** la campagne et des résultats obtenus. Les résultats analytiques sont regroupés dans un volume en trois exemplaires dont l'un est remis à l'IRCA.

Ce deuxième rapport fait le point des trois dernières campagnes. Les résultats acquis reflètent la première phase de la culture de l'hévéa depuis le défrichement de la forêt jusqu'à ce que le couvert des arbres soit assez dense pour concurrencer la couverture végétale des interlignes (recru forestier et *Flemingia* régulièrement rabattus).

Les buts poursuivis par cette étude sont :

- la mesure de l'érosion et du ruissellement sous une plantation d'hévéa aménagée en terrasse ;
- l'observation et la mesure qualitative et si possible quantitative du lessivage oblique à l'intérieur d'un sol ferrallitique fortement désaturé sur sable tertiaire ;
- un bilan hydrique approximatif ;
- une estimation des pertes d'éléments fertilisants par l'érosion, le ruissellement et le drainage ;
- des indications sur l'utilisation des engrais dans le milieu écologique étudié.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherches sur la pédogénèse actuelle des sols des régions tropicales sous végétation naturelle ou cultivée qui a commencé en 1964 et comprend des parcelles de mesure à Adiopodoumé, Anguédédou, Azaguié, Divo, Bouaké, Korhogo et Ouagadougou.

## CHAPITRE I - LE MILIEU ET LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Nous ne ferons que résumer ici les données climatiques développées dans notre précédent rapport (ROOSE, 1967) et nous ne noterons que les modifications apportées au dispositif expérimental.

### 1.1. Le Milieu

L'expérimentation a été installée dans une jeune plantation d'hévéa<sup>(1)</sup> aménagée en terrasse en courbe de niveau dans l'ancienne forêt classée de l'Anguédédou<sup>(2)</sup> située à une vingtaine de kilomètres au N.W. d'Abidjan.

111. Le climat de type subéquatorial à quatre saisons a été qualifié de guinéen-forestier par AUBREVILLE. Il est caractérisé par 1/ une pluviosité annuelle de l'ordre de 2100 mm répartie très irrégulièrement en deux saisons des pluies centrées sur juin (la plus importante) et octobre alternant avec 2 saisons sèches (voir Tableau 1)

2/ une température variant peu autour de la moyenne annuelle (26°C) (voir tableau 2 en annexe)

3/ une humidité relative oscillant entre 80 et 90 %.

L'évapotranspiration potentielle annuelle (ELDIN, 1969 : communication orale) s'élève à 1364 mm : elle dépasse la pluviosité durant 6 mois de l'année (voir figure 1).

112. Le sol est classé d'après la dernière classification française (AUBERT et SEGALIN, 1966) comme un sol ferrallitique fortement désaturé appauvri modal sur sable tertiaire faciès tronqué sur forte pente.

Il présente d'abord un mince horizon (10 cm) brun gris, humifère, riche en sable grossier et très meuble puis un horizon (10 à 110 cm) de pénétration de la matière organique, brun jaune, sablo-

---

(1) Plantation le 27 octobre 1965 à raison de 1250 pieds greffés à l'hectare ; la densité ramené à 625 a/ha en 1966 sera de 450/500 arbres/ha lors de la mise en saignée en 1971. (variété Tjir 1 illégitime).

(2) 5°25' latitude Nord ; 4°8' de longitude Ouest.

Fig. 1 Température, pluviosité et évapo-transpiration potentielle mensuelle  
 moyenne 1965 - 1969 de la région de l'ANGUEDEDOU.  
 = 1° et pluviosité (IFAC); E.T.P (ELDIN).

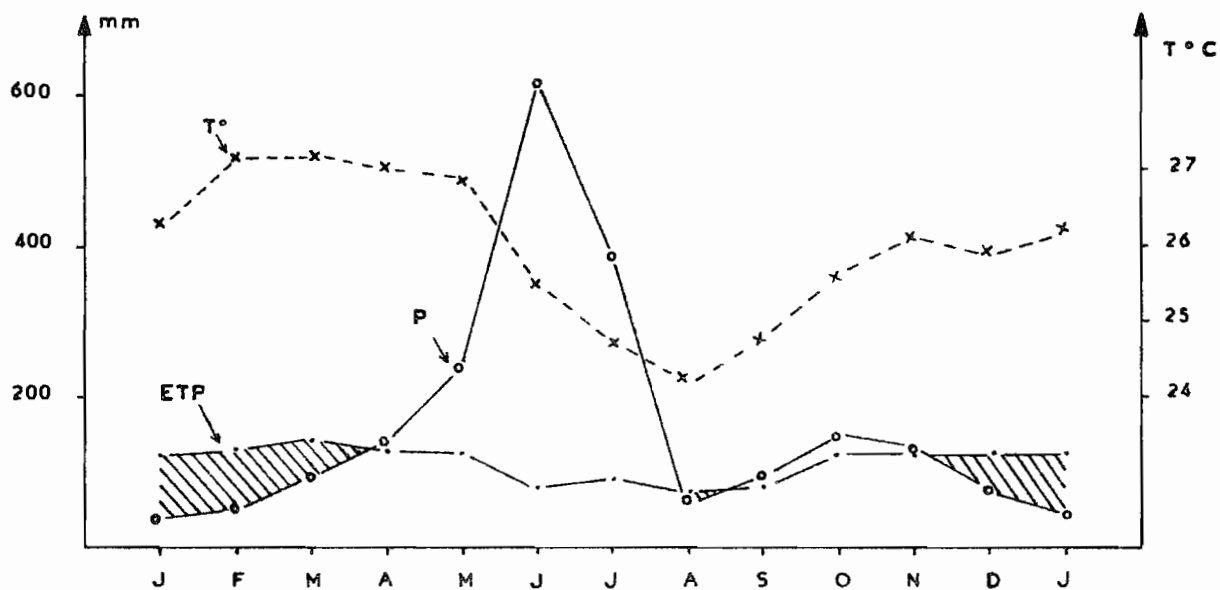


Fig. 2 Diagramme ombrothermique : ANGUEDEDOU  
 selon P. BIROT (Pluie = 4 x T°C)

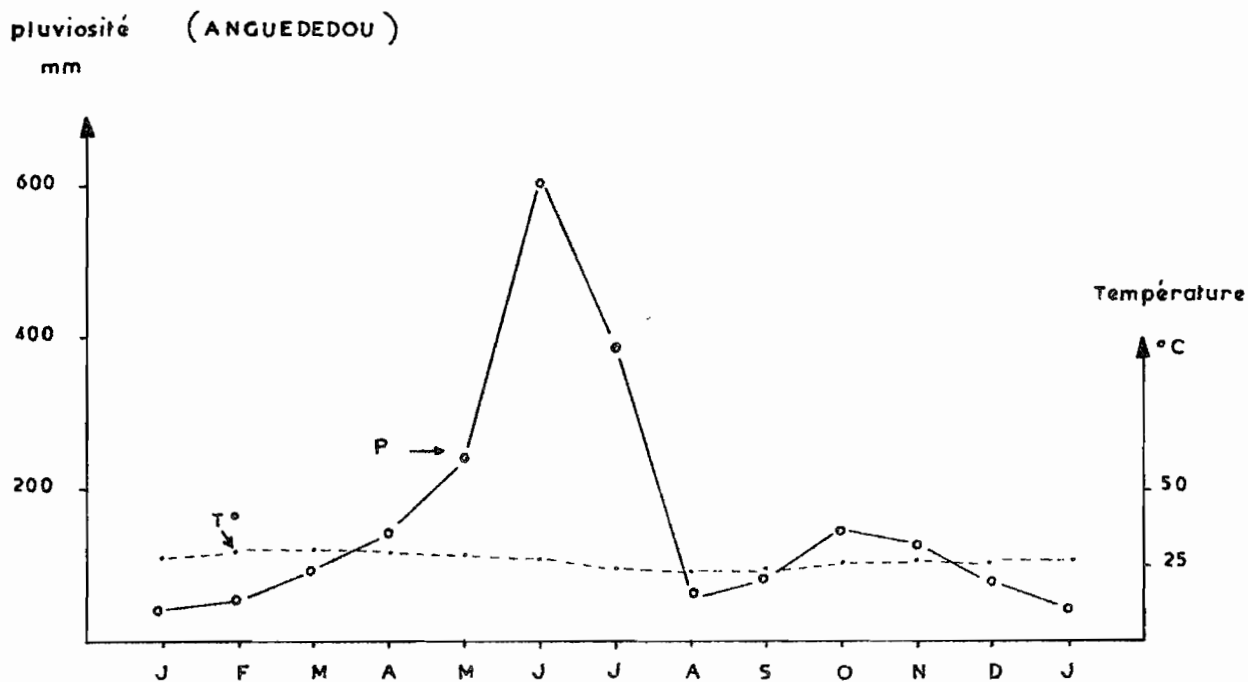


TABLEAU 1 - Résumé des données climatiques régionales.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	
t°	26,28	27,17	27,24	27,02	26,93	25,53	24,74	24,22	24,67	25,62	26,07	25,91	25,93	
pluie	48,2	53,8	93,8	144,8	241,3	617,6	391,6	62,2	85,9	149,3	129,4	78,3	2096,2	
ETP	(1)	103	110	139	151	136	89	73	71	88	113	109	101	1283
	(2)	125	128	146	130	128	85	92	77	87	122	122	122	1364

L'ETP est une moyenne des valeurs de 1965 à 1969 à Adiopodoumé obtenues à la bascule (1) ou par la formule de TURC (2).

argileux déjà beaucoup plus cohérent. **Vient** ensuite un horizon jaune (110-210 cm) avec des traînées rouges et des cailloux de grès ferruginisés ; il est argilo-sableux cohérent. Enfin un horizon épais de 70 cm plus compact et moins perméable doit permettre la formation d'une nappe très temporaire lors des pluies exceptionnelles.

Le pH est acide (voisin de 5,5) ; les teneurs en bases échangeables sont médiocres (S# 1 me % gr) et le degré de saturation inférieur à 15 % sauf dans les 15 premiers centimètres. Les teneurs en phosphore total (0,6 à 0,3 %) et en azote total (1,8 à 0,3 %) sont moyennes en surface à **médiocre vers 1,5 m (0,5 %)** on constate **une bonne activité de la microfaune.**

Ce sol se présente donc comme un excellent milieu physique de culture, poreux, homogène et profond mais pauvre chimiquement. Il est appauvri en argile sur 25 cm et lixivié en bases et en phosphore dans l'horizon de pénétration de la matière organique.

## 1.2. Le dispositif expérimental (voir fig. 3 et 4)

On a isolé par des plaques en éverite une parcelle de 34 mètres de long et 6 mètres de large sur une pente argilo-sableuse de 29 %. En aval de ce petit "bassin versant" un canal en béton protégé par du Flintkote recueille les terres érodées ainsi que les eaux de ruissellement et les dirige vers une première cuve de stockage ; les agrégats et les sables érodés se déposent dans un piège à sédiment (petit fût percé) tandis que les eaux de ruissellement chargées des sédiments plus fins sont stockées dans un fût de 200 litres.

Comme en 1966 et 1967 cette première cuve avait débordé plusieurs fois, nous l'avons remplacée par un partiteur de fortune constitué d'un fût de 200 litres percé à 10 cm de son sommet de 17 trous ronds d'égale dimension concrétisés par des bouts de tuyaux (long. = 7 cm) en fer galvanisé de 27 mm de diamètre intérieur et dont un seul débouche sur une seconde cuve de stockage de 200 litres. Grâce à ce partiteur simplifié nous sommes en mesure d'évaluer un ruissellement de 17 mm soit 10 % d'une pluie de 170 mm.

Fig. 3 Plantation des hêvéas en terrasses isohypses à L'ANGUEDOU

ANDAINS EN COURBES DE NIVEAU

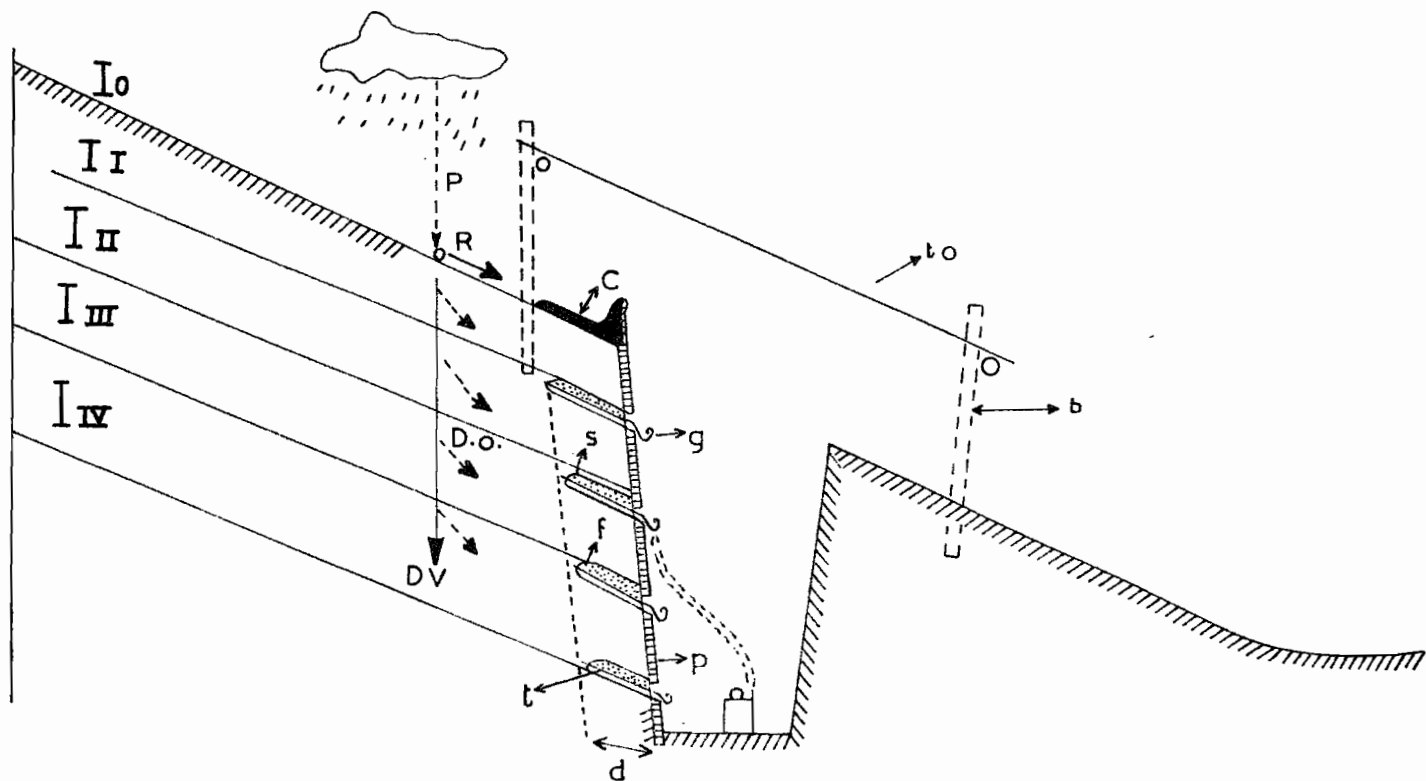
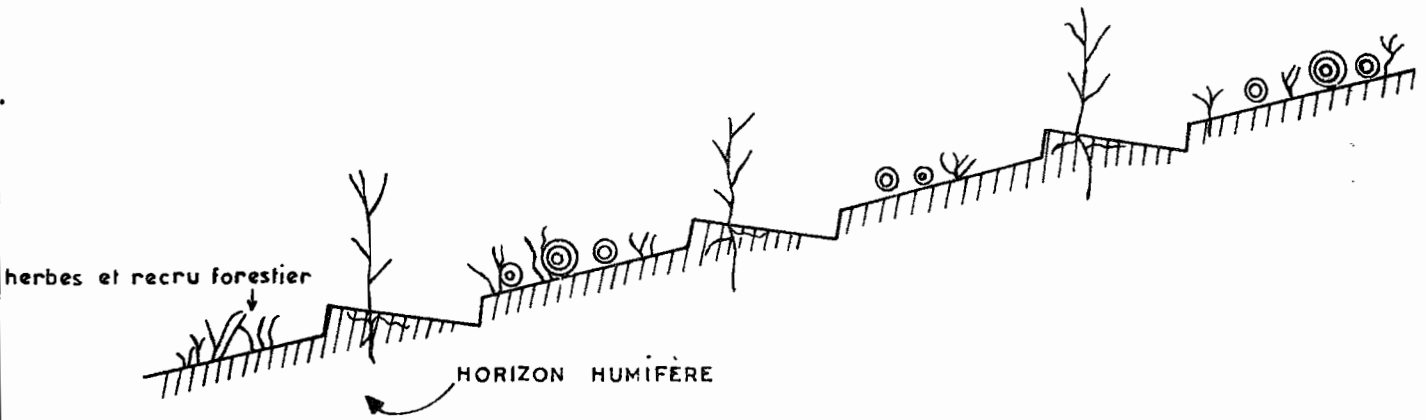


Fig. 4 Schéma des mouvements de l'eau de gravité et d'une case de lessivage oblique... P=pluie; R=ruissellement; DV=drainage vertical; Do= drainage oblique; I I, II, III, IV =horizons pédologiques; C=canal du ruissellement; g= gouttière; t=tôle; f=fente; s=sable lavé; d=tranche de sol protégée par le canal C et la tôle to; b= bâti qui soutient le toit to; p=planches de soutènement.

En fait, depuis qu'il a été installé en décembre 1967, les eaux de ruissellement n'ont jamais débordé dans le second fût. Les eaux qui circulent obliquement à l'intérieur du sol sont recueillies par quatre gouttières disposées dans des fentes creusées sous les limites inférieures des horizons pédologiques et stockées dans des jerrycans en plastique. Le canal de ruissellement et les deux fosses sont protégées des pluies par un toit de tôles.

Un canal à ciel ouvert draine les fosses de mesure de l'érosion et du lessivage oblique. Un pluviographe à augets basculants à mouvement hebdomadaire enregistre la hauteur et l'intensité des pluies. Depuis le 13 juin 1969 un mouvement journalier nous permet des mesures plus précises de l'intensité des pluies et de leur érosivité (indice R de WISCHMEIER).

## CHAPITRE II - LES RESULTATS EXPERIMENTAUX

### 2.1. Les précipitations atmosphériques.

#### 211. Hauteurs annuelles

Les précipitations atmosphériques enregistrées de 1967 à 1969 sur la parcelle ont été très nettement inférieures à la moyenne régionale (2100 mm) puisqu'elles n'ont atteint que 1400 mm, 1840, 1488 mm. Ceci nous a poussé à comparer nos mesures avec celles de la station IFAC de l'Anguédédou distante d'environ cinq kilomètres et située sur un plateau largement découvert.

TABLEAU 3 - Pluviosités annuelles à la parcelle et à la Station IFAC de l'Anguédédou.

	1966	1967	1968	1969
Pluviosité IFAC mm	1.786,9	1.748,2	2.234,0	1.818,4
Pluviosité parcelle mm	1.583,0	1.400,0	1.840,0	1.488,7
Pluie case/IFAC %	88,6	80,1	82,4	81,9

Le tableau 3 nous montre que le pluviographe de notre parcelle intercepte un peu plus de 80 % des précipitations annuelles recueillies dans la même région en situation de plateau. Il semble que cette proportion ait peu évolué malgré la croissance des hévéas dont la présence devait être négligeable de 1965 à 1967 mais beaucoup plus importante en 1969 époque à laquelle ils atteignirent 14 mètres de hauteur. Le pluviographe il est vrai a toujours été soigneusement placé dans une trouée voisine de la parcelle. Il semble donc que la faiblesse des précipitations soit due à des circonstances locales (topographie à flanc de coteau et présence d'un rideau de forêt à moins de 200 mètres) mais qu'elle reflète valablement la pluviosité reçue par la parcelle. Notons que c'est durant la grande saison des pluies et en particulier en mai-juin-juillet que les différences sont les plus marquées en faveur<sup>de</sup> la station IFAC (voir tableau 6).

## 212. Répartition des classes de hauteur durant l'année.

Le tableau 4 montre qu'il y a en moyenne 126,5 jours de pluie par an soit 1 jour pluvieux sur 2,88 ce qui est normal pour la région. C'est en décembre-janvier et février qu'on enregistre le moins de jours pluvieux (environ 6) : en juin il pleut régulièrement 20 jours tandis qu'il pleut une douzaine de jours durant les autres mois de l'année.

Sur 506 pluies mesurées en quatre ans, 66 % sont interceptées en totalité par la couverture végétale ( $h = 0$  à 10 mm), 26 % profitent pleinement à la végétation ( $h = 10$  à 40 mm) et à peine 8 % sont susceptibles d'entraîner une érosion importante ( $h = 40$  à 200 mm). On observe en moyenne 1 pluie par an qui dépasse 100 mm dont une tous les quatre ans supérieure à 150 mm. Ces dernières fréquences sont inférieures à celles que l'on trouve généralement dans la région. C'est donc surtout lors des plus grosses pluies qui tombent en juin-juillet que l'on constate une forte différence des hauteurs de pluie dans la région de l'Anguédédou en fonction des circonstances topographiques et aussi peut être de l'éloignement de la mer.

Comme l'ont constaté la plupart des auteurs c'est durant ces quelques grosses pluies qu'a lieu la part d'érosion la plus importante et tout essai de lutte antiérosive doit être calculé en fonction de ces quelques averses.

TABLEAU 4 - Répartition des classes de hauteur de pluie durant les mois de l'année.  
Parcelle I.R.C.A. de l'Anguédédou - 1966 à 1969.  
Nombre de jours pluvieux

Classes de aut. (mm)	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL
0-10	7 6 5 1	2 2 5 2	8 6 7 1	9 8 5 3	8 2 8 6	14 5 12 9	7 6 9 8	8 3 11 10	7 8 13 9	11 12 10 11	11 6 9 6	6 2 4 4	332
10-20	0 0 0 1	1 2 1 0	2 2 3 3	1 0 3 5	1 1 4 3	2 5 6 4	4 3 3 2	0 0 1 0	3 0 5 1	1 1 2 1	2 1 0 7	0 2 0 3	90
20-40	1 0 0 1	2 0 1 0	1 1 1 1	1 0 0 3	1 2 0 2	3 0 1 5	3 0 0 2	0 0 2 0	0 1 0 0	0 0 2 1	1 0 1 0	0 2 1 0	43
40-60	0 0 0 0	0 0 1 0	0 1 0 0	0 0 2 0	0 1 2 0	3 3 2 0	1 0 3 1	0 0 0 0	0 0 1 0	0 0 0 1	0 0 0 0	0 1 0 0	23
60-100	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 1	1 3 1 2	1 1 0 1	0 0 0 0	0 0 0 0	2 0 0 0	0 0 0 0	0 0 1 0	14
100-150	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 2 0 0	0 0 1 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	3
150-200	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	1 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	1
Total jours de pluies	22	19	35	40	42	83	57	35	48	55	44	26	506
Moyenne des jours pluie	5,5	4,8	8,8	10,0	10,5	20,8	14,2	8,7	12,0	13,8	11,0	6,5	126,5

Soit 1 jour pluvieux pour 2.88 jours

### 213. Répartition des intensités

Le tableau 5 nous donne la fréquence des classes d'intensité au cours de l'année pour les pluviogrammes exploitables dont nous disposons de 1966 à 1969 et dont nous n'avons dépouillé que les pluies de plus de 10 mm. Sur 36.054 minutes étudiées, il y en a moins de 1,3 % dont l'intensité de précipitation dépasse 60 mm/heure, moins de 1 % dont l'intensité dépasse 100 mm/heure. Par contre plus de 90 % du temps les intensités n'atteignent pas 20 mm/heure et n'entraînent aucun risque de ruissellement.

L'intensité instantanée peut monter pendant quelques minutes au-delà de 150 mm/heure (53 minutes en 4 ans) : elle aurait même atteint le record de 285 mm/heure. Des intensités de plus de 100 mm heure peuvent durer quinze minutes. Elles peuvent atteindre 60 à 90 mm/heure pendant trente minutes mais dépassent rarement 45 à 60 mm/heure pendant une heure. Une pluie "standart" de 60 mm durant une heure pourra donc servir de référence pour nos futurs essais au simulateur de pluie.



## 214. Erosivité du climat

Suite à l'étude statistique de plus de 10.000 résultats annuels de mesure de l'érosion sur parcelles aux USA, WISCHMEIER et SMITH (1958) ont sélectionné un indice "R" qui traduit le mieux l'agressivité du climat (moyenne sur 22 années) vis à vis du sol. L'érosivité climatique a été définie par ces auteurs comme étant la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires par leur intensité maximum durant trente minutes. En unités américaines il s'exprime en Foot tons/acre. inch/Hour et ses valeurs varient entre 150 et 850 aux USA.

L'énergie cinétique étant une fonction de l'intensité des pluies, il est possible de calculer l'indice R par pluie unitaire au départ d'un pluviogramme.

Après le dépouillement d'une bonne centaine d'enregistrements de pluies unitaires de plus de 10 mm (1966 à 1969) selon la méthode préconisée par le Centre Technique Forestier Tropical de Tananarive (1966) nous avons tenté d'établir la relation graphique existant entre la hauteur des pluies unitaires et leur indice d'érosivité (R) à l'Anguédédou : celle-ci est très lâche et se présente comme une gerbe de points collant à l'axe des ordonnées au niveau où  $h = \pm 10$  mm et s'élargissant à mesure que les hauteurs de pluie augmentent. En sélectionnant les points mois par mois, on s'est aperçu que l'on pouvait distinguer deux droites de regressions,

- l'une pour les mois de juin-juillet-août :

$$(1) y = 0,577 x - 5,766 \text{ avec } r = 0,889 \text{ très hautement significatif avec 50 degrés de liberté}$$

- l'autre pour l'ensemble des autres mois :

$$(2) y = 1,136 x - 13,349 \text{ avec } r = 0,892 \text{ très hautement significatif avec 50 degrés de liberté}$$

où  $y = R$  en unités américaines et  $x =$  hauteur de pluie unitaire. On remarque que l'indice R s'annule pour des hauteurs de pluies comprises entre 10 et 12 mm (il est donc justifié de négliger les pluies inférieures à 10 mm) et que la pente de la droite (1) correspondant aux pluies des mois de juin-juillet-août est nettement moins raide que celle des autres mois (2).

Janvier à mai  
 Juin et juillet  
 Août à octobre  
 Novembre et décembre

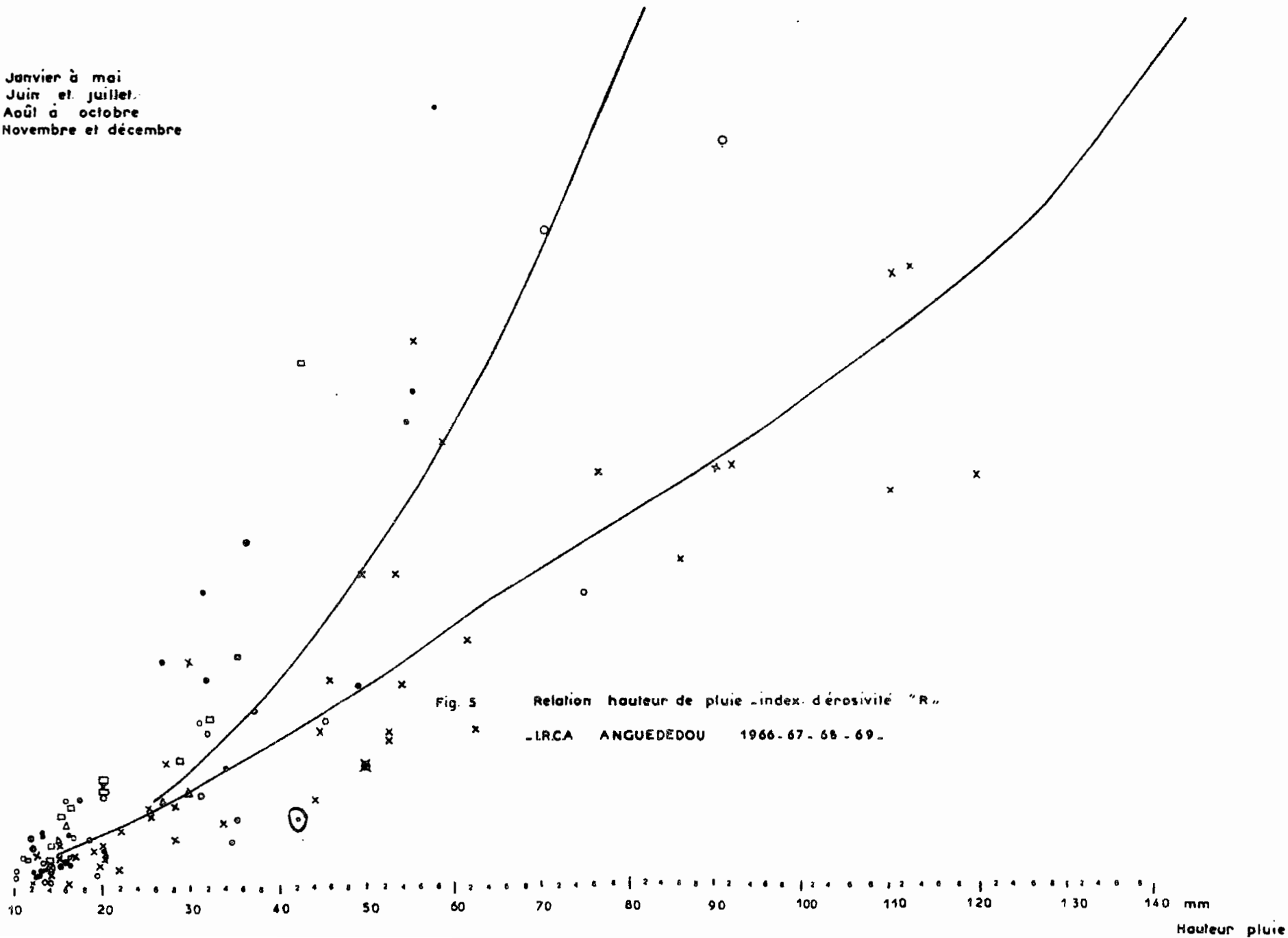
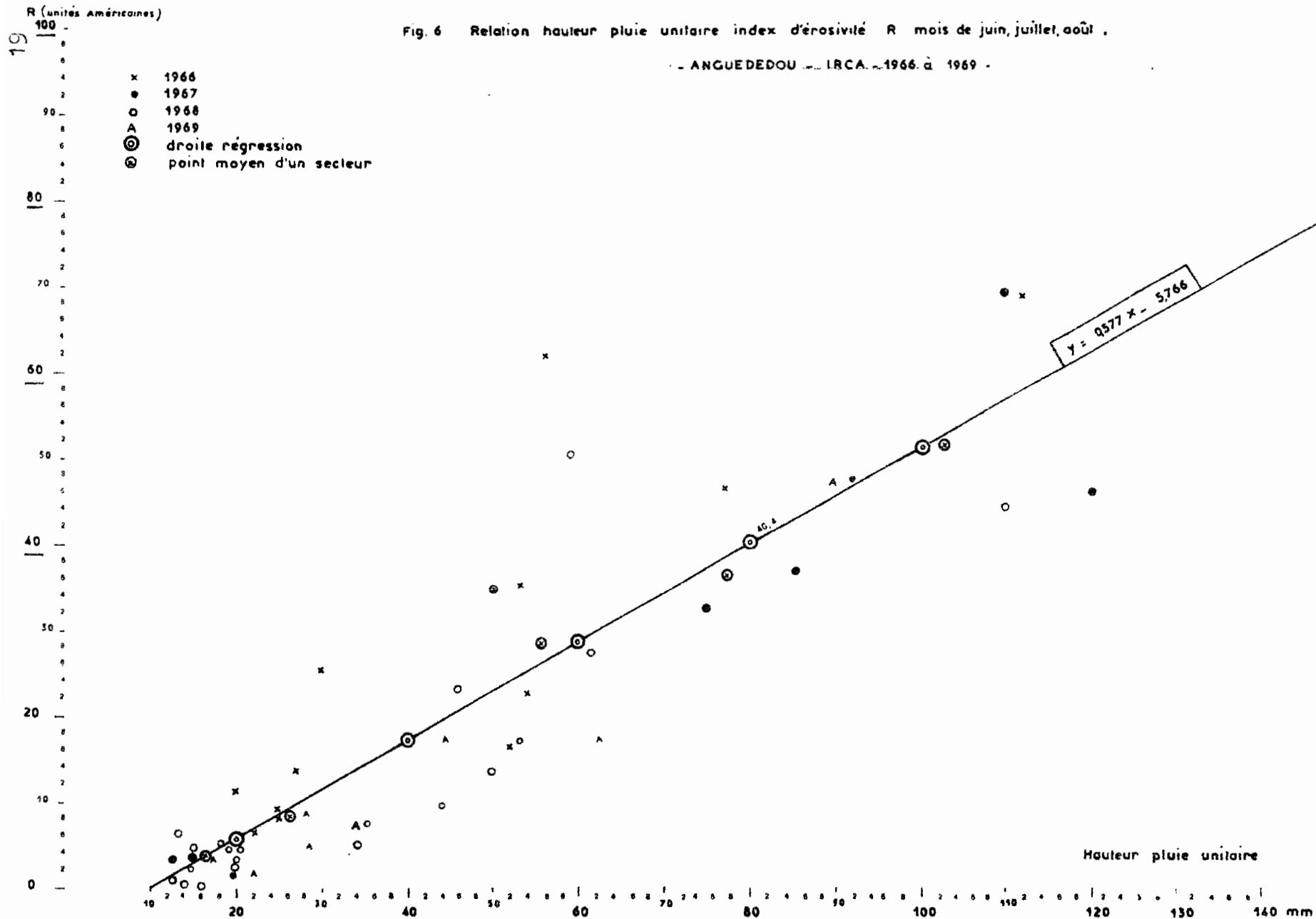


Fig. 6 Relation hauteur pluie unitaire index d'érosivité R mois de juin, juillet, août .

- ANGUEDEDOU - IRCA - 1966 à 1969 -



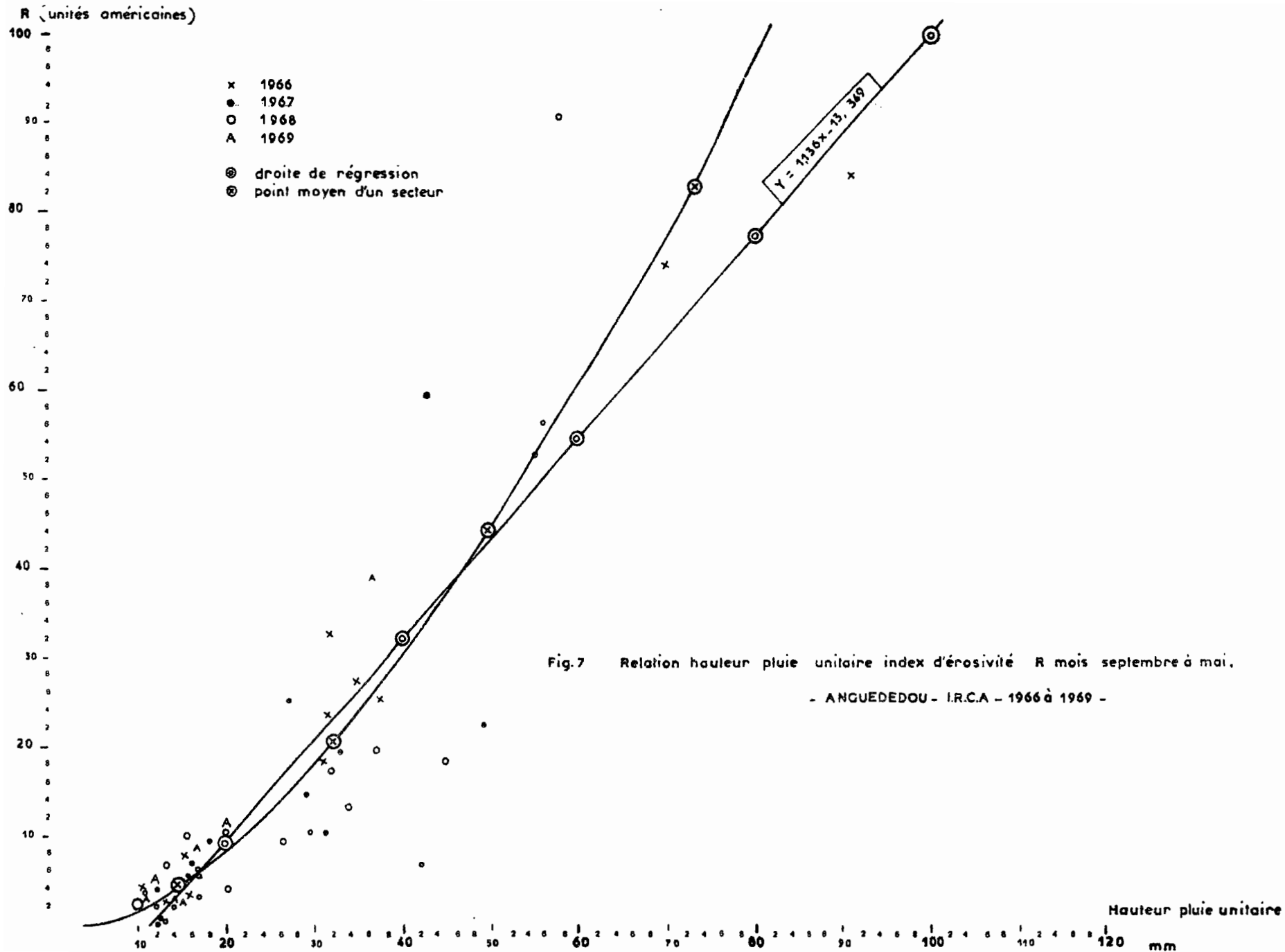


Fig.7 Relation hauteur pluie unitaire index d'érosivité R mois septembre à mai.

- ANGUEDEDOU - I.R.C.A - 1966 à 1969 -

De plus si on calcule les moyennes des valeurs par classe de hauteur de pluie on remarque que les points des mois de juin-juillet-août s'alignent autour de la droite de regression (voir fig. 6) tandis que les points moyens des classes de hauteur des autres mois prennent l'allure d'une parabole (voir fig. 7).

C'est aussi sous forme d'une parabole que sont apparues les relations entre l'indice "R" et la hauteur de pluie à Divo (ROOSE, 1969), à Séfa au Sénégal (communication orale de CHARREAU, 1969) et en Haute-Volta (communication orale de BIROT). Par ailleurs nous avons déjà noté qu'en basse Côte d'Ivoire les pluies en juin et juillet sont plus longues mais moins intenses que celles des autres mois, exception faite du mois d'août où il tombe rarement autre chose que du crachin (ROOSE, 1967).

On peut mettre ces différences d'énergie des pluies en relation avec la théorie des déplacements du front intertropical. Le passage sur une région d'une masse d'air dont la convergence est modérée correspond à des pluies abondantes mais relativement peu intenses (juin-juillet) tandis que des masses d'air à convergence forte entraînent des pluies généralement moins abondantes mais plus intenses (ELDIN, et coll., 1970).

Les valeurs annuelles de l'indice de l'érosivité obtenues sur la parcelle de l'IRCA en 1966-69 varient de 553 à 755 avec une moyenne de 562 pieds-tonnes/acre.pouce/heure. Elles se classent donc parmi les plus fortes valeurs obtenues aux USA mais sont nettement en-dessous des valeurs moyennes régionales. En effet, nous avons obtenu une moyenne de 990 pieds-tonnes/acre. pouce/heure en comptant toutes les pluies relevées au pluviomètre de la station IFAC de l'Anguédédou de 1959 à 1969 et en les transformant en unités de R suivant la droite de regression (1) pour les mois de juin-juillet-août et la parabole moyenne pour les autres mois. Or cette valeur moyenne de R est probablement sous-estimée puisqu'on ne disposait que des relevés pluviométriques météorologiques c'est-à-dire trois fois par jour et non des relevés des pluies unitaires (note 1).

---

Note 1 - Une pluie unitaire est une averse séparée de ses voisines par au moins 6 heures durant lesquelles il a plu moins d'un millimètre (WISCHMEIER, 1958)

Les relevés pluviométriques météorologiques se font à 8 h, 12 h et 18 h.

TABLEAU 6 - Pluviosité à la station IFAC de l'Anguédédou  
Moyennes mensuelles des années 1959 à 1969.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL
1959	7,7	11,3	107,1	148,7	485,6	617,6	489,1	53,9	112,9	126,7	257,4	27,5	2.445,5
1960	75,2	92,1	80,5	235,2	238,6	695,3	19,5	37,1	72,0	194,5	125,3	105,2	1.970,5
1961	100,0	16,9	67,1	142,5	210,4	572,3	606,0	15,9	104,0	70,1	121,0	59,4	2.085,6
1962	55,7	20,4	75,6	190,3	190,8	1155,7	487,8	76,7	5,9	349,1	197,2	76,7	2.881,9
1963	167,8	17,4	111,9	114,1	218,0	474,9	691,9	138,5	150,2	112,4	202,8	58,4	2.467,3
1964	30,5	87,1	53,8	88,1	292,2	561,3	31,4	25,8	58,0	8,3	63,3	167,0	1.466,8
1965	12,7	148,2	128,4	163,0	211,4	438,3	642,5	38,1	66,4	146,9	80,0	77,3	2.153,2
1966	37,1	46,3	105,0	58,4	191,9	398,5	473,1	30,5	83,9	221,4	104,7	36,1	1.786,9
1967	1,7	20,6	103,1	63,9	210,7	906,1	165,1	16,7	74,3	19,6	57,7	108,7	1.748,2
1968	23,4	128,8	113,2	163,3	202,8	377,2	459,3	240,7	183,0	156,5	74,5	111,3	2.234,0
1969	18,3	2,3	85,8	225,8	201,7	596,3	241,9	10,5	25,2	236,7	140,0	33,9	1.818,4
Moyenne	48,2	53,8	93,8	144,8	241,3	617,6	391,6	62,2	85,9	149,3	129,4	78,3	2.096,2
%	2,3	2,6	4,5	6,9	11,5	29,5	18,7	3,0	4,1	7,1	6,2	3,7	100
Moy. cum.	48,2	102,0	195,8	340,6	581,9	1199,5	1591,1	1653,3	1739,2	1888,5	2017,9	2096,2	
% cum.	2,3	4,9	9,3	16,2	27,8	57,2	75,9	78,9	83,0	90,1	96,3	100	

TABLEAU 7 - Estimation mensuelle de l'index d'érosivité du climat d'après les corrélations existant entre la hauteur de pluie unitaire et l'indice "R" de Wischmeier (en unités américaines) - Station IFAC de l'Anguédédou 1959 à 1969 -

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL
1959	0	0	50,0	102,5	436,5	266,9	205,1	12,0	27,5	24,3	125,7	4,0	1.254,5
1960	47,0	55,8	41,8	147,8	151,6	268,8	0	5,0	13,8	138,0	51,5	55,8	976,9
1961	75,0	0	17,8	65,5	135,0	222,1	277,3	0	41,2	30,5	31,3	14,8	910,5
1962	47,0	0	21,0	156,5	151,0	567,3	198,3	23,7	0	264,0	82,0	23,7	1.534,5
1963	127,0	0	71,3	60,0	152,0	194,3	293,5	41,7	84,0	29,8	113,8	8,0	1.175,4
1964	9,0	44,5	15,5	24,0	218,6	218,5	9,0	0	31,0	0	49,2	74,0	693,6
1965	0	120,0	56,5	110,0	134,0	159,1	299,2	0	8,2	66,8	17,0	37,2	1.008,0
1966	11,0	28,8	52,0	10,0	106,2	131,8	191,8	0	18,0	133,0	25,3	3,0	710,9
1967	0	3,0	39,0	7,0	158,0	412,9	52,0	0	36,0	0	6,8	55,5	770,2
1968	5,0	114,0	56,3	121,0	114,3	117,4	177,9	83,0	66,1	55,6	19,6	80,2	1.010,4
1969	1,8	0	32,5	123,8	147,5	276,5	93,0	0	3,0	129,3	39,3	7,0	853,7
Moyenne	29,3	33,3	41,2	84,4	173,2	257,8	163,4	15,0	29,9	79,2	51,0	33,0	990,7
%	3,0	3,4	4,2	8,5	17,5	26,0	16,5	1,5	3,0	8,0	5,1	3,3	
Moy. cum.	29,3	62,6	103,8	188,2	361,4	619,2	782,6	797,6	827,5	906,7	957,7	990,7	
% cum.	3,0	6,3	10,5	19,0	36,5	62,5	79,0	80,5	83,5	91,5	96,6	100	
% cum. pluies	1,4	2,98	4,95	8,96	17,22	29,51	37,33	38,04	39,47	43,25	45,68	47,26	

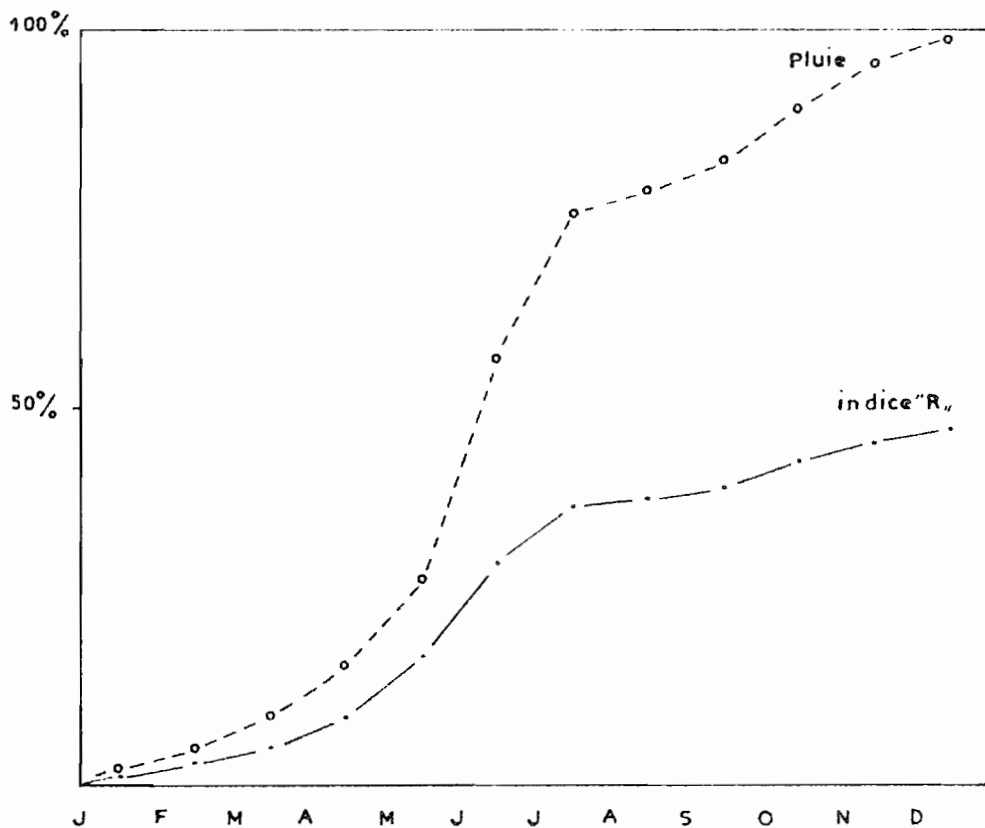
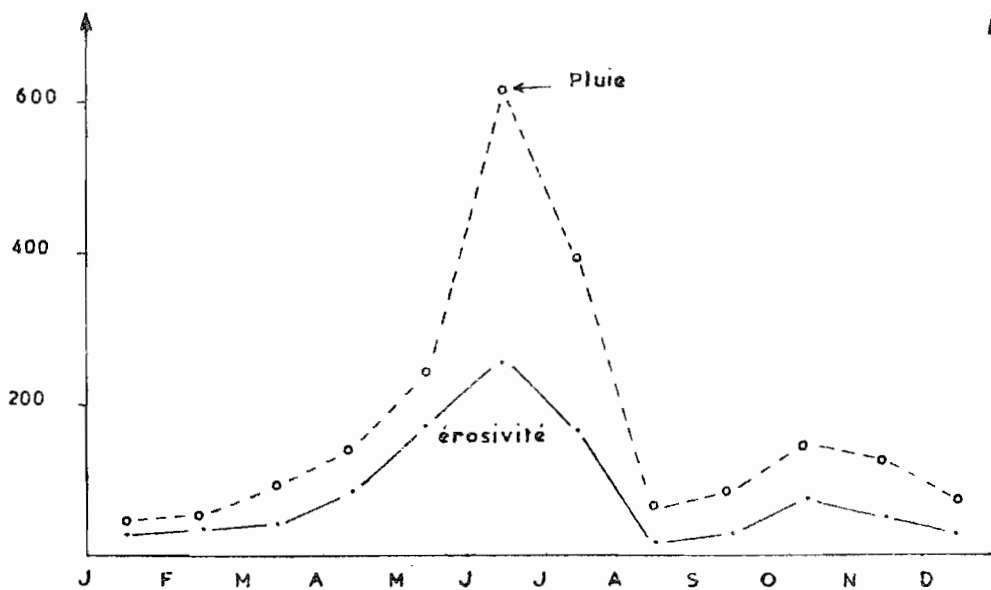


Fig. 8 Pourcentage Cumulé de la Pluviosité et de l'Erosivité par rapport à la pluie annuelle moyenne  
 - ANGUEDEDOU , 1959 - 69 -

Fig. 9 Répartition de la Pluviosité et de l'Erosivité au cours de l'année  
 - ANGUEDEDOU , moyenne 1959 - 69 -



La répartition de l'érosivité (voir fig. 8 et 9) au cours de l'année donne une idée des risques de pluies érosives à chaque période et peut servir de guide pour le choix de la date des pratiques culturales qui laissent le sol exposé à l'érosion (labour, semis, fauche, récolte).

Le tableau n° 7 montre que 60 % de l'érosivité annuelle surviennent en mai-juin-juillet. Il serait donc judicieux d'éviter de laisser le sol à découvert durant cette période sur des pentes très exposées.

#### 215. Déroulement des campagnes. (voir tableaux 8, 9, 10).

L'année 1967 fut particulièrement sèche dans la région puisqu'on y a enregistré un déficit de plus de 350 mm par rapport à la moyenne (2.095 mm à la station IFAC de l'Anguedédou). Cette sécheresse a encore été soulignée par la mauvaise répartition des pluies au cours de l'année.

Sur 1400 mm relevés à la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique 50 % sont tombés en juin.

Seuls les mois de mars, juin et décembre ont eu une pluviosité supérieure à la moyenne ; tous les autres mois furent déficitaires et en particulier avril-mai-juillet et octobre (déficit de plus de 100 mm)

Les 4 décades les plus humides eurent lieu en juin et début juillet où on a compté entre 125 et 288 mm par décade. Sur 101 jours pluvieux, 27 ont entraîné du ruissellement et seulement 12 du drainage oblique.

L'année 1968 par contre fut nettement plus humide que la moyenne régionale : la hauteur annuelle a atteint 2.234 mm à la station IFAC. De plus, la petite saison sèche du mois d'août - s'est complètement estompée.

Les 1.804,7 mm de pluie relevés à la parcelle ont été fort bien répartis tout au long de l'année : ce n'est qu'en janvier, mars et novembre que la pluviosité mensuelle est restée inférieure à 100 mm. Fait exceptionnel, c'est à peine si le rythme des précipitations s'est ralenti en août qui est généralement un des mois les plus secs.

TABLEAU 8 - Précipitations atmosphériques à la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique de l'Anguédédou (I.R.C.A.) 1967

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin.	Juil	août	Sept.	Oct	Nov.	Dec
1	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	-	-
2	-	-	-	-	-	6,5	75,1	-	-	0,5	-	12,5
3	-	17,6	-	-	0,5	40,1	5,5	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	5,0	14,0	-	-	1,5	16,0	-
5	-	-	12,5	8,0	12,5	-	14,0	-	0,5	4,0	3,0	3,0
6	-	-	0,5	2,0	-	-	12,0	-	0,5	-	-	-
7	-	-	-	-	-	65,0	4,0	-	-	3,5	-	-
8	-	-	27,0	-	-	-	-	-	-	9,5	8,0	-
9	-	-	-	-	-	12,5	-	-	-	-	-	-
10	-	-	6,5	4,0	-	50,1	-	-	-	2,0	-	5,0
	0,5	17,6	46,5	14,0	13,0	179,2	124,6	0	1,0	27,0	27,0	20,5
11	-	-	-	-	-	15,0	-	-	-	-	-	15,0
12	-	-	-	-	-	0	-	-	30,9	0,5	2,0	-
13	-	12,5	-	-	20,1	1,0	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	85,0	2,0	-	-	-	-	-
15	4,0	-	-	-	-	92,0	-	-	-	-	-	-
16	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-
17	-	-	-	-	22,6	19,5	6,5	-	1,0	-	-	-
18	-	1,0	12,5	3,7	-	2,0	-	-	6,5	-	-	-
19	0,5	-	4,5	-	-	15,0	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	1,0	-	32,5
	7,5	13,5	16,0	3,7	42,7	229,5	2,5	0	42,4	2,5	2,0	47,5
21	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	7,0	29,0
22	0,5	4,0	-	5,5	1,5	-	-	-	1,0	3,0	7,5	-
23	-	-	6,5	5,0	-	-	-	1,0	6,5	-	-	-
24	-	-	-	-	-	11,5	0,5	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	110,0	2,5	-	-	-	1,0	-
26	0,5	-	4,5	1,0	-	43,8	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	120,0	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	-	42,5
29	-	-	49,0	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	0,5	-	45,0	2,5	-	0,5	-	12,0	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-
	1,0	4,0	60,5	12,5	46,5	287,8	3,0	2,0	9,5	17,0	15,5	71,5
TOTAUX	9,0	35,1	111,5	30,2	102,2	696,5	130,1	2,0	52,9	46,5	44,5	139,5
%	0,6	2,5	8,0	2,2	7,3	49,8	9,3	0,1	3,8	3,3	3,2	10,0

Total pluviosité 1967 1400,0 mm 100 %  
 pluviosité 1967 érosive 1085,5 mm 77,5 %  
 pluviosité 1967 drainante 768,8 mm 54,9 %

\* Les pluies Soulignées une fois sont celles qui ont donné lieu à du ruissellement. Celles qui ont donné lieu à du drainage oblique et à du ruissellement sont soulignées deux fois

TABLEAU 9 - Pluviosité à la parcelle de mesure de l'érosion  
et du drainage oblique de l'Anguédédou (IRCA).

1968

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1	-	-	-	-	-	1,0	-	0,5	<u>20,0</u>	-	1,5	-
2	7,0	0,5	-	-	-	-	<u>10,0</u>	-	-	-	2,0	-
3	-	1,5	-	-	-	<u>13,0</u>	<u>12,5</u>	-	3,0	<u>37,0</u>	-	-
4	-	-	-	-	<u>10,1</u>	<u>3,0</u>	-	-	1,0	-	9,5	-
5	-	<u>25,0</u>	2,0	5,0	-	1,0	<u>19,5</u>	-	1,0	-	-	1,5
6	0,5	-	-	16,5	3,0	0,5	<u>3,0</u>	-	<u>10,5</u>	1,0	-	-
7	-	-	0,5	-	-	-	-	0,5	2,5	2,0	-	<u>26,5</u>
8	0,5	9,0	-	6,0	-	<u>50,0</u>	0,5	<u>18,5</u>	1,5	<u>10,0</u>	2,5	-
9	-	-	-	-	-	-	<u>110,1</u>	8,5	-	-	<u>10,0</u>	-
10	-	-	-	-	-	5,0	<u>2,0</u>	-	1,0	-	<u>10,0</u>	-
	8,0	36,0	2,5	27,5	13,1	73,5	157,6	28,0	40,5	50,0	35,5	28,0
11	-	2,0	-	<u>16,5</u>	1,5	0,5	-	3,0	-	-	-	0,5
12	-	-	-	-	<u>7,0</u>	-	-	5,5	-	<u>13,0</u>	-	<u>8,5</u>
13	6,5	-	-	-	-	7,0	<u>46,0</u>	<u>34,5</u>	0,5	-	-	-
14	-	-	-	<u>58,5</u>	-	<u>7,5</u>	<u>20,0</u>	-	7,5	-	-	0,5
15	-	-	-	-	<u>8,0</u>	-	1,0	3,0	<u>45,0</u>	-	-	-
16	-	-	-	-	-	<u>15,0</u>	-	4,0	-	9,0	-	-
17	-	-	13,5	-	5,0	<u>5,0</u>	2,5	2,0	<u>16,5</u>	2,0	-	-
18	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	3,0	-
19	-	<u>55,0</u>	-	-	<u>5,0</u>	<u>19,0</u>	0,5	-	-	-	-	-
20	-	1,5	0,5	-	<u>55,5</u>	-	<u>59,0</u>	9,0	10,0	<u>15,5</u>	<u>29,5</u>	-
	7,0	58,5	14,0	75,0	82,0	54,0	189,0	61,0	79,5	40,0	32,5	9,5
21	-	-	<u>34,0</u>	0,5	4,5	-	-	-	<u>11,0</u>	3,0	-	-
22	-	<u>10,0</u>	-	2,5	-	3,0	-	-	-	6,0	-	-
23	-	-	-	<u>60,0</u>	0,5	<u>52,5</u>	-	-	-	<u>8,5</u>	-	-
24	-	-	2,0	-	<u>42,0</u>	<u>61,5</u>	8,0	<u>35,0</u>	0,5	-	-	-
25	-	-	-	-	-	4,0	-	-	1,5	-	-	-
26	-	-	-	3,0	<u>12,0</u>	<u>15,0</u>	-	-	0,5	-	7,5	-
27	-	-	2,0	13,5	-	<u>20,5</u>	-	2,5	<u>14,0</u>	1,0	2,0	-
28	-	-	3,5	-	-	0,5	2,0	0,5	-	-	-	-
29	-	-	-	-	<u>20,0</u>	<u>14,5</u>	-	-	-	-	-	-
30	-	-	0,5	-	<u>13,0</u>	<u>16,0</u>	<u>44,0</u>	-	5,0	<u>32,0</u>	-	<u>67,0</u>
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0	10,0	42,0	79,5	92,0	187,5	54,0	38,0	32,5	50,5	9,5	67,0
Total	15,0	104,5	58,5	182,0	187,1	315,0	340,6	127,0	152,5	140,5	77,5	104,5
%	0,8	5,8	3,2	10,1	10,4	17,5	18,9	7,0	8,5	7,8	4,3	5,8

Total pluviosité 1968

1.804,7

100 %

" " érosive

1.528,2

84,7 %

" " drainante

1.201,6

66,6 %

TABLEAU 10 - Pluviosité à la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique de l'Anguédedou (IRCA).  
- 1969 -

	Janv.	Fév.	Mars.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1	-	-	-	-	-	2,5	4,5	-	-	-	3,5	-
2	-	-	-	14,0	-	5,0	0,5	1,0	-	-	-	17,5
3	-	-	-	-	-	0,5	5,5	-	0,5	-	10,0	5,0
4	-	-	-	8,6	-	-	47,0	2,0	-	-	-	-
5	-	-	12,6	-	4,3	7,6	28,0	-	-	-	20,0	-
6	-	-	-	-	-	13,5	4,0	-	0,5	10,0	-	-
7	2,0	-	-	-	3,0	72,0	-	2,0	-	-	1,0	-
8	-	-	18,8	21,9	-	24,0	-	-	0,5	-	2,5	14,5
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	22,5	4,5	7,5
10	-	-	-	-	1,8	21,4	28,5	-	3,5	-	12,5	-
Total	2,0	0	31,4	44,5	9,1	146,5	118,0	5,0	6,0	32,5	54,0	44,5
11	-	-	-	-	-	6,2	89,5	-	-	-	12,0	-
12	-	-	-	-	-	-	13,5	-	-	-	14,0	-
13	-	6,0	-	17,0	11,5	3,0	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	15,2	-	33,5	-	-	4,5	0,5	16,0	-
15	-	-	0,5	18,3	-	10,5	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	29,0	17,0	-	2,0	-	-	16,5	20,0
17	-	-	-	-	-	4,0	-	-	-	4,0	8,5	-
18	-	-	-	14,2	-	63,5	14,0	0,5	-	15,0	-	-
19	-	-	-	24,7	16,5	22,0	1,0	-	2,0	4,0	-	0,5
20	-	-	-	7,3	23,6	7,0	6,5	0,5	-	1,0	-	-
Total	0	6,0	0,5	96,7	80,6	166,7	124,5	3,0	6,5	24,5	67,0	20,5
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,5
22	-	-	-	-	-	15,1	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	32,6	-	0,5	0,5	45,0	-	-
24	-	-	-	-	4,0	-	1,5	1,0	15,0	5,0	-	-
25	-	4,0	-	-	14,9	-	1,5	-	-	-	-	-
26	-	-	-	6,5	61,6	-	-	0,5	-	-	-	-
27	36,5	-	32,0	-	5,1	-	-	-	-	-	17,5	-
28	-	-	-	29,2	-	-	-	-	-	2,0	-	-
29	-	-	-	-	5,7	6,5	-	4,0	2,5	5,0	-	-
30	12,0	-	20,0	-	-	-	-	-	-	3,5	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	-	-
Total	48,5	4,0	52,0	35,7	91,3	54,2	3,0	6,0	18,0	69,0	17,5	0,5
Total	50,5	10,0	83,9	176,9	178,0	367,4	245,5	14,0	30,5	126,0	138,5	65,5
%	3,39	0,70	5,64	11,90	11,97	24,71	16,51	0,94	2,05	8,47	9,31	4,40

Total annuel des 121 jours de pluie en 1969 = 1486,7 m 100 %  
 Total des 35 pluies érosives en 1969 = 857,1 58 %  
 Total des 21 pluies drainantes = 653,6 44 %

Panne pluviographe le 29/3/69 13/6/69

Par contre les mois généralement les plus pluvieux mai-juillet et surtout juin ont connu un déficit important par rapport à la moyenne (voir tableau 9) : ceci explique que le ruissellement et l'érosion n'ont pas été beaucoup plus importants en 1968 qu'en 1967. Les trois décades les plus humides eurent lieu du 20 juin au 20 juillet : 129 à 187 mm par décade. A part janvier, tous les mois ont reçu au moins une grosse averse ayant donné lieu à du drainage oblique.

Sur 147 jours pluvieux, 57 ont entraîné du ruissellement et 33 du drainage oblique.

L'année 1969 fut relativement sèche pour la région : on a relevé 1818,4 mm à la station IFAC soit un déficit de l'ordre de 275 mm par rapport à la moyenne. La répartition a été normale avec 4 saisons bien marquées.

Plus de 65 % des 1488,7 mm enregistrés sur la parcelle sont tombés en quatre mois (avril à juillet) et cependant mai-juillet et surtout juin sont largement déficitaires par rapport à la moyenne. Notons que c'est durant ces mois que l'on observe les plus fortes différences d'avec la pluviosité de la station IFAC. Neuf mois sont déficitaires tandis que janvier, avril et novembre dépassent à peine la moyenne mensuelle régionale.

Les quatre décades les plus humides (118 à 166 mm/décade) eurent lieu début juin et début juillet mais suivirent des décades assez sèches.

Il y eut 121 jours de pluie dont 35 donnèrent lieu à du ruissellement et 21 jours à du drainage.

Depuis le début des essais, 3 années sur quatre furent largement déficitaires par rapport à la moyenne régionale : leur moyenne (1897 mm) est nettement inférieure à celles des années 1959-1969 (2.096 mm). De plus la pluviosité relevée à la parcelle sur flanc de coteau n'atteint qu'un peu plus de 80 % de la pluviosité régionale.

## 2.2. Evolution de la végétation

A la fin de l'année 1965, le sol était déjà bien recouvert par le recru forestier et les débris végétaux délaissés par les feux et andainés entre les lignes de plantation. Au début de 1966, le recouvrement total est assuré par le recru forestier, des composées et diverses plantes rudérales. A la fin de 1966 on peut noter un envahissement par des graminées et diverses espèces nouvelles.

### Relevé effectué par l'I.R.C.A.

Espèce dominante : Paspalum conjugatum

Espèces fréquentes : Digitaria velutina

Paspalum scrobiculatum

Solanum torvum

Erigeron floribundus

Cyathula prostrata

Espèces rares : Flemingia congesta et latifolia

Centrosema pubescens.

En janvier 1970, là où les hévéas ont bien poussé on assiste à une régression des graminées en faveur du Flemingia et du Centrosema. Par contre, près des lignes de plantation où il manque un certain nombre de pieds, l'éclaircissement n'a pas encore considérablement diminué si bien que les graminées (Paspalum conjugatum en particulier) dominent encore la strate herbacée.

## 2.3. L'érosion (voir tableau 11)

La moyenne annuelle, des pertes totales en terre mesurées de 1966 à 1969 s'élève à 197 kg/ha/an, érosion négligeable et du même ordre de grandeur que celle qui a été mesurée à Adiopodoumé sous couverture forestière sur une pente semblable (28 %). Le système de plantation en terrasses isohypses avec interlignes en recru forestier s'est donc montré parfaitement efficace.

Il faut cependant noter d'importantes variations d'une année à l'autre (60 à 330 kg/ha), variations indépendantes des précipitations mais à mettre en relation d'une part avec le développement de la couverture végétale et d'autre part avec les limites de la technique de mesure.

En effet l'érosion a dépassé 300 kg/ha.an en 1966, première année de plantation ainsi qu'en 1969 où un effort particulier a été fait pour dégager les bordures de la parcelle.

Celles-ci avaient été envahies par les herbes les deux autres années. C'est pour les mêmes raisons que les effets de bordure se sont le plus manifestés en 1966 et 1969 d'où des transports en terre grossière (sédiments de fond de cuve et de canal) 5 à 10 fois plus élevés qu'en 1967-1968. Il est donc vraisemblable qu'en plein champ les pertes en terre soient encore plus restreintes.

Les pertes de terre fine en suspension par contre ont été extrêmement réduites (moins de 30 % de l'érosion totale) à cause du faible ruissellement mais aussi de la turbidité (Note 2) modérée (0,648 gr/l) des eaux ruisselantes. Ce n'est qu'en 1969, sous l'effet du dégagement des bordures exécuté au début de la saison des pluies, que <sup>la</sup> turbidité a atteint des valeurs relativement fortes (1,3 mgr/l).

Si on étudie la répartition des dangers d'érosion au cours de l'année, on voit qu'ils sont maximum en juin, souvent importants en mai et juillet avec une certaine recrudescence en octobre ou novembre mais de moindre importance. Il faut donc éviter de laisser le sol à nu durant les périodes les plus pluvieuses surtout du 15 mai au 15 juillet.

Rappelons que c'est ce qui ressort également de la figure 9 où sont mis en parallèle la pluviosité et l'indice d'érosivité "R" durant l'année.

---

Note 2 - La turbidité est la quantité de matière en suspension dans les eaux de ruissellement exprimée en gramme par litre ou en kg. par mètre cube.

## 2.4. Le ruissellement

Dans l'ensemble d'un bilan hydrique d'une parcelle sous forêt, le ruissellement n'intervient généralement que pour une part négligeable quelque soit la pente. Il en a été de même sous la jeune plantation d'hévéa de l'IRCA où le coefficient de ruissellement moyen pour les quatre premières années où les interlignes sont bien couvertes par le recru forestier et les herbes adventices n'a guère dépassé 0,5 % des précipitations annuelles enregistrées sur la parcelle.

Cela signifie qu'un excédent de pluie de 5 à 15 mm/an (par rapport à l'infiltration) a quitté la parcelle à flanc de coteau : la capacité d'absorption et d'infiltration de l'ensemble de la parcelle (terrasse isohypse + interligne recouvert de végétation) est donc remarquable.

La lame d'eau ruisselée a varié de 5,4 mm en 1968 à 13,8 mm en 1966. Cette variation ne s'explique pas par le montant annuel des précipitations puisque 1968 fut l'année la plus pluvieuse, mais bien par la densité du couvert végétal. Le coefficient moyen pondéré de ruissellement par pluie unitaire varie de 0,4 à 1,2 %.

Les coefficients maxima de ruissellement observés chaque année sont de l'ordre de 2 % d'une pluie unitaire : exceptionnellement il peut atteindre 3 à 4 %. Ces ruissellements relativement forts sont tous intervenus lors d'une pluie intense tombant sur un sol gorgé d'eau en juin ou juillet. Quelques petites pluies de forte intensité tombant sur la surface du sol desséchée au début de la saison des pluies peuvent aussi donner des coefficients de ruissellement de l'ordre de 2-3 % : leur importance est négligeable dans l'ensemble du ruissellement annuel. Estompés sous l'effet de la couverture végétale très dense qui recouvre les interlignes, ces forts coefficients risquent de réapparaître lorsque le dôme des hévéas se fera dense au point de réduire l'expansion du tapis herbacé dans les interlignes : cependant les dangers de ruissellement ne sont pas graves à cette époque mais bien plutôt en pleine saison des pluies (juin-juillet).

TABLEAU 11 - Résumé des campagnes 1966 à 1969 de mesure de l'érosion du ruissellement et du drainage oblique sous une jenne plantation d'hévéa en terrasses isohypses - IRCA à l'Anguédédou.

	1966	1967	1968	1969	TOTAL	Moyenne
Pluviosité au pluviomètre IFAC à l'Anguédédou (mm)	1.786,9	1.748,2	2.234,0	1.818,4	7.587,5	1.896,9
Pluviosité à la parcelle (mm)	1.583,0	1.400,0	1.804,7	1.488,7	6.276,4	1.569,1
Pluies érosives à la parcelle (mm)	1.184,0	1.085,5	1.528,2	857,1	4.654,8	1.163,7
Pluies donnant lieu à du drainage oblique (mm)	764,0	768,8	1.201,6	653,6	3.388,0	847,0
Index d'érosivité "R" en unités américaines sur parcelle	755	592	749	553	2.649	662
" " " " " sur régional.	711	770	1.010	854	3.345	836
Ruissellement annuel total (coeff. 4902) (mm)	13,76	6,75	5,36	7,60	33,47	8,36
Coefficient de ruissellement du bilan annuel - parcelle (%)	0,88	0,48	0,30	0,51	-	0,53
Coefficient de " " " " " moyen des pluies - érosives (%)	1,16	0,62	0,35	0,89	-	0,72
Coefficient de " " " " " max.pluie unitaire (%)	4,60	1,89	2,10	2,26	max.	2 à 4 %
Turbidité moyenne pondérée (gr./litre)	0,405	0,376	0,668	1,318	-	0,648
Suspension (S) (kg./ha)	55,7	25,4	35,8	100,2	217,1	54,3
Terre de fond (T) (kg./ha)	270,4	53,4	22,2	229,2	575,2	143,8
Erosion totale (E = S + T) (kg./ha)	326,1	78,8	58,0	329,4	792,3	197,1
Rapport S/E (%)	17	32	62	33	-	28
Drainage oblique sur 2 mètres de front.						
de 0 à 30 cm litres	10,8	1,6	104,3	56,2	172,9	43,2
de 30 à 60 cm litres	26,8	93,8	149,2	87,0	356,8	89,2
de 60 à 100 cm litres	48,7	120,9	69,6	157,0	396,2	99,0
de 100 à 150 cm litres	51,8	190,4	119,5	70,7	432,4	108,1
Total sur 150 cm litres	138,1	406,7	442,6	370,9	1358,3	339,5
Drainage oblique réduit à l'ha (coeff. 147,06) mm	2,03	5,98	6,51	5,45	19,97	4,99
Coeff. de drainage oblique sur 150 cm. du bilan annuel parcelle %	0,13	0,43	0,36	0,366	-	0,32
" " " " " des pluies drainantes %	0,27	0,78	0,54	0,83	-	0,59
" " " " " max.par pluie unitaire %	0,94	1,45	2,25	3,59	max. de	1,5 à 4%

L'efficacité de ce type d'aménagement semble une fois de plus excellente durant les quatre premières années de plantation puisque même sur forte pente il maintient sur place la majeure partie des eaux de pluie tout en permettant l'évacuation des excédents d'eau sans entraîner trop de déplacement de terre.

Cependant dès que la couverture végétale des interlignes est plus légère, le ruissellement et la charge solide augmentent significativement (tout en restant faibles). On peut donc se demander si ce système sera suffisant lorsque la densité du feuillage des hévéas sera telle qu'elle entraînera une diminution importante de la couverture végétale vivante des interlignes.

## 2.5. Le drainage oblique (voir tableau 11)

Rappelons que si l'on peut aisément délimiter une parcelle pour y mesurer le ruissellement, cela s'avère impossible pour le drainage oblique sans changer le phénomène naturel. Cependant la parcelle étant située non loin du sommet d'une pente homogène on approche des valeurs réelles en diminuant les principales sources d'erreur.

De 1967 à 1969 nous avons recueilli de 370 à 442 litres par an sur l'ensemble des 4 horizons étudiés : cela correspond à une lame de 5,5 à 6,5 mm d'eau soit un coefficient de drainage oblique sur une tranche de sol de 1,5 m d'épaisseur variant de 0,36 à 0,43 % du bilan annuel. Le drainage oblique n'est donc pas très spectaculaire dans les sols des sables tertiaires tant sous forêt naturelle (Adiopodoumé) que sous plantation d'hévea en terrasse isohypse. Cependant il est du même ordre de grandeur que le ruissellement tant pour le bilan annuel que pour les coefficients maxima.

Notons enfin que, malgré l'installation de fûts de 60 litres en 1967 nous ne sommes pas encore parvenu à récolter la totalité des écoulements obliques surtout vers 1 mètre et 1,50 m. Or c'est au cours de quelques pluies importantes de juin et juillet lorsque le sol est très humide qu'arrive la plus grande partie des écoulements. C'est ainsi, qu'en 1966 alors qu'on ne disposait que de

jerricans de 22 litres on a recueilli moins de 140 litres alors que depuis 1967 on a recueilli entre 370 et 442 litres par an grâce aux fûts de 60 litres stockant les eaux de drainage oblique des trois étages inférieurs.

Il se peut donc que les valeurs mesurées soient encore légèrement en-dessous de la réalité.

Les coefficients de drainage oblique maxima sont de l'ordre de 1,5 à 2,5 % pour certaines pluies unitaires intenses tombant sur un sol déjà gorgé d'eau ; exceptionnellement ils pourraient atteindre 3 à 4 % (comme le ruissellement).

Il semble que l'importance de la pluviosité annuelle ait une influence positive sur le drainage oblique (max. en 1968) et qu'une couverture végétale abondante favorise l'infiltration des eaux de pluie (diminution du ruissellement) et permet à une plus grande quantité d'eau de drainage de prendre une direction oblique.

Le schéma des relations sol-eau de gravité que nous avons donné dans notre précédent rapport de campagne (ROOSE ; août 1967, p, 14) s'est vérifié en 1967-69.

Les pluies qui tombent avant la fin mai sont généralement intenses mais de courte durée : elles donnent lieu à du ruissellement et parfois à du drainage oblique mais peu abondant et superficiel. Par contre lorsque les pluies importantes de juin-juillet, et à une moindre échelle en octobre-novembre, tombent sur un sol détrempe, le drainage oblique peut se manifester bien plus intensément, les horizons profonds ( $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ ) fournissant la plus grosse part des écoulements.

Si le drainage oblique n'a qu'une importance secondaire sur les sables tertiaires dans le cadre du bilan hydrique annuel, il n'est pourtant pas une vue de l'esprit des pédologues ni un simple suintement artificiel le long d'une fosse puisqu'on a recueilli régulièrement depuis 4 ans plusieurs dizaines de litres à certains niveaux lors des pluies de juin et juillet.

## 2.6. Les résultats analytiques

Tous les résultats d'observation et d'analyse ont été consignés sur fiches par pluies individuelles. Nous n'en présenterons ici qu'un résumé (12).

Les méthodes analytiques utilisées sont classiques et sont décrites en détail dans un fascicule publié par l'ORSTOM (13).

Signalons seulement que toutes les eaux ont été filtrées au filtre rapide (filtres plissés PRAT-DUMAS n° 4) en vue d'écartier les impuretés (sable, poussières, insectes, etc...) étrangères au phénomène étudié. Les analyses ont été réalisées dans les meilleurs délais compatibles avec les méthodes d'analyse de série soit généralement moins d'un mois après le dépôt des échantillons aux laboratoires de l'ORSTOM.

Les résultats présentés aux tableaux 12-13-14-15 en annexe donnent les moyennes annuelles pondérées (mp) des valeurs pour chaque étage ainsi que le rapport des moyennes arithmétiques (ma) sur moyenne pondérée (mp) multiplié par cent (14).

---

(12) Il existe trois jeux complets de ces fiches qui peuvent être consultés aux Stations de l'IRCA (Bimbresso) et de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire.

(13) NALOVIC (Lj.), GAVINELLI (E.) et PETARD (J.).  
Les méthodes d'analyses des sols et des eaux utilisées au laboratoire du Centre d'Adiopodoumé.  
Rapport multigraphié ORSTOM 123 p., 67 ref., 6 fig., 9 tabl.

$$(14) \quad mp = \frac{\sum (X. vx)}{\sum vx} \quad ma = \frac{\sum X}{n_x}$$

Nous entendons par moyenne pondérée (mp) la somme des produits des teneurs de chaque échantillon par son volume divisé par le volume total intéressé par l'échantillonnage.

La moyenne arithmétique (ma) est le quotient de la somme des teneurs de chaque échantillon par le nombre d'échantillons intéressés.

Tableau n° 12 : Résumé des résultats analytiques des eaux de ruissellement et de drainage à la plantation d'hévea de l'IRCA à l'ANGUEDEDOU

- Moyennes pondérées en mgr./l. ou ppm - 1966

Etage	I <sub>0</sub>	I <sup>1</sup>	I <sup>2</sup>	I <sup>3</sup>	I <sup>4</sup>	Dr moyen	μ. Générale
Volume en litres	>137.600	1.588	3.940	7.160	>7.615		
H <sub>mp</sub> ma/mp	7,2 100	7,0 100	6,9 97	6,9 100	6,6 101	6,8 101	7,0 101
résistivité ma/mp	17,315 69	5.508 102	19.027 63	9.570 96	12.713 87	12.039 68	15.428 67
a <sub>mp</sub> ma/mp	6,53 129	19,35 111	2,39 143	7,66 123	3,91 128	5,99 197	6,33 153
g <sub>mp</sub> ma/mp	3,24 106	13,82 109	6,30 83	6,63 90	6,34 95	6,99 132	4,65 121
ma <sub>mp</sub> ma/mp	14,42 128	41,24 121	6,45 140	10,88 176	8,50 92	11,39 240	13,32 163
a <sub>mp</sub> ma/mp	2,60 174	8,84 107	1,38 192	4,98 108	1,83 131	3,13 192	2,80 181
bases <sub>mp</sub> mg/ml	26,79 129	83,25 115	16,52 119	30,15 129	20,58 103	27,50 192	27,10 154
Ca <sub>mp</sub> ma/mp	25,44 109	56,40 138	12,78 133	12,35 143	17,99 103	17,99 222	22,76 140
total <sub>mp</sub> ma/mp	13,97 100	35,18 119	7,54 157	19,26 130	15,12 96	16,60 165	14,96 127
.N <sup>3</sup> <sub>mp</sub> ma/mp	0,36 94	0,44 145	0,03 100	0,41 100	0,16 281	0,26 238	0,32 140
.N <sub>3</sub> ma/mp	1,10 104	5,36 138	1,65 100	4,64 102	3,70 108	3,71 139	2,05 128
O <sub>4</sub> ma/mp	0,55 117	1,04 101	0,29 79	0,17 100	0,17 100	0,26 200	0,44 136
er O <sub>3</sub> ma/mp	1,30 92	0,61 118	0,91 95	0,35 100	0,69 107	0,62 101	1,05 95
l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ma/mp	0,85 84	0,88 104	0,73 89	1,04 123	0,82 109	0,88 140	0,86 105
i <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ma/mp	6,68 123	6,55 81	3,95 108	5,21 97	4,70 118	4,86 106	6,02 119

TABLEAU 13 - Résumé des résultats analytiques des deaux de ruissellement et de drainage à la plantation d'hévéa de l'IRCA à l'Anguédédou près d'Abidjan. Moyennes pondérées en mgr./l.

à 1967 -

Etage		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	DU	U générale
Volume litre		1352,3	1,6	93,8	120,9	190,4	406,7	1.759,0
pH	mp	6,84	6,90	6,73	6,56	6,42	6,53	6,76
	ma/mp	103	96	100	97	100	100	100
Résist.	mp	23.784	1.389	29.571	20.276	28.313	26.173	24.254
	ma/mp	56	79	72	93	98	76	78
Ca	mp	5,54	18,42	2,40	3,35	2,37	2,71	4,88
	ma/mp	230	72	138	221	100	210	180
Mg	mp	2,70	18,29	2,08	2,53	2,16	2,29	2,62
	ma/mp	244	81	113	198	100	189	205
K	mp	6,11	64,50	4,51	6,20	5,15	5,41	5,97
	ma/mp	360	100	122	203	100	196	269
Na	mp	1,28	10,80	1,85	1,75	1,46	1,65	1,35
	ma/mp	259	100	155	172	100	191	239
bases	mp	15,63	112,01	10,84	13,93	11,14	12,37	14,98
	ma/mp	285	92	130	201	100	206	230
MO	mp	18,43	-	19,20	23,63	11,41	16,58	18,06
	ma/mp	143	-	85	112	101	116	125
N. total	mp	5,03	27,72	4,01	5,17	5,80	5,27	5,08
	ma/mp	161	100	81	87	101	107	136
N. NH <sub>3</sub>	mp	0,42	2,11	0,32	0,22	0,28	0,27	0,39
	ma/mp	135	50	103	109	96	133	120
N. NO <sub>3</sub>	mp	0,60	6,39	0,48	1,32	0,76	0,89	0,65
	ma/mp	160	105	118	106	100	158	183
PO <sub>4</sub>	mp	1,04	-	1,27	0,89	1,10	1,07	1,05
	ma/mp	115	-	85	93	99	93	103
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mp	1,81	-	2,95	1,64	2,05	2,12	1,88
	ma/mp	73	-	78	109	100	96	89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mp	1,34	0,95	1,80	1,04	1,36	1,36	1,34
	ma/mp	55	100	102	106	101	102	79
SiO <sub>2</sub>	mp	10,00	-	7,79	8,39	8,30	8,22	9,64
	ma/mp	91	-	111	102	100	103	91

Tableau 14 - Résumé des résultats analytiques des eaux de ruissellement et de drainage à la plantation d'hévéa de l'IRCA à l'Anguédédou - Moyennes pondérées en p.p.m.  
- 1968 -

Etage	I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	D <sub>II</sub>	II Générale
Volume l.	890,9	100,7	148,9	69,5	119,5	438,6	1329,5
pH	7,1 100	6,9 101	6,8 110	6,8 110	6,7 100	6,8 101	7,0 100
Résistivité	14,857 78	19,377 53	17,463 85	14,965 84	16,223 62	17,169 69	15,620 75
Ca	7,34 148	6,33 176	4,89 106	5,13 103	5,28 176	5,31 151	6,64 134
Mg	2,95 147	3,60 184	2,28 148	2,22 136	2,85 236	2,68 188	2,86 168
K	13,22 106	7,89 215	4,50 188	5,17 152	7,15 275	6,01 224	10,75 127
Na	1,57 163	2,91 118	2,13 130	2,20 117	1,60 186	2,13 139	1,76 161
Bases	25,08 127	20,73 184	13,80 142	14,72 127	16,88 229	16,38 180	22,21 136
MO	12,78 129	8,85 205	7,26 100	7,31 140	7,57 226	7,71 170	10,96 130
N. Total	7,70 200	8,88 134	9,08 108	9,69 97	7,02 134	8,57 120	8,01 149
N. NH <sub>3</sub>	0,44 220	1,08 176	0,81 177	0,78 241	1,16 446	0,96 257	0,66 303
N. No <sub>3</sub>	1,49 116	1,77 164	2,77 81	2,14 104	3,50 84	2,64 98	1,90 121
Po <sub>4</sub>	1,39 125	0,77 181	1,12 114	0,76 119	1,54 124	1,10 125	1,22 122
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,72 51	1,95 73	2,41 76	1,62 81	2,45 79	2,20 76	1,89 70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,09 43	2,03 49	1,76 62	0,92 88	1,58 62	1,64 60	1,28 60
Si O <sub>2</sub>	7,76 120	4,93 184	7,15 118	7,99 107	3,42 248	5,76 150	7,05 123

TABLEAU 15 - Résumé des résultats analytiques des eaux de ruissellement et de drainage oblique à la plantation d'hévéa de l'IRCA à l'Anguédédou près d'Abidjan.

39

Moyennes pondérées en mgr./l.

- 1969 -

Etage		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	DU	U Générale
Volume en l.		1.551	56,2	87,0	157,0	70,7	371	1922
pH	mp	6,7	6,7	6,6	6,2	6,1	6,3	6,6
	ma/mp	102	102	98	100	108	104	101
Résist.	mp	8.708	15682	27.758	25.067	21.181	23.279	12.240
	ma/mp	80	75	78	64	99	76	105
Ca	mp	11,82	5,84	2,88	3,29	2,94	3,50	9,14
	ma/mp	134	188	168	152	117	186	107
Mg	mp	5,44	3,28	2,16	3,04	3,34	2,93	4,63
	ma/mp	130	132	128	105	95	113	102
K	mp	9,75	4,08	2,00	3,66	3,97	3,41	7,12
	ma/mp	171	343	143	155	236	236	151
Na	mp	5,09	2,18	1,48	1,58	1,69	1,67	3,99
	ma/mp	134	268	244	150	122	222	121
bases	mp	32,10	15,38	8,52	11,57	11,94	11,51	24,88
	ma/mp	145	228	183	140	151	188	121
MO	mp	17,96	7,80	6,44	7,00	8,00	7,20	14,20
	ma/mp	107	102	135	86	103	110	80
N. total	mp	10,15	3,96	1,97	3,20	0,76	2,50	7,46
	ma/mp	153	84	175	149	235	134	95
N. NH <sub>3</sub>	mp	4,17	0,44	0,42	0,91	0,85	0,71	2,87
	ma/mp	102	211	147	115	116	121	60
N. NO <sub>3</sub>	mp	0,10	1,07	0,44	1,05	0,37	0,76	0,31
	ma/mp	200	142	202	190	221	164	277
PO <sub>4</sub>	mp	2,56	1,16	1,11	1,43	0,32	1,08	2,00
	ma/mp	102	109	141	147	150	131	86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mp	1,97	0,60	2,01	2,39	1,11	1,89	1,95
	ma/mp	104	100	71	62	74	67	83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mp	1,05	0,68	0,80	1,56	1,11	1,20	1,10
	ma/mp	89	163	93	62	69	72	81
SiO <sub>2</sub>	mp	2,45	4,38	3,48	4,78	4,89	4,44	3,10
	ma/mp	132	100	113	106	96	100	129
SO <sub>4</sub> --	mp	17,47	17,86	22,82	23,51	23,58	22,84	18,81
	ma/mp	102	123	99	78	69	85	100
Cl	mp	15,51	7,42	4,85	8,27	10,23	8,25	12,19
	ma/mp	260	140	94	174	58	112	130

Ce rapport ( $\frac{m_a}{m_p} \times 100$ ) met en évidence l'influence du volume des échantillons sur les teneurs en éléments chimiques. En effet si ce rapport est supérieur à 100 cela signifie que lorsque le volume de l'échantillon est fort les teneurs sont plus faibles que la moyenne arithmétique et inversement si  $m_a$  est plus petit que  $m_p$  cela signifie que la concentration en l'élément considéré augmente avec le volume écoulé.

Si ce rapport est voisin de 100, volume et concentration des échantillons sont indépendants ou encore leur dépendance est complexe et fait intervenir d'autres facteurs.

### 261. La température, le pH et la resistivité.

Température et pH sont des données de base relatives à la vitesse de solubilité des différents corps chimiques qui nous intéressent.

Les mesures de température ayant été réalisées à la collecte des échantillons, soit quelques heures après la fin de la pluie, sont faussées soit par excès (26 à 30°C) soit par défaut (20-22°C) en fonction de l'heure des prélèvements. Plus les volumes des échantillons sont petits plus ils sont sensibles à la température ambiante. Plus le laps de temps écoulé entre les phénomènes et les mesures est grand et plus l'erreur est importante. C'est ainsi que les températures observées sont toujours plus basses en début de matinées et durant les mois les moins chauds de l'année (janvier et juin-juillet). Il semble qu'en général la température soit plus basse en profondeur qu'en surface au moins durant les périodes où on a pu observer des écoulements obliques à tous les niveaux (juin-juillet-octobre).

Sans trop de risque on peut considérer que la température des eaux de drainage et de ruissellement varie rarement au-delà de 22 à 25°C.

Le pH varie rapidement dans les milieux mal tamponnés comme ces eaux peu chargées. Or il se passe 1 à 6 jours avant que les eaux prélevées soient **analysées** : dans ce laps de temps les équilibres des gaz dissous dans les eaux peuvent changer dans une large mesure et le pH varier de plusieurs dixièmes d'unité vers la neutralité.

Fig 10 Fréquence des Températures mesurées dans les eaux de ruissellement  
et de drainage oblique lors du prélèvement.

- I.R.C.A ; ANGUÉDEDOU ; (1967 à 1969) -

I<sub>0</sub> = ruissellement

I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub> = drainage aux niveaux 0-30, 30-60, 60-100, 100-150 cm.

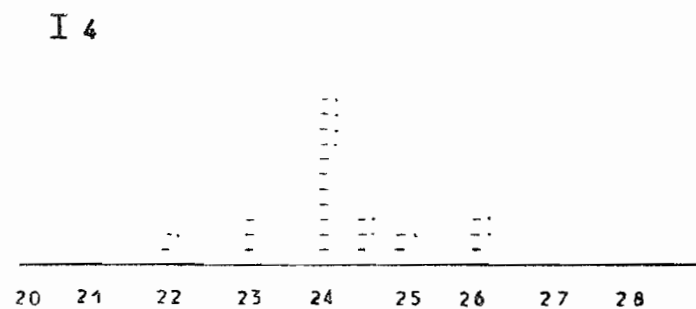
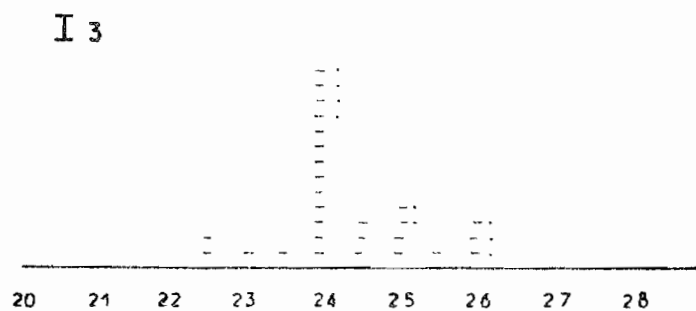
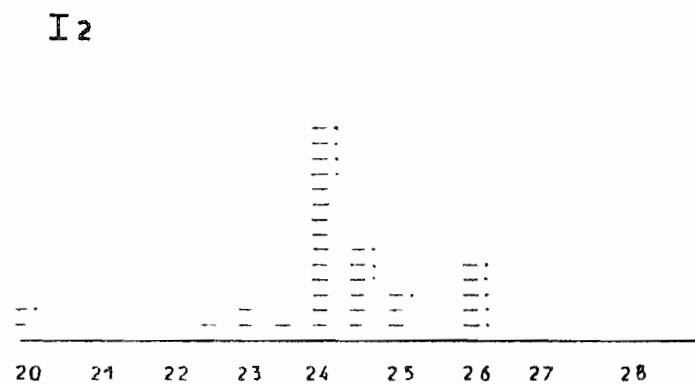
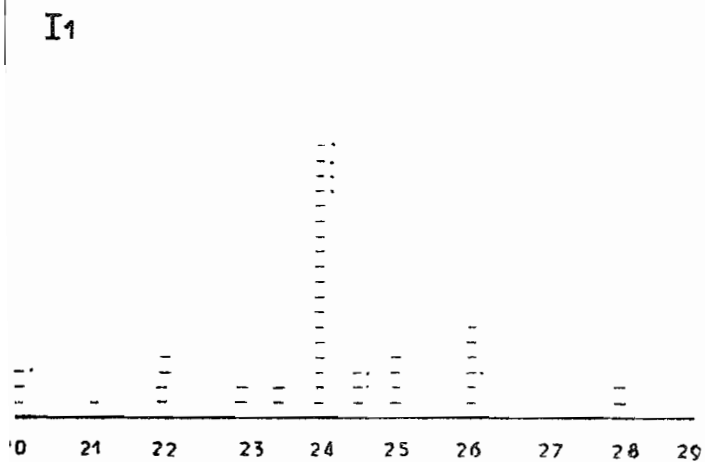
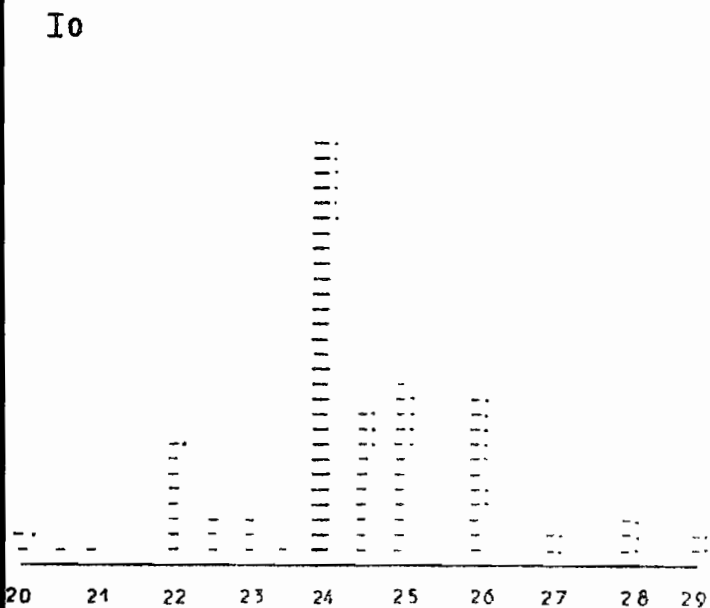


TABLEAU 16 - Moyennes pondérées du pH et valeurs les plus fréquentes.

	1966	1967	1968	1969	mp	Valcours fréquentes
I <sub>0</sub>	7,2	6,84	7,1	6,7	7,0	6,6 à 7,3
I <sub>1</sub>	7,0	6,90	6,9	6,7	6,9	"
I <sub>2</sub>	6,9	6,73	6,8	6,6	6,8	"
I <sub>3</sub>	6,9	6,56	6,8	6,2	6,7	"
I <sub>4</sub>	6,6	6,42	6,7	6,1	6,5	"
I <sub>u</sub>	6,8	6,53	6,8	6,3	6,7	6,2 à 7,1

Le tableau 16 nous montre que les eaux de ruissellement sont souvent légèrement basiques tandis que les eaux de drainage auraient tendance à être un peu acides. En moyenne les eaux de drainage sont d'autant plus acides que les écoulements sont profonds : mais l'acidité reste faible (pH > 6). Depuis 1966 le pH a tendance à baisser malgré une légère remontée en 1968 ; ceci pourrait s'expliquer par la lixiviation des bases libérées par la minéralisation accélérée (feu léger et pourriture des troncs depuis le défrichement de la forêt.

Les valeurs les plus fréquentes varient de 6,6 à 7,3 pour le ruissellement et de 6,2 à 7,1 pour le drainage.

On a trouvé de temps à autre des valeurs extrêmes allant de 3,7 à 9,3 ; ces valeurs se retrouvent plus fréquemment en des périodes où les écoulements sont peu abondants et superficiels (I<sub>0</sub> et I<sub>1</sub> au début des saisons des pluies).

Ces valeurs peu fréquentes ne sont pas aberrantes pour autant puisqu'elles traduisent des qualités chimiques des eaux complètement différentes à cette époque.

Bien qu'elles ne modifient guère les moyennes pondérées (faibles volumes) nous avons écarté ces valeurs particulièrement peu fréquentes pour ne pas modifier trop considérablement le rapport ma/mp ; Pour le pH les valeurs de ce rapport tournent entre 93 et 110 % : le pH n'est donc pas directement lié au volume des écoulements.

La résistivité est une mesure physique en relation étroite avec la somme des cations : elle permet de vérifier rapidement l'ordre de grandeur des résultats analytiques et de suivre la charge globale des eaux au cours des années.

TABLEAU 17 - Moyennes pondérées des résistivités et valeurs les plus fréquentes. - en ohms.cm -

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes
I <sub>0</sub>	17300	23800	14800	8700	17100	10.000 à 25.000
I <sub>1</sub>	5500	1400	19400	15700	12500	
I <sub>2</sub>	19000	29600	17400	27800	21600	
I <sub>3</sub>	9600	20300	15000	25100	13600	
I <sub>4</sub>	12700	28300	16200	21300	17100	
D <sub>u</sub>	12000	26200	17200	23300	16500	5.000 à 20.000

La charge des eaux en 1966 est nettement plus forte que celle de 1967 mais l'écart entre les deux, d'année en année, tend à diminuer. Sauf en 1966 les eaux de drainage sont en moyenne moins chargées que les eaux de ruissellement (1966 à 1969) ; pourtant les valeurs de résistivité les plus fréquentes des eaux de ruissellement (10 000 à 25.000 ohm-cm) sont plus **grandes** que celles des eaux de drainage ( 5.000 à 20.000 ohm-cm).

On observe des variations très nettes de la résistivité au cours de chaque année. Au début de la saison des pluies on trouve des résistivités très basses pouvant atteindre 400 à 1000 ohm-cm. En avril-mai, la résistivité atteint 10 à 15.000 ohm-cm : elle peut dépasser 25 à 45.000 ohm-cm en juin-juillet après quoi elle redescend à 10/20.000 ohm-cm. Il peut y avoir une légère remontée en octobre/novembre lorsque la seconde saison des pluies est bien marquée.

En moyenne on peut dire que la charge soluble des eaux est médiocre sauf au début de la saison des pluies. Elle baisse très nettement lorsque le volume des écoulements augmente ( $\frac{ma}{mp}$  de 50 à 97 %) : effet de dilution des éléments en solution.

#### 262. Les bases : calcium, magnesium, potassium, sodium

On observe en général une chute très nette des teneurs en bases des eaux de 1966 à 1967 ; après cette chute importante on note une légère remontée en 1968 qui se continue ou non en 1969. Il semble donc que les apports minéraux massifs en surface provenant du brulis léger lors du défrichement se sont fait sentir surtout au début 1966. Dès le début de 1967 la végétation ayant envahi tout le terrain et fixé les minéraux échappés à la lixiviation par les eaux de pluie, la richesse en bases des eaux est **revenue** au niveau d'équilibre de la minéralisation de la litière, à peine supérieur à ce qu'il est sous forêt (pourriture des troncs et grosses branches non consommées par le feu).

Les rapports  $\frac{ma}{mp}$  sont constamment et largement supérieurs à 100 % : le volume des écoulements a donc une influence dépressive notable sur les teneurs en chacune des bases.

Il s'en suit des variations saisonnières bien marquées. Les teneurs maximales s'observent lors des premières pluies lorsque les écoulements sont superficiels et de faible importance : ces eaux solubilisent en effet les sels minéraux et organiques qui se sont concentrés en surface par l'évaporation durant la saison sèche et par la décomposition de la litière en l'absence de drainage. Dès le mois d'avril les eaux infiltrées augmentent et redistribuent ces sels dans tout le profil au bénéfice des plantes : la présence simultanée au début de la saison des pluies d'une quantité d'eau suffisante, de sels minéraux accumulés en saison sèche et d'une forte luminosité entraîne une vive croissance des végétaux à cette époque.

En juin et juillet d'énormes quantités d'eau (8000 à 10.000 m<sup>3</sup>/ha voir § 323) s'infiltrent dans le sol, délavent littéralement le complexe absorbant des cations qui s'y étaient fixés et drainent à des

profondeurs suffisantes pour être pratiquement hors d'atteinte des racines tant des plantes cultivées que du couvert naturel (même la forêt sempervirente a un système racinaire superficiel situé principalement dans le 1er mètre). Les teneurs en bases atteignent leur minimum dans les eaux (et dans les terres) à la fin de cette période excessivement pluvieuse. La croissance des plantes est alors fort ralentie tant par la pauvreté du sol complètement lixivié que par le manque d'énergie solaire (ciel continuellement couvert).

Dès le mois d'août l'équilibre "minéralisation de la litière/lixiviation" est rétabli en faveur de la vitesse de minéralisation et les teneurs en bases dans les eaux remontent progressivement jusqu'à leur valeur initiale (si le sol est en équilibre ce qui ne fut pas le cas fin 1966).

Lorsque la petite saison des pluies est abondamment arrosée. On constate une rechute des teneurs en bases qui ont atteint en 1966 et 1968 le minimum de fin juillet : les phénomènes sont cependant moins nets que lors de la saison pluvieuse principale.

La sensibilité à l'effet des volumes écoulés est nettement plus forte pour les cations monovalents (K et Na) que pour les bivalents (Ca - Mg) : leur lixiviation sera donc plus aisée et il faudra en tenir compte dans le choix des dates et le fractionnement des doses d'engrais.

Lorsqu'on examine la répartition des fréquences des teneurs on observe qu'elle n'est pas normale : elle est généralement très écrasée du côté des teneurs maximales et présente souvent deux max. de fréquence, l'un plus important et caractérisant les teneurs faibles mesurées en saison des pluies et l'autre, plus dispersé caractérisant les périodes de transition.

La variabilité la plus importante s'observe pour les teneurs maximales enregistrées généralement lors des faibles écoulements de surface ( $I_0$  et  $I_1$ ) aux périodes de transition. On pourrait évidemment craindre une pollution par dissolution du béton du canal de ruissellement lequel est protégé en surface par un revêtement bitumineux (FLINTKOTE). Dans ce cas (pollution) on ne pourrait expliquer ces fortes concentrations dans les eaux non seulement en calcium mais aussi en magnésium, potassium et sodium. De plus, depuis 4 ans qu'il existe, ce canal en béton ne montre aucun signe d'altération. Par contre en pleine saison des pluies (drainage max.)

les teneurs sont faibles et beaucoup moins variables dans le milieu naturel non perturbé par l'addition d'engrais au système sol/eau/plante.

Notons enfin l'apport de cations par les eaux de pluie qui ruissellent le long des feuilles : cet apport serait important pour le potassium (travaux de F. BERNHART et J. HUTTEL).

Les teneurs des eaux en calcium ont nettement diminué de 1966 à 1967 mais par la suite on observe une remontée générale et particulièrement en 1968.

TABLEAU 18 - Teneur en Calcium des eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes. - ppm -

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	6,53	5,54	7,34	11,82	7,25	3 - 15	1 à 40
I <sub>1</sub>	19,35	18,42	6,33	5,84	11,80		
I <sub>2</sub>	2,39	2,40	4,89	2,88	3,12		
I <sub>3</sub>	7,66	3,35	5,13	3,29	6,20		
I <sub>4</sub>	3,91	2,37	5,28	2,94	3,73		
D moyen	5,99	2,71	5,31	3,50	5,11	2 - 13	1 - 130

Les eaux de drainage sont en moyenne plus pauvres que les eaux de ruissellement : ceci proviendrait de la minéralisation accélérée des matières organiques en surface après l'abattage de la forêt et le feu léger qui y a été allumé.

Les teneurs les plus fréquentes observées dans les eaux sont comprises entre 2 et 13 p.p.m. de calcium. Les teneurs maximales varient de 28 à 40 p.p.m. pour les eaux de ruissellement et de 28 à 130 p.p.m. pour les eaux de drainage : elles ont été observées dans les eaux de drainage de surface (I<sub>1</sub>) lors des premiers écoulements en 1966-67.

L'influence du volume écoule sur les teneurs est nette (ma/mp > 100 %) si bien que les variations saisonnières sont bien marquées. Lors des premières grosses pluies de l'année les teneurs des eaux en calcium oscillent de 10 à 30 p.p.m. : elles tombent à 3-10 p.p.m. en juin-juillet pour remonter ensuite graduellement avec une rechute possible en octobre.

Pour la même raison (faibles écoulements) les teneurs en calcium observées dans les eaux de drainage superficiel sont plus élevées que dans les eaux de drainage profond.

Les teneurs des eaux en magnésium ont nettement baissé de 1966 à 1967 après quoi elles semblent remonter progressivement chaque année.

TABLEAU 19 - Teneur en magnésium des eaux moyennes pondérées et valeurs fréquentes - p.p.m.+

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	3,24	2,70	2,95	5,44	3,34	1 à 8	0,6 - 34
I <sub>1</sub>	13,82	13,29	3,60	3,28	8,17		
I <sub>2</sub>	6,30	2,08	2,28	2,16	4,17		
I <sub>3</sub>	6,63	2,53	2,22	3,04	5,15		
I <sub>4</sub>	6,34	2,16	2,85	3,34	4,83		
Dr. mp	6,99	2,29	2,68	2,93	5,09	1 à 9	0,3 - 91

Contrairement à ce qu'on avait observé en 1966, les eaux de drainage sont un peu plus pauvres que les eaux de ruissellement mais les écarts des moyennes pondérées annuelles sont faibles.

Les valeurs maximales des teneurs en magnésium des eaux varient de 10 à 30 p.p.m. pour le ruissellement et de 30 à 91 p.p.m. pour le drainage. Les valeurs les plus fortes adviennent toujours dans l'horizon de surface du drainage oblique lors des premiers écoulements.

Les valeurs les plus faibles (0,3 à 3 p.p.m.) ont été observées après les époques où les écoulements ont été les plus importants soit fin juin-juillet soit octobre (1966).

Ces observations sont soulignées par le rapport ma/mp > 100 % et par des variations saisonnières bien marquées.

Lors des premières pluies les teneurs sont de l'ordre de 10 à 20 p.p.m. : elles baissent rapidement jusqu'à atteindre 1 à 6 p.p.m. en juin-juillet puis remontent légèrement. On peut parfois observer une rechute en octobre si la petite saison des pluies a été bien arrosée.

Les teneurs en magnésium sont faibles relativement à celles que l'on a trouvées tant à Adiopodoumé qu'à Azaguié et Divo.

Les teneurs des eaux en potassium ont considérablement baissé de 1966 à 1967 : cette baisse se poursuit pour les eaux de drainage (surtout I<sub>1</sub>) mais pas pour le ruissellement.

TABLEAU 20 - Teneur en potassium des eaux : moyennes pondérées et valeurs extrêmes en p.p.m.

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	14,42	6,11	13,22	9,75	11,49	3 à 25	1 à 160
I <sub>1</sub>	41,24	64,50	7,89	4,08	22,16		
I <sub>2</sub>	6,45	4,51	4,50	2,00	5,12		
I <sub>3</sub>	10,88	6,20	5,17	3,66	8,41		
I <sub>4</sub>	8,50	5,15	7,15	3,97	7,33		
Dr moyen	11,39	5,41	6,01	3,41	8,55	2 à 20	1 à 230

Les eaux de drainage sont plus pauvres en potassium que les eaux de ruissellement. En l'absence d'apport d'engrais cela signifie que les teneurs en potassium sont étroitement liées à la minéralisation des matières organiques qui sur un sol forestier sont concentrées dans la litière et les horizons superficiels.

Les teneurs en potassium sont beaucoup plus sensibles aux volumes écoulés que celles des bivalets (calcium, magnésium) : les rapports  $ma/mp$  sont donc très largement supérieurs à 100 % Il s'en suit une très grande hétérogénéité des valeurs mesurées et une influence saisonnière très marquée.

Les valeurs maximales en potassium des eaux varient de 60 à 160 p.p.m. pour le ruissellement et de 74 à 230 p.p.m. pour le drainage oblique : les valeurs les plus fortes ont été observées dans le 1er horizon de drainage  $I_1$  durant chacune des périodes de transition (dès novembre jusqu'en avril).

Les valeurs les plus faibles (1 à 3 p.p.m.) sont atteintes très rapidement en juin-juillet.

Lors des premières pluies les teneurs en potassium oscillent entre 15 et 35 p.p.m. : elles tombent rapidement à 2 à 8 p.p.m. en juin-juillet puis remontent progressivement et peuvent retrouver des fortes valeurs (50-110 p.p.m.) dès le mois de novembre.

Les teneurs en potassium dans les eaux sont donc particulièrement instables, ce cation étant très facilement solubilisé et peu retenu par le complexe absorbant (d'ailleurs peu développé sur les sols ferrallitiques des sables tertiaires).

Les teneurs en sodium des eaux de ruissellement et de drainage oblique dans les sols sur les sables tertiaires sont de loin plus modestes que celles des autres cations étudiés ci-dessus. Cela provient pensons nous, de la pauvreté en sodium de la roche mère (kaolinite, quartz et goéthite) et de la faible proportion de ce cation nécessaire à la croissance des plantes : on en trouve fort peu dans la matière organique en voie de décomposition (BERNHARD, 1967).

Ceci explique les faibles différences de teneur observées d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre.

Malgré un rapport ma/mp largement supérieur à 100 %.

TABLEAU 21 - Teneur en sodium des eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m.

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	2,60	1,28	1,57	5,09	2,41	0,5 - 6	0,2 - 30
I <sub>1</sub>	8,84	10,80	2,91	2,18	5,45	"	"
I <sub>2</sub>	1,38	1,85	2,13	1,48	1,65	"	"
I <sub>3</sub>	4,98	1,75	2,20	1,58	2,67	"	"
I <sub>4</sub>	1,83	1,46	1,60	1,69	1,72	"	"
Dr moyen	3,13	1,65	2,13	1,67	2,34	1 - 5	1 - 75

Les teneurs en sodium des eaux ont baisse légèrement de 1966 à 1967 mais elles ont tendance à remonter progressivement depuis lors.

Sauf en 1969, les eaux de drainage en sont légèrement moins dépourvues que les eaux de ruissellement. : le sodium serait donc plus lié à la roche originelle qu'à la matière organique et éliminé au niveau d'altération de la roche.

Les valeurs maximales des teneurs en sodium des eaux oscillent de 10 à 30 p.p.m. pour le ruissellement et de 20 à 75 p.p.m. pour le drainage : ces valeurs exceptionnelles sont fréquentes dans les eaux de drainage des niveaux I<sub>1</sub> mais aussi I<sub>4</sub> lors des faibles écoulements. Les valeurs les plus faibles (0,2 à 2 p.p.m) ont été observées en fin juin-juillet.

Le rapport ma/mp étant bien supérieur à 100% on observe quand même des variations saisonnières. Lors des premiers écoulements les teneurs en sodium sont de l'ordre de 5 à 12 p.p.m : elles descendent à 1 à 4 p.p.m. en juin-juillet puis remontent et peuvent atteindre une dizaine de p.p.m. dès le mois de novembre.

### 263. Les matières organiques : carbone et azote

Chaque année la forêt dense sempervirente subéquatoriale dépose à la surface du sol 8 à 12 tonnes de matières organiques (sèches) sous forme de litière. Chaque année elle se décompose entièrement puisqu'on n'observe guère d'accumulation de litière sous forêt tropicale humide.

A l'Anguédédou après l'abattage de la forêt et l'andainage des troncs et grosses branches suivis d'un brûlage superficiel par feux courants, le recru forestier et les herbes adventices ont rapidement recouvert les interlignes. Le sarclage des lignes de plantation et le rabattage des végétaux divers poussant dans les interlignes ont fourni à leur tour des matières vertes qui ont reconstitué le stock des matières organiques des horizons superficiels du sol. Les eaux de ruissellement et de drainage jouent un grand rôle dans la redistribution des matières organiques carbonées et azotées plus ou moins évoluées le long des séquences topographiques de sol et à l'intérieur du profil pédologique.

Les teneurs en matières organiques des eaux s'expriment en fait par le pouvoir réducteur de ces eaux : c'est donc une estimation assez grossière car ce pouvoir réducteur ne dépend pas seulement de la teneur en carbone mais aussi de tout autre réducteur (chlorure par exemple) et de la composition des types de matières organiques (C, H, O, N).

Nous avons peu de résultats d'analyse de chlorure et leur dispersion est très grande (0,01 à 87 p.p.m. d'ion chlorure !) : il est courant de trouver des valeurs voisines de 10 p.p.m.

TABLEAU 22 - Matières organiques des eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m. de O<sub>2</sub> consommés.

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Valeurs extrêmes
I <sub>0</sub>	25,4	18,4	12,8	18,0	20,7	7 - 40	4 - 123
I <sub>1</sub>	56,4		8,9	7,8	27,7		
I <sub>2</sub>	12,8	19,2	7,3	6,4	11,3		
I <sub>3</sub>	12,4	23,6	7,3	7,0	12,4		
I <sub>4</sub>	18,0	11,4	7,6	8,0	14,7		
Dr. mp	18,0	16,6	7,7	7,2	14,6	3 - 30	1 - 163

On observe une baisse des teneurs en matières organiques de 1966 à 1967. Cette baisse s'accroît les années suivantes pour les eaux de drainage mais pas pour le ruissellement. Il semblerait donc qu'il a fallu deux années aux eaux de drainage pour redistribuer à l'intérieur du profil la masse de matières organiques libérées par le défrichement.

Les eaux de ruissellement sont nettement plus riches que les eaux de drainage : le dépôt de litière à la surface du sol est donc toujours nettement prédominant par rapport à la production de matières organiques par les racines des adventices (beaucoup de graminées). Cependant on n'observe pas de baisse sensible en matière organique des eaux de drainage à l'intérieur du profil (I<sub>1</sub> à I<sub>4</sub>).

L'effet de dilution lié aux volumes d'eau écoulés (ma/mp supérieur à 100 %) est sensible. C'est ainsi que les teneurs en matières organiques atteignent 25 à 50 p.p.m. lors des premières pluies elles baissent ensuite de 4 à 20 p.p.m. en juin-juillet et remontent plus ou moins lentement en fonction de l'importance de la petite saison des pluies. L'hétérogénéité des valeurs mesurées (1 à 163 p.p.m.) est très grande. Les valeurs maximales varient de 40 à 123 p.p.m. pour les eaux de ruissellement et de 21 à 163 p.p.m. pour les eaux de drainage. Des valeurs minimales (1 à 5 p.p.m.) sont observées fin juin-juillet.

En fait les hautes teneurs adviennent exclusivement dans les eaux circulant sur et dans l'horizon humifère (I<sub>0</sub> et I<sub>1</sub>) : les matières organiques colloïdales y seraient plus fréquentes tandis qu'en profondeur on trouve presque exclusivement des matériaux humifiés surtout des acides fulviques (travaux en collaboration avec Mr. et Mme. PERRAUD, non encore publiés).

Notons que les valeurs atteintes dans les eaux de drainage sont semblables à celles que l'on a observées à Adiopodoumé (1966) et à Divo (1967-68). En 1966 les teneurs des eaux de ruissellement sont semblables à celles de Adiopodoumé en 1966 et Divo 1967 : mais elles diminuent nettement en 1967 comme à Divo en 1968.

Les mesures d'azote total englobent l'azote organique et l'azote minéralisé (nitrite + nitrate et ammoniacque).

TABLEAU 23 - Azote total des eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes (p.p.m.)

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	14,0	5,0	7,7	10,2	10,1	5 - 25	1 - 89
I <sub>1</sub>	35,2	27,7	8,9	4,0	18,7	"	"
I <sub>2</sub>	7,5	4,0	9,1	2,0	6,8	"	"
I <sub>3</sub>	19,3	5,2	9,7	3,2	14,1	"	"
I <sub>4</sub>	15,1	5,8	7,0	0,8	9,3	"	"
Dr. mp	16,6	5,3	8,6	2,5	11,2	2 - 20	0,5 - 78

Les teneurs en azote total baissent très nettement de 1966 à 1967, après quoi les eaux de drainage continuent à s'appauvrir tandis que les teneurs des eaux de ruissellement tendent à retrouver leurs valeurs initiales.

Sauf en 1969, les eaux de ruissellement (5-14 p.p.m.) sont plus pauvres que les eaux de drainage (2,5 à 16,6 p.p.m.). Or les teneurs en matières organiques baissent dans les eaux de drainage : on peut penser que cela traduit la minéralisation par les microorganismes du sol.

Les eaux de ruissellement recueillies sous forêt à Divo et Adiopodoumé ou sous hévéa à l'Anguédédou ont des teneurs voisines en azote total (équilibre avec la litière en voie de décomposition). Par contre les eaux de drainage sont largement influencées par la richesse du sol en azote (Divo > Anguédédou > Adiopodoumé). Parallèlement le taux d'azote minéralisé dans les eaux croît de 10 % à Adiopodoumé à 10 (ruissellement) et 30 % (drainage) à l'Anguédédou et de 20 à 50 % à Divo.

Notons d'ailleurs qu'à l'Anguédédou le rapport C/N du sol est de 14 en surface et de 7 à 11 en profondeur ce qui laissait prévoir une meilleure minéralisation en profondeur.

Toutes les formes d'azote sont plus ( $\text{NO}_3$  et N-organique) ou moins ( $\text{N-NH}_3$ ) sensibles à l'effet diluant du volume écoulé sur les teneurs des eaux (ma/mp > 100 %). Cependant les variations saisonnières sont moins nettes que pour les bases car elles peuvent être masquées temporairement par l'activité microbologique différentielle selon le pedoclimat. De grandes quantités d'azote (surtout si on épand des engrais) risquent donc d'être entraînées par les eaux de drainage durant les époques les mieux arrosées.

Les teneurs en azote total baissent de 15-35 p.p.m. au début de la saison pluvieuse à 1 à 12 p.p.m. en juin-juillet. Les fortes teneurs ne sont pas exclusivement liées aux écoulements proches de l'horizon humifère ( $I_0$  et  $I_1$ ) mais plutôt aux écoulements de très faible importance.

L'azote organique (différence entre l'azote total et l'azote minéralisé) représente 70 à 90 % de l'azote qui migre dans l'eau : il est donc très sensible à l'entraînement par les eaux ce qui laisserait penser qu'une bonne part de l'azote est perdue pour les plantes avant même de leur être assimilable. Certains physiologistes pensent cependant que certaines formes d'azote organique seraient directement assimilées par les plantes.

Les teneurs en azote ammoniacal sont très réduites (1/2 à 1/10 de l'azote minéralisé) mais elles tendent à augmenter depuis 1968.

TABLEAU 24 - Azote ammoniacal dans les eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m.

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	0,36	0,42	0,44	4,17	0,81	0,2 - 1,5	0,02 - 23
I <sub>1</sub>	0,44	2,11	1,08	0,44	0,70		
I <sub>2</sub>	0,09	0,32	0,81	0,42	0,32		
I <sub>3</sub>	0,41	0,22	0,78	0,31	0,50		
I <sub>4</sub>	0,16	0,28	1,16	0,85	0,37		
Dr. mp	0,26	0,27	0,96	0,71	0,43	0,2 - 1,2	0,1 - 14

L'influence du volume des écoulements sur les teneurs en ammoniacque n'est pas toujours nette (ma/mp varie de 50 à 400 %) : il semble cependant que les valeurs fortes soient liées à des écoulements très faibles.

Les eaux de ruissellement sont généralement plus riches en ammoniacque que les eaux de drainage.

Les teneurs passent de 0,5 - 2 p.p.m. au début des pluies à 0,02 p.p.m. fin juin-juillet, mais on peut retrouver de fortes valeurs dès que les écoulements sont à nouveau faibles. Il y a un lien étroit entre la présence de l'ammoniacque et celle des matières organiques minéralisables mais les teneurs en ammoniacque ne sont jamais extraordinaires étant donné que l'activité des nitrificateurs n'est ralentie qu'en pleine saison sèche.

Les teneurs en azote nitrique des eaux de ruissellement sont à peine supérieures à celles d'Adiopodoumé (1966) mais les eaux de drainage sont quatre fois plus riches en nitrates à l'Anguédédou.

TABLEAU 25 - Azote nitrique : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m.

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs "fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	1,1	0,6	1,5	0,1	0,9	0,1 - 2,0	0,01 - 6
I <sub>1</sub>	5,4	6,4	1,8	1,1	3,1		
I <sub>2</sub>	1,7	0,5	2,8	0,4	1,6		
I <sub>3</sub>	4,6	1,3	2,1	1,1	3,3		
I <sub>4</sub>	3,7	0,8	3,5	0,4	2,9		
Dr. mp	3,7	0,9	2,6	0,8	2,7	0,5 - 5,0	0,1 - 24

Après une baisse sensible des teneurs de 1966 à 1967, celles-ci sont remontées en 1968 puis à nouveau redescendues en 1969 : ces variations sont sans doute en relation avec l'activité microbienne fonction des conditions d'humidité du sol au cours de l'année (durée et rigueur des saisons sèches).

Les eaux de ruissellement (mp de 0,1 à 1,5 p.p.m.) sont plus pauvres que les eaux de drainage (mp de 0,8 à 3,7 p.p.m.) : signe de la minéralisation des matières organiques en profondeur et d'une nitrification. Les valeurs les plus fréquentes oscillent entre 0,2 et 5 p.p.m. et les extrêmes entre 0,01 et 24 p.p.m.

Les influences du volume écoulé, de la profondeur et de la saison sont mal définies : d'une part le rapport ma/mp est généralement supérieur à 100 mais d'autre part on peut trouver en pleine saison des pluies des teneurs relativement élevées. Souvent les teneurs baissent encore en octobre-novembre mais elles peuvent remonter dès que les volumes écoulés sont faibles (activité microbienne).

Les engrais nitrates sont donc très sensibles à la lixiviation par les eaux de drainage : leur utilisation rationnelle se conçoit lors des périodes de forte croissance végétative et en dehors des

périodes les plus pluvieuses de l'année. Il en est de même pour l'urée qui migre sous forme organique du moins en pleine saison des pluies (résultats mis en évidence à la station IFAC d'Azaguié). Par contre il serait souhaitable d'étudier la rentabilité des engrais ammoniacaux qui semblent moins mobiles et qui ont fait leur preuve en climat tempéré.

#### 264. Le phosphore

Les teneurs en phosphore des eaux de ruissellement et de drainage sont faibles (0,1 à 2,5 p.p.m. de  $PO_4$ ) à l'Anguédédou comme dans toutes les autres stations installées jusqu'ici sous conditions naturelles : elles varient peu au cours de l'année mais sont légèrement plus faibles à la fin de la grande saison des pluies.

TABLEAU 26 - Phosphore dans les eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m. de  $PO_4$ .

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	0,55	1,04	1,39	2,56	1,02	0,2 - 2,5	0,01 - 17
I <sub>1</sub>	1,04	—	0,77	1,16	0,95		
I <sub>2</sub>	0,29	1,27	1,12	1,11	0,74		
I <sub>3</sub>	0,17	0,89	0,76	1,43	0,55		
I <sub>4</sub>	0,17	1,10	1,54	0,32	0,54		
Dr. mp	0,26	1,07	1,10	1,08	0,63	0,1 - 2	0,01 - 11

Les teneurs ont augmenté significativement après la 1ère année. Les eaux de ruissellement sont moins pauvres que les eaux de drainage : celles-ci sont d'autant plus pauvres que les écoulements se font en profondeur.

Le rapport ma/mp n'est pas toujours supérieur à 100 % et l'influence du volume des écoulements n'est pas nette.

Les teneurs les plus fortes (3 à 10 p.p.m.) s'observent dans les écoulements  $I_0$  et  $I_1$  c'est-à-dire ceux qui touchent directement à l'horizon humifère.

Des essais récents effectués par Mr. GOUZY au laboratoire central d'analyse d'Adiopodoumé (Note 1) ont montré que la charge soluble en phosphore est très faible mais elle peut être nettement augmentée par la présence de colloïdes pseudosolubles non floculés et d'éléments fins solides en suspension.

Les teneurs en matières organiques du sol et des eaux ainsi que la charge pseudosoluble diminuent donc en profondeur parallèlement aux teneurs en phosphore des eaux.

Il semble donc que le phosphore soit solidement fixé au sol (fer alumine et matières organiques) et lentement mis en solution dans l'eau du sol où les plantes le prélèvent. Sa migration très lente et limitée serait liée à la teneur en matières organiques des eaux de drainage (teneur qui baisse en profondeur) à la minéralisation de ces matières organiques dans les horizons de surface, ainsi qu'à la charge pseudosoluble.

Ce phosphore mobile serait alors soit insolubilisé dans les horizons riches en fer (horizon gravillonnaire) et en argile soit emporté par les eaux de drainage à la nappe phréatique et aux cours d'eau.

Dans les champs expérimentaux on a remarqué que les engrais phosphatés apportés sous forme de phosphate de chaux évoluaient rapidement en phosphate d'alumine et phosphate de fer de moins en moins solubles (donc de plus en plus stables). En l'absence de nouveaux apports, le phosphore "assimilable" baisse rapidement tandis que le niveau du phosphore total est légèrement remonté.

---

Note 1 - Mr. GOUZY a montré que des dosages sur des eaux chargées de suspensions ou même rien que de pseudo-solutions (colloïdes passant au travers des filtres plissés) donnent des teneurs nettement plus fortes après évaporation et reprise de l'ensemble qu'après acidification du milieu (1 cc HCl pur) provoquant une floculation puis dosage au Technicon.

Il s'établit alors un équilibre dynamique entre la plante - le phosphore dissous dans l'eau du sol - les matières organiques et les phosphates "insolubles" (alumine et surtout fer). Cet équilibre est tel que malgré la très faible teneur en phosphate des eaux, les plantes, dont le système racinaire est suffisamment développé, voient leurs besoins fondamentaux en phosphore à peu près comblés. D'où un manque de réaction des plantes aux engrais phosphatés souvent constaté sur des sols ferrallitiques (en particulier sur les sables tertiaires).

Les engrais phosphatés très rapidement immobilisés seraient donc les seuls à pouvoir faire l'objet de fumure de fond à action d'arrière effet prolongé.

#### 265. Le fer, l'alumine et la silice

Ils ont un intérêt pédogénétique évident mais jouent aussi un rôle non négligeable dans l'interprétation des résultats agronomiques obtenus au moyen des engrais (phosphates notamment).

Les teneurs en fer des eaux de ruissellement et de drainage varient généralement entre 0,2 et 2,5 p.p.m. avec quelques chiffres pouvant monter de 5 à 11 p.p.m. de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , teneurs qui ont été tenues pour douteuses à partir de 5 p.p.m. (5 en 1969, 1 en 1968, 2 en 1967). On n'a pu mettre en évidence de variation systématique des teneurs des eaux s'écoulant en surface ou en profondeur contrairement à ce qu'on avait observé à Divo (insolubilisation en profondeur).

TABLEAU 27 - Le fer dans les eaux : moyennes pondérées  
et valeurs fréquentes en p.p.m. de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
$I_0$	1,30	1,81	1,72	1,97	1,59	0,2 - 2,5	0,1 - 9
$I_1$	0,61		1,95	0,60	1,01		
$I_2$	0,91	2,95	2,41	2,01	1,70		
$I_3$	0,35	1,64	1,62	2,39	1,01		
$I_4$	0,69	2,05	2,45	1,11	1,22		
Dr. mp	0,62	2,12	2,20	1,89	1,26	0,3 - 3	0,2 - 11

Le rapport  $m_a/m_p$  étant très généralement inférieur à 100, on constate au plus fort de la saison des pluies et du drainage (fin juin-juillet) des teneurs élevées. Les valeurs les plus fortes sont liées aux écoulements touchant l'horizon humifère ( $I_0$ ,  $I_1$ ). Nous pensons donc qu'il y a un lien entre les teneurs en fer et la charge pseudo-colloïdale laquelle est analysée en même temps que la charge soluble (filtration rapide).

Les teneurs en fer des eaux à Adiopodoumé, Anguédédou et Divo sont du même ordre de grandeur.

Les teneurs en alumine des eaux étudiées varient de 0,2 à 1,5 p.p.m. de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  avec de rares valeurs aberrantes (3 en 1969) supérieures à 4 p.p.m.

TABLEAU 28 - L'alumine dans les eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m. de  $Al_2O_3$

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	0,85	1,34	1,09	1,05	1,04	0,2 - 1,2	0,1 - 2,7
I <sub>1</sub>	0,88	0,95	2,03	0,68	1,37	"	"
I <sub>2</sub>	0,73	1,80	1,76	0,80	1,14	"	"
I <sub>3</sub>	1,04	1,04	0,92	1,56	1,12	"	"
I <sub>4</sub>	0,82	1,36	1,58	1,11	1,05	"	"
Dr. mp	0,88	1,36	1,64	1,20	1,12	0,3 - 1,5	0,01 - 5

Les eaux de ruissellement (mp = 1,04 p.p.m.) sont légèrement plus pauvres que les eaux de drainage (mp = 1,12 p.p.m.) dont les teneurs baissent en profondeur : les différences sont cependant minimales. Les teneurs les plus fortes ont été observées dans les eaux de drainage et ne sont pas liées aux horizons I<sub>0</sub> et I<sub>1</sub>.

Le rapport ma/mp est très généralement inférieur à 100 %. C'est ainsi qu'on observe des teneurs en alumine croissant de 0,2 à 0,4 p.p.m. au début de la saison des pluies à 0,7 à 1,5 p.p.m. en juin/juillet, période où les écoulements sont les plus forts : les teneurs augmentent donc avec le volume écoulé.

Les teneurs en alumine des eaux analysées en provenance de l'Anguédédou sont du même ordre de grandeur que celles d'Adiopodoumé et de Divo.

Les teneurs en silice varient de 2 à 11 p.p.m. : elles sont donc 2 à 3 fois supérieures à celles du fer et de l'alumine réunies ce qui confirme bien le mode d'évolution pédogénétique actuel par ferrallitisation, mais pas de façon aussi éclatante que sur des sols plus riches en éléments capables d'évoluer (Divo). Les sols sur sables tertiaires en effet sont constitués presque exclusivement de kaolinite, de quartz et de goethite, matériaux extrêmement stables.

TABLEAU 29 - La silice dans les eaux : moyennes pondérées et valeurs fréquentes en p.p.m. de SiO<sub>2</sub>

	1966	1967	1968	1969	mp	Valeurs fréquentes	Extrêmes
I <sub>0</sub>	6,7	10,0	7,8	2,5	7,2	" 2 - 11	1 à 26
I <sub>1</sub>	6,6	—	4,9	4,4	5,5	"	
I <sub>2</sub>	4,0	7,8	7,2	3,5	5,2	"	
I <sub>3</sub>	5,2	8,4	8,0	4,8	5,8	"	
I <sub>4</sub>	4,7	8,3	3,4	4,9	5,2	"	
Dr. mp	4,9	8,2	5,8	4,4	5,4	" 3 - 10	1 à 25

Les eaux de ruissellement (mp = 7,2) sont nettement plus riches en silice que les eaux de drainage (mp = 5,4) pour lesquelles on n'observe pas de baisse systématique en profondeur. Les valeurs extrêmes peuvent atteindre 25 p.p.m. et ne sont pas liées exclusivement à l'horizon superficiel.

Le rapport ma/mp est supérieur à 100 % : il y a donc une corrélation négative entre le volume des écoulements et les teneurs en silice mais pas aussi nette que pour les bases. On peut d'ailleurs observer une baisse de 5-12 p.p.m. à 1-4 p.p.m. en juillet mais ~~seulement~~ seulement les années où la grande saison des pluies s'est prolongée jusque fin juillet.

Les teneurs en silice des eaux observées à l'Anguédédou et analysées sont légèrement supérieures à celles d'Adiopodoumé mais nettement inférieures à celles d'Azaguié (culture fertilisée de banane) et de Divo.

Ceci confirme l'hypothèse que nous avons émise dans notre rapport sur Azaguié (1966) à savoir que les teneurs en silice soluble plus pseudosoluble des eaux de drainage sont d'autant plus élevées que le sol et les eaux sont riches en bases.

Ainsi les moyennes des teneurs en silice sur toutes les eaux analysées sont de 12,4 p.p.m. de SiO<sub>2</sub> à Azaguié (engrais Ca - Mg - K - P.) de 8,9 p.p.m. à Divo sur granite, de 6,6 p.p.m. à l'Anguédédou (sable tertiaire sur defriche forestière) et de 4,2 p.p.m. à Adiopodoumé (mêmes sols mais sous forêt non brûlée).

De l'ensemble des résultats de ce paragraphe il ressort que les teneurs en phosphore, en fer, alumine et silice sont intimement liées à la charge pseudosoluble des eaux laquelle est généralement élevée en surface (battance de la pluie même sousforêt) et varie plus ou moins systématiquement en profondeur selon les types de sol.

#### 266. Chlorure, sulfate, bicarbonate

Quelques mesures de chlorure, sulfate et bicarbonate ont été réalisées sur les eaux recueillies les 14-16-17 juin 1969.

Les sulfates (méthode analytique pas encore très précise) varient de 8 à 25 p.p.m. de SO<sub>4</sub><sup>---</sup> avec une dominance des valeurs près de 20 p.p.m.

Les chlorures varient de 0,1 à 82 p.p.m. avec une dominance des valeurs comprises entre 8 et 25 p.p.m. de Cl<sup>-</sup>. Les eaux de ruissellement semblent plus riches que les eaux de drainage.

Les bicarbonates varient de 15 à 400 p.p.m. de CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup> le 14/6/1969.

## 27. Appauvrissement, lessivage et érosion en nappe

Un des buts de l'expérimentation est de déterminer s'il existe actuellement une tendance pédogénétique vers l'appauvrissement en éléments fins des horizons superficiels et quelle pourrait en être la cause ?

Quatre hypothèses ont été émises (ROOSE, 1968), (SEGALEN et LEAL SILVA, 1969) :

1 - Une érosion en nappe arrache sélectivement les particules fines à la surface du sol. Cet appauvrissement très superficiel est transmis en profondeur par des facteurs d'homogénéisation (faune) dont la densité diminue à mesure qu'on pénètre dans le profil.

2 - Un lessivage oblique des colloïdes mis en pseudo-solution (par l'impact des gouttes de pluie ou par contact intime avec les horizons superficiels humifères) appauvrit les profils des sols en haut des versants en faveur des sols situés en contrebas dans la toposequence (AUBERT G. ; DUCHAUFOR P., 1965). Ces mouvements obliques des eaux de drainage ont souvent été observés dans le cas particulier où un horizon pratiquement imperméable se trouve sous une faible couche de sol très perméable (ex. dalle granitique sous une arène d'altération) mais il n'y a pas de raison pour que les mêmes phénomènes ne se produisent plus si les différences de perméabilité d'un horizon au suivant sont moins tranchées. Encore faut-il chiffrer quantitativement son importance.

3 - Un lessivage vertical dans des profils sur matériaux très poreux entraîne des colloïdes des horizons superficiels mais ne dépose que des accumulations diffuses et progressives en profondeur. Il faut en effet des variations importantes des conditions physico-chimiques pour obtenir la floculation des pseudo-solutions en un horizon bien défini comme c'est souvent le cas dans l'horizon B d'accumulation des sols lessives typiques des régions tempérées (Note 1)

4 - Destruction des argiles suite à des déséquilibres dans le réseau : ionisation et solubilisation des constituants.

271. Lessivage oblique

Pour étudier le lessivage du sol par les eaux de drainage nous avons fait flocculer (Note 1) une cinquantaine d'échantillons représentant 725 litres d'eau de drainage des quatre niveaux étudiés. Nous avons reportés en annexe au tableau 31 le détail des résultats qui sont résumés au tableau 30.

TABLEAU 30 - Charge pseudosoluble des eaux de drainage  
Anguédédou - 1966 à 1969.

		I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	TOTAL
Charge pseudosoluble						
gr./ha	1966	39,7	112,4	376,0	77,6	605,7
	1967	14,9	455,2	426,8	1.568,0	2.464,9
	1968	5.537,1	2.062,5	1.873,1	1.581,6	11.054,3
	1969	661,2	2.878,7	2.355,0	1.268,4	7.163,3
	total	6.252,9	5.508,8	5.030,9	4.495,6	21.288,2
Total	Kg/ha/an	1.563,2	1.377,2	1.257,7	1.123,9	5.322,0
Charge pseudosoluble						
Moyenne pondérée	mgr./l.	246	105	86	71	/

Nous y avons fait le bilan des charges pseudo-solubles transportées par les eaux de drainage oblique par année et par niveau (mp des teneurs x volume de drainage oblique).

(Note 1) - Flocculation à l'aide de 2 cc de sulfate d'alumine à 5 % par litre d'eau dans une bombonne en verre ou un becher. On attend jusqu'à ce que les eaux soient parfaitement claires avant de les siphoner et de recueillir le flocculat dans un becher de 250 cm<sup>3</sup> que l'on porte à sec à l'étuve. Si les eaux tardent plus d'une semaine à s'éclaircir parfaitement on ajoute une nouvelle dose de sulfate d'alumine.

On constate que sur les quatre années de mesure la moyenne des exportations totales par drainage oblique sur une tranche de 1,5 m de sol s'élève à 5,3 kg/ha/an mais elle varie de 0,6 à 11 kg suivant les années. Il semble que ce lessivage oblique total dépende d'une part du volume total écoulé obliquement (d'où 1966 valeur très faible) et d'autre part de l'état d'humidité du sol et de l'étalement des pluies au cours de l'année ce qui déterminerait la charge pseudo-soluble unitaire (gr/litre) elle-même.

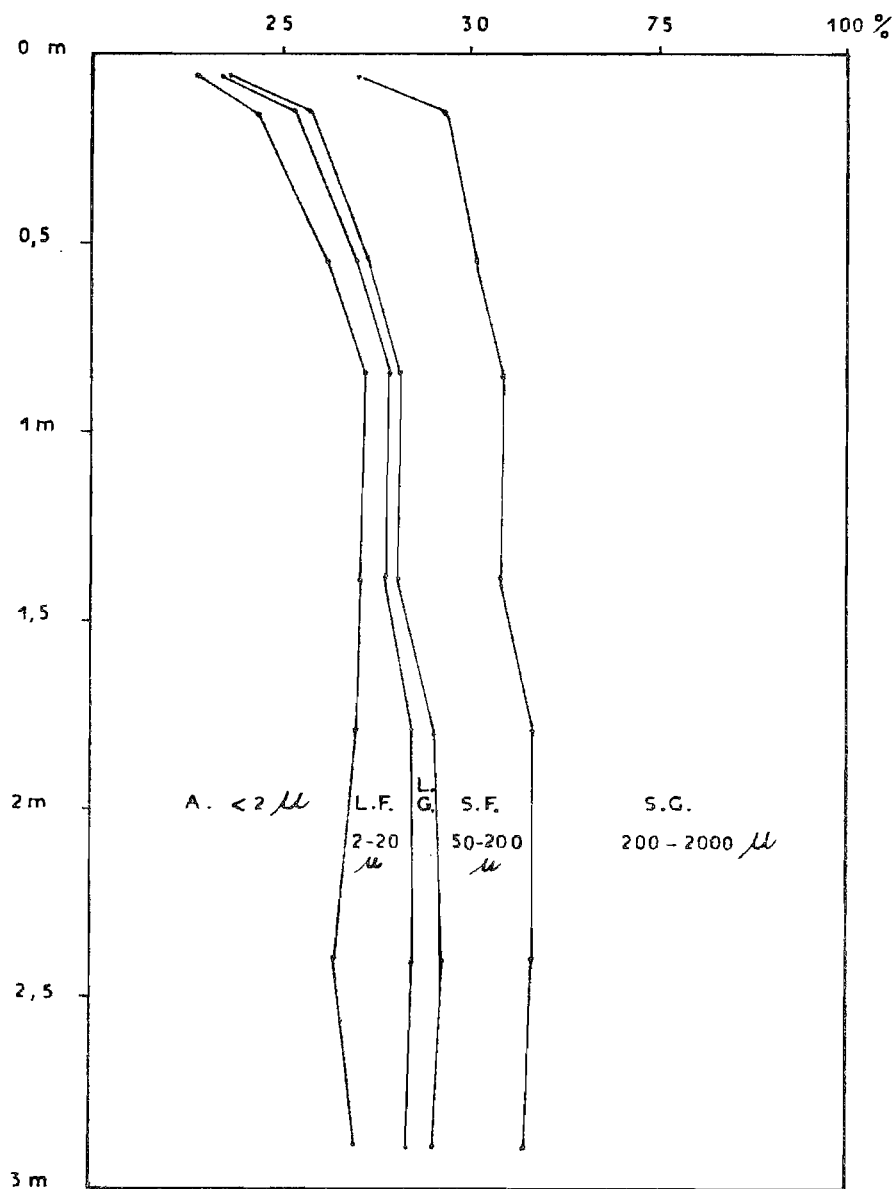
En divisant la charge pseudosoluble totale (4 ans) par le volume total (4 ans) du drainage oblique mesuré à chaque niveau on obtient une charge pseudosoluble unitaire qui diminue de 246 mgr./litre en I<sub>1</sub> (0-30 cm) à 105 mgr/l. en I<sub>2</sub> (30-60) à 86 mgr/l. en I<sub>3</sub> (60-90 cm) à 71 mgr/l. en I<sub>4</sub> (90-150 cm).

On voit donc que les eaux se chargent en surface (probablement par l'effet d'impact des gouttes d'eau à la surface du sol, par infiltration du "ruissellement", et par frottement dans les macroporosités du sol imbibé d'eau) et sont plus claires en profondeur. A la source du jardin botanique du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé les eaux sont parfaitement limpides et la charge pseudo-soluble quasi nulle (2 à 10 mgr/litre).

Si on compare le poids total moyen de pseudo-solution exporté par lessivage oblique par horizon (mp x volume) on constate qu'il est du même ordre de grandeur et diminue très légèrement en profondeur (1,5 à 1,1 kg/ha/an). La charge pseudo-soluble des eaux de drainage diminue depuis l'horizon humifère jusqu'aux horizons les plus profonds : donc elle a dû se déposer progressivement tout au long du profil puisque toutes les eaux de drainage passent nécessairement par l'horizon humifère.

Si on observe bien un appauvrissement en argile maximum en surface (argile 0-10 cm = 13 % ; A à 80 cm = 36 %) sur le profil granulométrique (voir fig. 11) on voit mal où se sont déchargées les eaux de drainage de leur charge pseudosoluble. Bien sûr il s'échappe 71 mgr/litre de pseudosolution qui vont flocculer progressivement en dessous de 1,5 m mais le plus gros (246 - 71 = 175 mgr/l.) devrait se déposer au-dessus de ce niveau I<sub>4</sub> ce qui n'apparaît pas clairement sur le profil granulométrique (fig. 11).

Fig. 11 Granulométrie du profil de la case de mesure de l'érosion  
et du drainage oblique de l'ANGUEDEDOU



En conclusion, malgré les teneurs élevées en colloïdes des eaux de drainage vertical les phénomènes de lessivage oblique dans ce type de sol semblent peu importants en raison des faibles volumes d'eau concernés.

## 272. Lessivage vertical

Comme il n'y a pas de raison pour que les eaux de drainage oblique et celles de drainage vertical circulent à un même niveau aient une composition différente on peut utiliser les mêmes charges pseudo-solubles pour tenter d'estimer l'importance du lessivage vertical dans chaque horizon.

Nous verrons plus loin (§ 323) comment on a estimé à 845 mm le drainage vertical moyen considéré comme l'eau de drainage dépassant le niveau du sol où l'humidité ne varie guère au cours de l'année (vers 2,5 m) c'est-à-dire où les racines ne puisent quasi plus d'eau. En fait, toute l'eau libre dans le sol (pluie - ruissellement moins eau d'absorption) traversant un horizon peut transporter des particules de cet horizon au suivant même si cette eau est ultérieurement récupérée par les plantes pour assurer leur évapotranspiration.

On peut donc dire que le niveau humifère ( $I_1$ ) va perdre 248 mgr/l. X a. Dv où a est  $>1$ .

La charge des eaux étant inférieure en  $I_2$ , ce niveau va gagner des colloïdes :  $(248 - 105 \text{ mgr/l.}) \times b$ . Dv où  $a > b > 1$

De même  $I_3$  va gagner des colloïdes :

$$(105 - 86 \text{ mgr/l.}) \times c. \text{ Du où } a > b > c > 1$$

Et  $I_4$

$$(86 - 71 \text{ mgr/l.}) \times d. \text{ Dv où } a > b > c > d > 1.$$

Les coefficients a, b, c, d sont décroissants mais supérieurs à 1 en fonction de l'eau évapotranspirée.

En ne tenant compte que du drainage vertical Du s'échappant entièrement du profil (8450 m<sup>3</sup>/ha/an) on obtient un lessivage vertical de :

2.095,6 kg/ha/an en	I <sub>1</sub>	(0-30)
887,3 kg/ha/an en	I <sub>2</sub>	(30-60)
726,7 kg/ha/an en	I <sub>3</sub>	(60-100)
600,0 kg/ha/an en	I <sub>4</sub>	(100-150)

ce qui correspondrait à :

un appauvrissement annuel de 2.095,6 kg d'argile en I<sub>1</sub> par ha  
 un enrichissement annuel de 1.208,3 kg en I<sub>2</sub>  
 de 160,6 kg en I<sub>3</sub> et 126,7 kg en I<sub>4</sub> par ha.

Les trois quarts du lessivage vertical se déposeraient donc entre 0,3 et 1,5 m ce qui n'apparaît pas clairement sur le profil granulométrique.

Etant donné le dépôt progressif de la charge colloïdale des eaux de drainage tout au long du profil on ne connaît pas exactement le taux d'argile du matériau originel (horizon C). D'après l'allure de la courbe granulométrique (fig. 11) on peut admettre que le taux d'argile initial se situe entre 25 et 35 %.

En essayant de respecter la proportion de dépôt entre 0,3 et 1,5 m par rapport à l'appauvrissement du niveau I<sub>1</sub> soit 75 % on trouve par calcul et par approches successives que le taux d'argile est voisin de 31,5 % (Note 1).

Note 1 - Calcul du taux d'argile initial du sol

1. taux d'argile actuel moyen pondéré pour chaque niveau

I <sub>1</sub> = 20,7 %	de 0 à 30 cm
I <sub>2</sub> = 28,7 %	de 30 à 60 cm
I <sub>3</sub> = 34,6 %	de 60 à 100 cm
I <sub>4</sub> = 35,4 %	de 100 à 150 cm

2. Tonnage de sol à l'hectare pour chacun des niveaux

Niveau	Surface	Epaisseur	densité apparente	Poids total
I <sub>1</sub>	10.000 m <sup>2</sup>	x 0,3 m x	1,5	= 4.500 tonnes terre/ha
I <sub>2</sub>	10.000	x 0,3	x 1,5	= 4.500 tonnes " "
I <sub>3</sub>	10.000	x 0,4	x 1,5	= 6.000 tonnes " "
I <sub>4</sub>	10.000	x 0,5	x 1,5	= 7.500 tonnes " "

Note 1 - (suite)

3. Evolution des quantités d'argile par niveau

$$I_1 = (31,5 - 20,7) \% \times 4.500 \text{ t./ha} = - 486 \text{ t/ha}$$

$$I_2 = (31,5 - 28,7) \% \times 4.500 \text{ t./ha} = - 126 \text{ t/ha}$$

$$I_3 = (31,5 - 34,6) \% \times 6.000 \text{ t./ha} = + 186 \text{ t/ha}$$

$$I_4 = (31,5 - 35,4) \% \times 7.500 \text{ t./ha} = + 293 \text{ t/ha}$$

départ { 486	dépôt { 186
--------------	-------------

argile { 126	argile { 293
--------------	--------------

0-60 cm 612 t/ha	60-150 cm 479 t/ha
------------------	--------------------

rapport  $479/612 = 0,78$  soit très proche des 75 % recherchés.

4. Temps nécessaire au rythme actuel

1/ appauvrissement 612 t/ha : 2,1 t/ha/an = 291 ans

2/ dépôt 479 t/ha : 1,5 t/ha/an = 319 ans

Si l'appauvrissement des horizons superficiels est de l'ordre de 612 tonnes d'argile par hectare il suffirait d'environ 300 ans au lessivage vertical (291 ans pour l'appauvrissement et 319 ans pour le dépôt) pour assurer l'appauvrissement en argile des horizons superficiels et les dépôts diffus des colloïdes en pseudo-solution au rythme actuel.

Par contre il faudrait 115.500 ans pour obtenir ce même appauvrissement uniquement par lessivage oblique dans les conditions actuelles et sans tenir compte des remontées biologiques ni de l'érosion en nappe.

Faisons cependant remarquer que si l'on choisit une teneur originelle en argile de l'ordre de 31,5 % il devrait y avoir un appauvrissement tant en  $I_2$  qu'en  $I_1$  et donc une augmentation de la charge colloïdale de  $I_1$  en  $I_2$  : ce qui ne s'est pas vérifié pour les échantillons étudiés. Il conviendra donc à l'avenir de préciser la charge colloïdale des eaux au cours de l'année pour avoir des moyennes pondérées aussi valables que celles des charges solubles.

### 273. Erosion sélective en nappe

Les résultats d'analyse des terres érodées et de l'horizon superficiel (0-5 cm) du sol sont rassemblés au tableau 32.

Si on définit un coefficient de sélectivité de l'érosion comme étant le rapport de la teneur en un élément dans les terres érodées sur celle de ce même élément dans le sol en place on remarque (voir dernière colonne) que les terres érodées (terre de fond + terre en suspension) sont plus riches que le sol en place en tous les éléments étudiés (particules fines de 0 à 50 microns, carbone, azote, bases et phosphore) sauf en sables ainsi qu'en potassium et sodium échangeables lesquels sont facilement lixiviés par les eaux de ruissellement et de drainage. La couche superficielle subit donc un appauvrissement en particules fines (minérales et organiques) et une lixiviation des bases et de l'azote.

TABLEAU 32 - Comparaison de l'analyse des terres érodées et de l'horizon superficiel du sol en place. IRCA - Moyennes des années 1966 à 1969. 72

	Terre de fond 143,8kg/ha/an		Suspension 54,3 kg/ha/an		Total 197,1kg/ha/an		Sol 0-5 cm	Coefficient de sé- lectivité terre é- rodée/sol superficiel
	%	kg/ha/ an	%	kg/ha/ an	kg/ha/ an	%	%	
Argile 0-2 u	10,45	15,03	43,61	23,68	38,71	19,04	13,2	1,44
Limon fin 2-20 u	3,74	5,38	27,39	14,87	20,25	9,96	3,7	2,69
Limon grossier 20-50 u	1,37	1,97	5,41	2,94	4,91	2,42	0,9	2,68
Sable fin 50-200 u	16,34	23,49	4,50	2,44	25,94	12,76	16,0	0,80
Sable grossier 200-2000	66,56	95,71	9,89	5,37	101,08	49,73	63,6	0,78
Mat.org.	3,572	5,14	13,325	7,24	12,37	6,09	4,224	1,44
Total		146,72	-	56,54	203,26	-	-	-
SF/S.G.	0,246	-	0,456	-	-	0,256	0,251	
N %	0,105	0,151	0,606	0,329	0,480	0,244	0,180	1,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,083	0,119	0,287	0,156	0,275	0,140	0,062	2,26
	✱ mé % gr	gr mé/ha	✱ mé % gr	gr mé/ha	gr mé/ha	✱ mé % gr	gr mé % gr	
Ca échan	4,19	60,25	9,35	50,77	111,02	5,64	2,50	2,26
Mg	1,75	25,17	1,85	10,05	35,22	1,79	1,56	1,15
K	0,24	3,45	0,34	1,85	5,30	0,26	0,34	0,76
Na	0,07	1,01	0,10	0,54	1,55	0,08	0,09	0,89
Ca total	12,87	185,07	10,01	54,35	239,42	12,15	3,30	3,68
Mg	3,81	54,79	3,65	19,82	74,61	3,79	2,95	1,28
K	0,94	13,52	2,50	13,58	27,10	1,37	0,67	2,04
Na	0,79	11,36	0,49	2,66	14,02	0,71	0,25	2,84

✱ mé % gr. signifie milliequivalent pour 100 grammes de terre fine (0-2000 microns).

gr mé/ha. c'est le nombre total de milliequivalents qui sont concernés à l'hectare.

Remarquons en passant que les terres de fond (correspondant au charriage des sédimentologues) sont plus pauvres que le sol en place en argile, en matières organiques, en azote, en potassium et en sodium. On ne peut donc faire de bilan des pertes par érosion sans tenir compte des éléments en suspension (et en solution) lesquels sont peut être moins abondants mais beaucoup plus riches en particules fines et substances qui y sont liées (matières organiques, bases et phosphore).

On peut calculer l'appauvrissement actuel en particules fines (0 à 50 microns) par l'érosion sélective en faisant la différence des pourcentages de A + L des terres érodées ( $19,04 + 9,96 + 2,42 = 31,42 \%$ ) moins ces pourcentages dans le sol superficiel ( $13,2 + 3,7 + 0,9 = 17,80$ ).

On trouve alors un appauvrissement actuel de 27,25 kg/ha/an d'argile et de limons ( $200 \text{ kg d'érosion} \times 13,62 \%$ ). En faisant le même calcul pour les sables on trouve une accumulation relative de 34,22 kg/ha/an de sables ( $200 \text{ kg d'érosion} \times (79,60 - 62,49) \%$ ).

Si on **table** comme au paragraphe précédent sur un appauvrissement de l'ensemble du profil d'environ 612 tonnes/ha de particules fines il faudrait environ 22.500 ans à l'érosion sélective toute seule pour atteindre, au rythme actuel, le profil granulométrique constaté en 1965. Ce chiffre ne correspond pas à la réalité car le rythme d'appauvrissement par l'érosion de l'horizon superficiel du profil a dû évoluer significativement depuis le début de sa pédogénèse et l'ensemble des phénomènes d'appauvrissements sont simultanés.

Pour mettre en évidence l'importance relative de l'érosion en nappe et du lessivage oblique et vertical sur les phénomènes actuels d'appauvrissement, il est plus juste de comparer les chiffres moyens d'exportation actuelle de particules fines :

- lessivage vertical 2.095,6 kg/ha/an
- lessivage oblique 5,3 kg/ha/an
- érosion en nappe 27,3 kg/ha/an

On constate donc l'influence prépondérante du lessivage vertical sans accumulation localisée.

Aucune variation du rapport SF/Sg n'apparaît entre les terres érodées et le sol en place (0,25) et fort peu (0,25 à 0,34) à l'intérieur du profil. Il est donc peu probable que des variations de granulométrie de la roche-mère puissent intervenir pour expliquer la texture plus sableuse des horizons superficiels du sol.

#### 274. Conclusions sur les phénomènes d'appauvrissement

On pourrait interpréter l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels de certains sols tropicaux comme la somme des phénomènes d'érosion sélective, de lessivage oblique et vertical ainsi que de destruction des argiles.

Tous ces phénomènes sont simultanés mais d'importance inégale en fonction des conditions écologiques (importance relative du drainage et de l'érosion).

Sur les sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire, tant que la couverture végétale est complète (forêt dense ou plantations arbustives bien aménagées) le phénomène dominant nous semble (dans la limite de nos résultats actuels) le drainage vertical entraînant une lixiviation des bases et de l'azote mais aussi le lessivage des éléments fins qui ne flocculent que progressivement dans le profil sans entraîner la formation d'horizons d'accumulation nette en argile. Erosion sélective et lessivage oblique existent réellement mais leurs effets sont faibles devant l'importance du lessivage vertical à flocculation progressive.

Quant à la destruction des argiles (SEGALEN et LEAL SILVA, 1969) dont la présence de silice en solution dans les eaux serait en signe elle peut exister mais son amplitude doit être faible puisque il y a très peu d'alumine en solution dans les eaux et aucune accumulation alumineuse dans le sol. On peut penser qu'une part de cette silice provient de la solubilisation du quartz (grains de quartz ressemblant à des bonbons sucés) ou de son fractionnement en particules très fines susceptibles d'entrer en suspension ou en pseudosolution dans les eaux de drainage.

### CHAPITRE III - ESSAIS DE BILANS DES PERTES

Le but de l'expérimentation en base de mesure de l'érosion et du drainage oblique est d'établir l'importance des pertes physiques (terre et eau) et chimiques dans les conditions de culture de l'hévéa en terrasse isohypse et de vérifier l'efficacité de cette technique anti-érosive en basse Côte d'Ivoire.

#### 3.1. Les pertes en terre

Elles sont de l'ordre de grandeur de celles qu'on peut trouver sous forêt sous forte pente (29 %) donc extrêmement faibles (200 kg/ha/an).

A ce rythme il faudrait 3.750 ans pour que la couche la plus riche (5 cm) soit érodée et 15.000 ans pour voir disparaître la couche arable (20 cm) en supposant l'inactivité des éléments vivants du sol (termites, vers de terre, microorganismes) qui le réforment sans cesse.

A titre indicatif, les spécialistes américains (WISCHMEIER) de lutte antiérosive tolèrent des pertes annuelles en terre de l'ordre de 2 à 12 tonnes à l'hectare en fonction de la profondeur du sol arable.

La technique de culture des héveas en terrasses isohypses semble donc parfaitement efficace du moins durant les premières années pendant lesquelles le développement de la couverture végétale des interlignes n'est pas entravée par la densité du feuillage des hévéas.

L'érosion en nappe telle qu'elle se présente dans la parcelle devrait cependant aboutir à des changements qualitatifs de la surface du sol puisqu'elle entraîne préférentiellement les éléments fins de 0 à 50 microns.

### 3.2. Essai de bilan hydrique

Nous sommes loin de posséder tous les éléments nécessaires à l'établissement d'un bilan hydrique précis de la parcelle. Celui-ci serait pourtant très intéressant car il nous permettrait de chiffrer approximativement les pertes annuelles des éléments fertilisants (et les migrations d'intérêt pédogénétique) au départ des teneurs moyennes de l'eau du sol constatées aux différentes profondeurs au cours de l'année.

Nous chercherons donc ici à esquisser un schéma de bilan hydrique, fut-il grossier, pour indiquer l'ordre de grandeur des différents termes et en particulier du ruissellement et du drainage considérés comme facteurs d'évolution pédogénétique principaux (voir tableaux 33-34-35) (voir en annexe les tableaux 36 à 39).

#### 3.2.1. Méthode

Nous pouvons partir du schéma suivant :

$$P = R + D (V + O) + ETR + D \text{ stock}$$

où P = - pluviométrie en millimètres

- nous l'avons mesurée sur la parcelle de l'IRCA depuis 1966
- nous donnons aussi une moyenne mensuelle établie au départ des relevés effectués à la station IFAC de l'Anguédédou de 1959 à 1969.

R = Ruissellement exprimé en mm

sur la parcelle il a varié entre 0,8 % et 0,3 % des précipitations annuelles soit 0,5 % en moyenne.

Dans le détail des calculs du bilan de la parcelle nous avons utilisé le ruissellement réellement mesuré chaque décade sur la parcelle.

Pour le bilan moyen régional nous avons pris pour base un ruissellement de 0,5 %

Sur des pentes de plus de 5 % le ruissellement atteint facilement 20 % de moyenne annuelle si la couverture végétale est médiocre.

D(v+o) = Drainage vertical et oblique : ce dernier étant de l'ordre de 0,5 % est négligeable par rapport au drainage vertical et sera confondu avec lui.

C'est le drainage vertical qu'on désire estimer car nous pensons que c'est un des facteurs de pédogénèse les plus efficaces dans cette région tropicale humide.

Estimé par différence entre la pluviosité (décadaire sur la parcelle, mensuelle pour le bilan moyen) et le ruissellement plus l'évapotranspiration réelle.

Il s'agit du drainage vertical au-delà du niveau du sol dont les variations du stock d'eau sont négligeables au cours de l'année.

ETR = Evapotranspiration réelle : non mesurée.

Estimée comme étant la plus grande partie de l'ETP (évapotranspiration potentielle) compatible avec l'eau susceptible de s'évaporer c'est à dire la pluie moins le ruissellement plus l'eau disponible du sol.

Sur la parcelle, nous l'avons évaluée par décade pour tenir compte des réserves en eau du sol : nous avons marqué de deux astérisques (\* \*) les valeurs de l'ETR tenant compte de la pluviosité de la décade antérieure ou postérieure. En effet si la décade précédente a connu un excédent de pluviosité, les réserves du sol vont pouvoir nourrir l'évapotranspiration. Si par contre il a fait sec mais que la décade suivante est excédentaire, une partie de cet excédent servira à ramener les couches superficielles du sol au voisinage de la capacité au champ et ne se retrouvera donc pas dans la masse des eaux drainées en profondeur.

Signalons que l'ETP décadaire a été mesurée au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé par le service de bioclimatologie (ELDIN) sur bascule enregistreuse (1967-68-69) ou sur cuves de 200 litres (1966) : huit mesures décadaires signalées par une astérisque sont une estimation par la formule de TURC.

On peut considérer comme négligeables la différence d'ETP decadaire entre les stations d'Adiopodoumé et de l'Anguédédou (ELDIN ; communication orale 1/70).

Pour les bilans moyens on a pris les valeurs de ETP mensuel calculé selon la formule de TURC. La compensation en fonction du stock d'eau est moins nette : elle se fait en partie à l'intérieur de chaque donnée mensuelle moyenne mais il faudra faire intervenir la valeur du stock d'eau utile sur 2,5 m (voir plus loin).

D Stock= Variations du stock d'eau du sol.

En première approximation on estime qu'elles sont négligeables d'une année à l'autre, ce qui n'est vrai qu'en moyenne sur de nombreuses années (quatre ans ne suffisent pas).

On a tenté de tenir compte de ce facteur pour estimer ETR décadaire en fonction du stock d'eau disponible du sol ; ainsi il n'a plu que 13,1 mm lors de la 1ère décade de mai 1968 mais nous avons estimé ETR ~~≠~~ ETP mesuré soit 37,4 mm en tenant compte du fait que le mois d'avril avait été abondamment arrosé et la decade précédante en particulier. De plus s'il pleut abondamment après une ou plusieurs décades sèches une partie des précipitations serviront à ramener la couche superficielle du sol aux environs de la capacité au champ : c'est donc une part soustraite au drainage et mise au compte de ETR : Ainsi la 1ère décade de mai 1969 il n'a plu que 9,1 mm mais nous avons compté ETR = ETP = 47,1 mm car il a plu 80,6 mm la décade suivante ce qui a provoqué un drainage moindre.

TABLEAU 33 - Essais de bilan hydrique par mois. - Région Anguededou moyenne 1966-1969

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
E T P	108,1	113,7	141,9	147,8	125,9	81,2	79,1	71,1	87,1	113,6	112,3	101,5	1.283,3	68,5
Pluviosité	20,1	49,5	101,8	125,1	202,2	569,5	334,9	74,7	91,6	158,6	94,2	72,5	1.894,7	100
Ruissel.	0,1	0,2	0,5	0,6	1,0	2,8	1,7	0,4	0,5	0,8	0,5	0,5	9,6	0,5
E T R	20,0	49,3	101,3	124,5	125,9	81,2	79,1	71,1	87,4	113,6	93,7	72,0	1.018,8	53,8
Drainage	0	0	0	0	75,3	485,5	253,1	33,2	4,0	44,2	0	0	866,3	45,7

TABLEAU 34 - Essais de bilan hydrique par mois sur pente abondamment couvertes (Ruiss.=0,5%)  
Région Anguedédou moyenne 1959-1969.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
E T P	103,9	118,8	127,0	123,2	110,9	74,1	80,4	75,4	78,7	102,6	116,4	98,6	1.203	57,3
Pluviosité	48,2	53,8	93,8	144,8	241,3	617,6	391,6	62,2	85,9	149,3	129,4	78,3	2.096,2	100
Ruissel.	0,2	0,3	0,5	0,7	1,2	3,1	2,0	0,3	0,4	0,7	0,6	0,4	4,1	0,5
E T R	48,1	53,5	93,3	123,2	110,9	74,1	80,4	66,9	78,7	102,6	116,4	77,9	1.021,0	48,7
Drainage	0	0	0	20,9	129,2	540,4	309,2	0	6,8	46,0	12,4	0	1.064,9	50,8

TABLEAU 35 - Essais de bilan par mois - Région Anguedédou, moyenne 1959-1969  
Hypothèses : ruissellement 20% si pente > 5% et couverture végétale faible.

E T P	103,9	111,8	127,0	123,2	110,9	74,1	80,4	75,4	78,7	102,6	116,4	98,6	1.203	57,3
Pluviosité	48,2	53,8	93,8	144,8	241,3	617,6	391,6	62,2	85,9	149,3	129,4	78,3	2.096,2	100
Ruissel.	9,6	10,8	18,8	29,0	48,3	123,5	78,3	12,4	17,2	29,8	25,8	15,6	419,1	20%
E T R	38,6	43,0	75,0	115,8	110,9	74,1	80,4	49,8	68,7	102,6	103,6	62,7	925,2	44,1%
Drainage	0	0	0	0	82,1	420,0	232,9	0	0	16,9	0	0	751,9	35,9%

### 322. Critique de la méthode

Cette méthode d'approximation où l'on ne mesure pas les variations du stock d'eau (voir fig. 12) nous donne une estimation de ETR par défaut.

En effet tant que les pluies sont supérieures à ETP on peut dire sans trop se tromper que  $ETR \approx ETP$ .

Mais durant les périodes déficitaires de l'année ( $Pluie < ETP$ )  $ETR > ETP = (Pluie - Ruiss.)$  car en saison sèche le stock d'eau du sol continue à alimenter le pouvoir évaporant des plantes et cet assèchement du sol devra être comblé en saison des pluies avant qu'il y ait réellement drainage en dehors de la zone la plus exploitée par les racines c'est à dire à plus de 2,5 m de profondeur (Note 1).

C'est pourquoi nous avons essayé de tenir compte du stock d'eau du sol la décade avant et après chaque decade : c'est ce qu'on a schématisé à la figure 12.

Notons cependant qu'il peut advenir en pleine saison sèche des pluies d'une importance telle qu'elles entraînent un drainage réel en profondeur : il ne faudrait donc pas trop étendre cette compensation car le rapport  $ETR/ETP$  baisse rapidement sur des sols sableux comme ceux de l'Anguédédou lorsque cessent les pluies.

Nous obtenons donc une estimation du drainage légèrement par excès surtout lorsqu'on tente un bilan hydrique "régional" basé sur les pluviosités mensuelles moyennes.

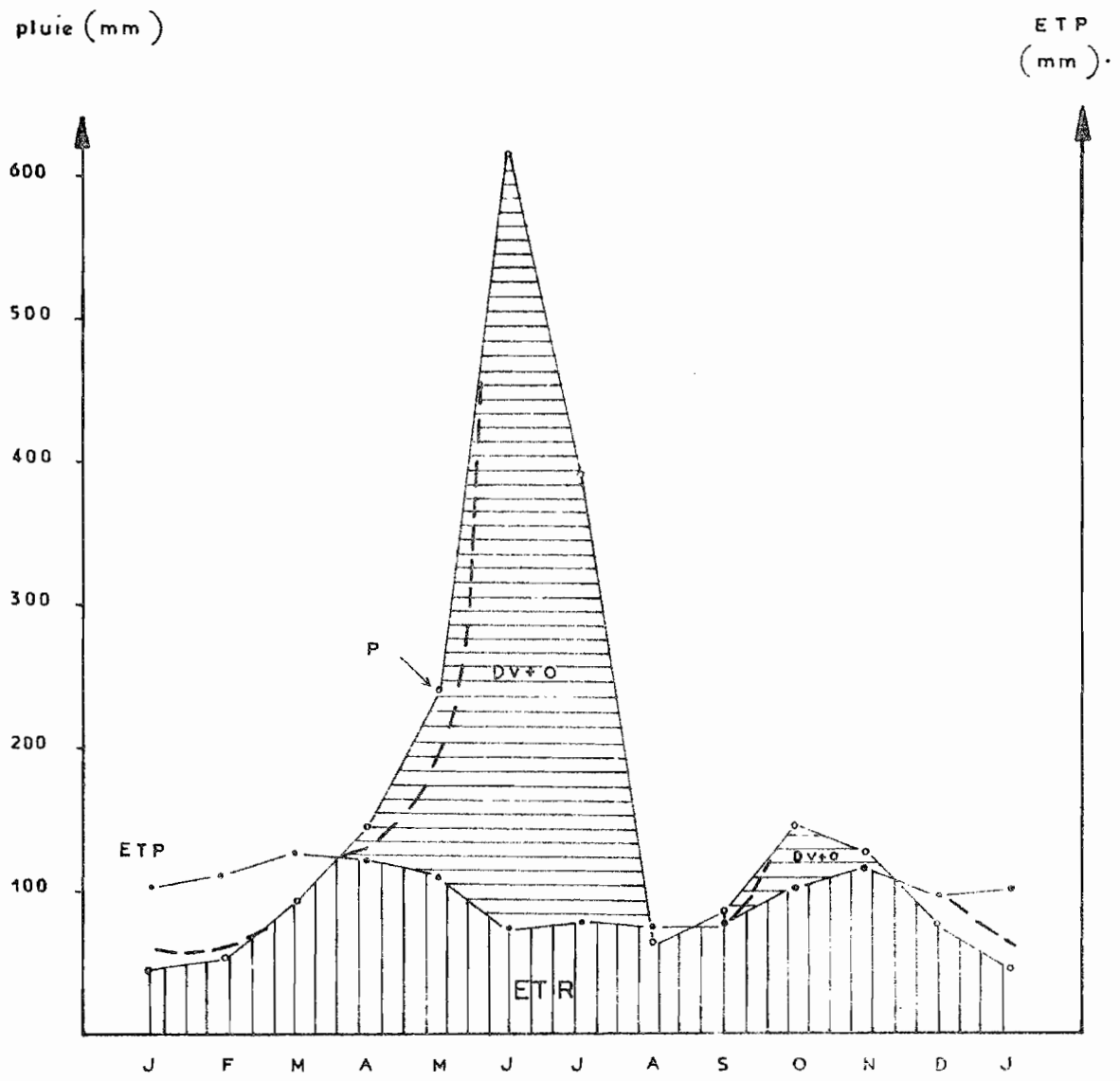
---

Note 1 - D'après les études des profils hydriques à la sonde à neutrons faites à Adiopodoumé depuis 1965 par LESPINAT, DAUDET, TALINEAU, ELDIN, ROOSE, HUPTEL et MARINI les variations de stock d'eau seraient négligeables à partir de 1,5 à 2,5 m de profondeur en fonction de la couverture végétale et de son mode d'exploitation. L'humidité du sol à partir de cette profondeur du sol y serait constamment au voisinage de sa capacité au champ et tout apport d'eau à ce niveau doit se traduire par une augmentation d'eau libre au niveau de la "nappe phréatique".

Fig. 12 Essai schematique de bilan hydrique

$$P = R + DV + 0 + ETR \pm D H_2O$$

ANGUEDEDOU



- — ● ETP "TURC" calculé à ADIOPODOUMÉ (ELDIN).
- — ○ Pluie mesurée à ANGUEDEDOU (IFAC) 1959 / 69
- ▨ ETR estimé
- ▬ Drainage estimé
- - - Rectificatif en fonction du stock d'eau du sol.

Ce drainage étant considéré comme perdu pour la plante est donc l'eau qui a atteint et dépassé le niveau où le stock d'eau ne varie guère au cours de l'année. Cette eau est un agent actif de la pédogénèse (lixiviation, désaturation du complexe absorbant, lessivage, etc...) et est capable de recharger la nappe phréatique, les puits et les sources.

On pourrait tenter de rectifier cette estimation excédentaire du drainage en lui soustrayant la valeur du stock d'eau utile pF 2,0 - pF 4,2) du sol sur 2,5 mètres de profondeur.

En effet à la figure 12, le tireté indique qu'en saison sèche (décembre à avril) l'ETR est supérieure à la pluviosité puisque les plantes puisent en réalité dans le stock d'eau du sol. Par conséquent au début de la saison des pluies (avril-mai) les précipitations doivent d'abord combler le déficit du stock d'eau du sol avant de provoquer du drainage en profondeur.

En août-septembre ce phénomène se reproduit mais à une échelle très réduite puisque l'écart entre ETP et les précipitations est très faible.

Si donc on veut corriger l'excédent de drainage ce sera au maximum de la valeur du stock d'eau utile sur 2,5 m de sol. Pour ce faire on a calculé (voir annexe Rapport 1966 valeur de pF du sol) pour chaque tranche de sol le produit de la différence entre les humidités pondérales à pF 2 - pF 4,2, par la densité apparente (1,5 en moyenne)

$H_p \% \times d_a =$  stock d'eau en mm par tranche de 10 cm de sol (HALLAIRE, 1960). On obtient 220 millimètres de stock d'eau utile sur 2,50 m.

323. Résultats

Les résultats des bilans approximatifs décennaires et mensuels sont résumés dans le tableau 40.

TABLEAU 40 - Résumé des schémas de bilan hydrique annuel.  
Anguédédou

	bilan parcelle					bilan régional			
	1966	1967	1968	1969	1966/69	1966/69	Moyen	rectifié	D. stock
E T P mm	1.497	1.241	1.090	1.305	1.283	1.283	1.203	1.203	
Pluviosité mm	1.583	1.400	1.805	1.487	1.569	1.895	2.096	2.096	
Ruissellement mm	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	
E T R %	54,1	49,4	52,8	59,9	54,0 %	53,8	48,7	59,2	
Drainage %	45,2	50,1	46,9	39,7	45,5	45,3	50,8	40,3	

Ce tableau met en évidence une évapotranspiration réelle annuelle de l'ordre de 50 à 60 %, un drainage de l'ordre de 40 à 50 %, Le drainage oblique sur une tranche de sol de 1,5 d'épaisseur est proche de 0,5 %.

Notons l'homogénéité de s résultats :

- ruissellement sous une surface bien couverte : 0,5 % + 0,2 %
- évapotranspiration réelle annuelle = 55 % + 5 %
- et donc drainage vertical = 44 % + 5 %

Il semble que le bilan régional moyen gagne à être rectifié d'une valeur s'approchant du stock d'eau utile (220 mm). Sur 2,5 m au au moins d'une fraction de ce stock (la 1/2 environ). Il reste alors 845 mm d'eau pour le drainage vertical.

La figure 12 montre bien que les époques de drainage sont les mois de mai - juin - juillet et secondairement octobre - novembre. Avril et septembre sont faiblement excédentaires et ne fourniront généralement pas de drainage vertical puisqu'il faut reconstituer le stock d'eau du sol.

L'influence de la pente sur ce bilan hydrique regional est relativement faible : HUDSON (1957) en Rhodésie avait déjà remarqué qu'au delà d'un certain seuil de pente, le ruissellement n'augmentait plus guère. A Adiopodoumé sur sol nu nous n'observons pas de différence significative entre des parcelles de 5,7 et 28 %.

Par contre la couverture végétale a une influence déterminante : nous l'avons déjà noté en analysant les résultats des mesures du ruissellement sur la parcelle puisque les deux années où R est supérieur à 0,5 % ne sont pas les années où il a plu le plus mais où la végétation a été moins abondante. Ainsi si le ruissellement ne dépasse guère 0,5 % sous forêt ou sous n'importe quelle couverture végétale suffisamment dense (2 cm de pailis suffisent !), il peut atteindre 20 % sous couverture médiocre (manioc, maïs, etc..) Dans ce cas l'ETR passe de 48,7 % à 44,1 % et le drainage vertical de 50,8 % à 35,9 %.

On voit donc que si l'augmentation du ruissellement entraîne l'assèchement du milieu écologique en saison sèche (baisse de ETR et donc de la production de matière verte), elle entraîne surtout une diminution importante du drainage, les 3/4 du ruissellement ayant lieu en saison des pluies.

Ces résultats sont suffisamment précis pour montrer que le facteur pédogénétique dominant du bilan hydrique de cette région est probablement le drainage vertical qui entraîne une lixiviation des bases et un appauvrissement en colloïdes des horizons superficiels. La pluviosité et le drainage à Anguededou (pluie // 2100 mm, Dv // 850 mm) étant nettement plus élevés qu'à Divo (P // 1750 mm, Dv // 632 mm) le complexe absorbant s'y trouve plus saturé. Reste à savoir si le ruissellement et l'érosion en nappe, moins importants quantitativement n'ont pas une action qualitative aussi importante que le drainage vertical.

Ayant mis en évidence l'importance du drainage vertical, nous nous orientons vers la mise au point d'une méthode de mesure du drainage vertical dans des conditions naturelles de sol en place. En effet dès que l'on remue quelque peu un sol on modifie la répartition des porosités et l'arrangement des macroporosités et par voie de conséquence la vitesse d'avancement du front d'eau libre,

l'infiltration et la concentration des éléments qui entrent en solution dans l'eau de drainage au contact avec les particules du sol.

De récents essais réalisés à Adiopodoumé nous ont montré que seuls des systèmes fermes permettent de boucler un bilan hydrique étant donnée l'hétérogénéité de la perméabilité du sol à chaque horizon. Nous avons donc renoncé à la méthode des bacs drainants. Nous nous orientons vers la mise en place de gros monolithes cylindriques ( $\varnothing = 63$  cm ; hauteur 1,5 m) de sol en place isolés au moyen d'un cylindre en tôle (enfonce en force) soudé par un joint de gondron coulé à chaud à un fond constitué d'une coupole conique munie d'un robinet de drainage.

Notons enfin que le drainage calculé de HENIN et AUBERT (Note 1) varie de 1.133 mm (soit 54 %) à 1.338 mm (soit 63,7 %) si on adopte un coefficient de texture "b" respectivement égal à 1 ou 1,5 pour une pluviosité annuelle moyenne de 2.100 mm et une température annuelle moyenne de 25,9°C. Notre estimation du drainage semble donc modeste.

---

Note 1 - Drainage calculé de HENIN et AUBERT

$$D = \frac{j p^3}{1 + j p^2} \quad \text{où } j = \frac{b}{0,15 T - 0,13}$$

où D = drainage calculé en mètre

p = pluviosité annuelle moyenne en mètre

b = coefficient de texture qui varie de 0,5 (argile) à 2 (sable grossier)

T = température annuelle moyenne en degrés centigrades.

### 3.3. Essai de bilan des pertes chimiques

Nous n'avons pas les éléments nécessaires pour établir de façon précise un bilan chimique de la parcelle ; il nous manque en particulier les facteurs positifs (apports par la litière, par les eaux de pluies, les remontées biologiques, etc...) et certains facteurs négatifs sont "approchés" de façon empirique (drainage vertical tiré de l'essai de bilan hydrique).

Nous tenterons cependant d'établir un schéma des pertes en solution (et pseudosolution non dissocié) dans les eaux et les pertes en éléments totaux des terres érodées.

Les bilans des pertes chimiques sont calculés au départ des produits des volumes d'eau ou des poids de terre perdus par hectare et par an par les moyennes pondérées des teneurs de chaque élément.

Voir le tableau 41 (en annexe) pour les teneurs des eaux : moyenne pondérée 1966-1969

Voir le tableau 42 (en annexe) et les fiches analytiques des terres érodées (14 échantillons de terre de fond et canal ; trois échantillons de suspension ; un seul triacide mais qui ressemble beaucoup au sol en place du moins pour le fer, silice et alumine).

TABLEAU 43 - Pertes chimiques (kg/ha/an) de la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique sous une jeune plantation d'hévea à la station IRCA à l'Anguédédou.

- Erosion, drainage oblique et vertical : moyennes de 1966 à 1969.

	EROSION			DRAINAGE		TOTAL
	"Ruissel."	Terre de fond	Suspension	Oblique	Vertical	
CaO	0,849	0,518	0,152	0,357	44,109	45,985
MgO	0,461	0,110	0,040	0,419	67,347	68,377
K <sub>2</sub> O	1,181	0,064	0,064	0,525	76,219	78,053
Na <sub>2</sub> O	0,272	0,035	0,008	0,158	19,604	20,077
C	1,730	2,980	4,197	0,726	124,131	133,764
N	0,846	0,151	0,329	0,559	78,923	80,808
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,127	0,119	0,156	0,047	6,845	7,294
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,132	4,674 <sup>x</sup>	1,765 <sup>x</sup>	0,063	10,309	16,943
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,087	8,628	3,258	0,056	8,873	20,902
SiO <sub>2</sub>	0,601	10,929	4,127	0,271	44,194	60,122

Note x - Un seul échantillon analysé aux triacides mais les résultats sont très semblables à ceux de l'horizon 0-5 cm du sol.

Les pertes en bases, azote, carbone et phosphore par érosion et drainage oblique sont très peu importantes vu les faibles volumes ruisselés et les faibles quantités de terre érodée.

Elles correspondent à une perte de :

- 6,3 kg de dolomie à 30 % de chaux et 20 % de magnésium (1,9 kg de CaO ; 1 kg de Mg O)
- 9 kg de chlorure de potassium à 20 % de potasse (1,8 kg de K<sub>2</sub>O)
- 74 kg de fumier frais à 13 % de carbone (9,6 kg de carbone)
- 9 kg de sulfate d'ammoniaque à 21 % d'azote (1,9 kg de N.)
- 2,5 kg de superphosphate à 18 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,45 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Les pertes en fer, alumine et silice par érosion sont déjà un peu plus élevées mais les chiffres ne sont pas très sûrs car on n'a analysé aux triacides qu'un seul échantillon très semblable il est vrai au sol superficiel (0-5 cm).

Les pertes en fer, silice et alumine se font presque exclusivement sous une forme associée aux éléments solides érodés. L'azote, le magnésium et surtout la potasse et la soude se déplacent sous forme soluble dans les eaux de ruissellement et de drainage. Le carbone, le phosphore et la chaux se trouvent liés tant aux solutions qu'aux solides.

TABLEAU 44 - Essais de schéma de bilan chimique pour la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique de la plantation d'hévea de l'IRCA a l'Anguédédou près d'Abidjan- Valeurs moyennes annuelles - 1966-1969.

	E R O S I O N				D R A I N A G E			C H A R G E		A P P O R T S S O U S	
	"Ruissel. 83,6 m <sup>3</sup> /ha % de E	Terre de fond 143,8kg/ha % de E	Suspension 54,3 kg/ha % de E	E.totale 197kg/ha kg/ha/an	" Oblique 49,9 m <sup>3</sup> kg/ha/an	" Vertical 8450 m <sup>3</sup> kg/ha/an	" Total général kg/ha/an	" Soluble % de T	" Solide % de T	" Décompo- sition li- tière kg/ha/an	" Pluie kg/ha an
CaO	55,9	34,1	10,0	1,519	0,357	44,109	45,985	98,5	1,5	41 à 147	28
MgO	75,5	18,0	6,5	0,611	0,419	67,347	68,377	99,8	0,2	30 à 83	33
Ca <sup>2+</sup>	90,2	4,9	4,9	1,309	0,525	76,219	78,053	99,8	0,2	32 à 269	37
Ca <sup>2+</sup> O	86,3	11,2	2,5	0,315	0,158	19,604	20,077	99,8	0,2	-	-
C	19,4	33,5	47,1	8,907	0,726	124,131	133,764	94,6	5,4	-	-
N	63,8	11,4	24,8	1,326	0,559	78,923	80,808	99,4	0,6	12 à 113	6-50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	31,6	29,6	38,8	0,402	0,047	6,845	7,294	96,2	3,8	4 à 10	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,0	71,1	26,9	6,571	0,063	10,309	16,943	62,0	38,0	(voir ROOSE et	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	72,1	27,2	11,973	0,056	8,873	20,902	43,1	56,9	1969) tableaux	
SiO <sub>2</sub>	3,8	69,8	26,4	15,657	0,271	44,194	60,122	74,9	25,1		

Avec les quelques éléments en notre possession nous avons tenté d'étudier la migration des éléments chimiques majeurs dans ce type de sol sur sable tertiaire.

Volumes d'eau, pertes en terre et teneurs sont des moyennes pondérées des chiffres obtenus de 1966 à 1969.

Le total général est une estimation du total des pertes par érosion, drainage oblique et vertical (estimé) : la comparaison des trois colonnes centrales du tableau 44 nous fera saisir l'importance relative de ces trois facteurs sur les pertes en chacun des dix éléments étudiés.

De ces trois origines considérées, le drainage oblique a le moins d'importance et le drainage vertical le plus d'influence surtout sur les éléments les plus solubles. L'érosion, même en faible quantité, a une part prépondérante dans la mobilisation de l'alumine et du fer et une part non négligeable dans la mobilisation de la silice combinée, du carbone et du phosphore (et dans une moindre proportion du calcium). Ces parts seraient bien plus importantes si l'érosion augmentait par suppression de la couverture végétale (par exemple tache de Phomes sur forte pente).

La comparaison des charges solubles et solides met en évidence la forme sous laquelle migre chacun des éléments. Les bases et l'azote migrent presque exclusivement sous forme soluble. Le carbone, le phosphore et la silice migrent principalement sous forme soluble étant donné l'importance du drainage vertical par rapport à l'érosion. Par contre le fer et surtout l'alumine sont étroitement liés aux déplacements terreux : ceci est cependant moins marqué qu'à Divo où l'érosion était trois fois plus importante.

Si on compare le total des pertes au total des apports sous forêt (ROOSE et JADIN, 1969) il semble que le sol soit en équilibre. Il reste à démontrer que les conditions sont identiques sous hévéas et sous forêt. Signalons par ailleurs qu'il n'a pas été nécessaire jusqu'ici d'apporter des engrais aux hévéas plantes sur sables tertiaires après défriche forestière mais bien après savane (drainage plus important car évapotranspiration moindre).

Notons enfin que les phénomènes d'érosion et de lessivage aboutissent à un déplacement extrêmement faible des matières organiques (environ 134 kg/ha/an de C) comparativement à l'apport de 6 à 12 tonnes (matière sèche) de litière d'une forêt. Si on considère le sol en équilibre (au moins sous forêt) il y a chaque année 6 à 12 tonnes de matières organiques qui sont "transformées" ou détruites : plus de 98 % seraient minéralisées et transformées en CO<sub>2</sub> puisqu'il n'y a guère plus de 1 % des matières organiques qui sont déplacées par les eaux atmosphériques (érosion et lessivage).

### 3.4. Les engrais

Aucun épandage d'engrais n'a été effectué jusqu'ici sur la parcelle mais ce serait intéressant d'y appliquer à l'avenir le type d'engrais préconisé pour les plantations d'hévéa sur les sables tertiaires (50 gr. de KCl/arbre sur défriche de savane ; pas encore observé de carence sur défriche forêt) et d'observer l'accroissement des pertes par érosion et drainage.

Nous voudrions cependant tirer quelques règles générales d'utilisation rationnelle des engrais dans ces pédoclimats très humides en nous appuyant à la fois sur nos résultats analytiques de l'Anguedédou et sur les observations faites à Azaguié (GODEFROY, ROOSE, MULLER, 1969) sous une bananeraie de la station IFAC.

Rappelons d'abord que l'essai de schéma de bilan chimique des pertes par érosion et drainage montre qu'il faut s'attendre chaque année à une perte moyenne d'environ 46 kg de CaO, 67 kg de MgO, 76 kg de K<sub>2</sub>O, 81 kg d'azote et 7 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. C'est l'abondance du drainage vertical qui est le principal agent de cette lixiviation. Certes, nous ne connaissons pas l'efficacité des remontées biologiques qui assurent momentanément une certaine compensation, mais il est évident que le sol en perdant définitivement ces éléments fertilisants va s'appauvrir si on ne compense ces pertes par des apports d'engrais.

En règle générale, les concentrations en éléments fertilisants (bases, azote, matières organiques et phosphore) dans les eaux de ruissellement et de drainage diminuent durant les périodes les plus pluvieuses de l'année pour remonter ensuite en saison sèche jusqu'à atteindre le niveau d'équilibre donné pour le complexe sol-climat-végétation en présence.

Si on introduit dans le système des engrais, les concentrations de ces éléments dans les eaux vont monter très fortement puis rejoindre le "niveau de base" à plus ou moins brève échéance fonction du type d'engrais et de l'intensité des phénomènes de lixiviation. Des essais réalisés sous une bananeraie irriguée et fumée de la station IFAC à Azaguié nous ont montré que ce retour des teneurs au niveau de base de la courbe annuelle était dû non pas à la fixation des engrais dans le sol mais à sa disparition en partie par immobilisation dans la plante (ce qui est le but recherché) en partie par lixiviation par les eaux de ruissellement et de drainage, cette dernière partie étant, malheureusement, de loin la plus importante (85 % de calcium, 70 % de la magnésie, 60 % de la potasse et 56 % de l'azote ces deux derniers étant mieux absorbés par la plante).

Il en résulte qu'on ne peut pratiquer aucune vraie "fumure de fond" dans ces climats subéquatoriaux très humides car tous les éléments fertilisants y sont très mobiles (surtout K et N mais aussi Ca et Mg) à l'exception des phosphates qui sont rapidement fixés par l'alumine et le fer abondants dans ces sols ferrallitiques.

Cependant, il est parfois intéressant de relever le niveau de fertilité général et le pH en particulier (amendement) de certains sols très désaturés par des apports répétés de doses d'engrais légèrement supérieures à la dose normale d'entretien (consommation par la plante plus entraînée par érosion et par drainage). Ce n'est plus une fumure de fond à proprement parler.

Si l'on veut rentabiliser au maximum les apports d'engrais il faut donc les distribuer en petites fractions (4 à 6 pour les cultures arbustives) et uniquement pendant les périodes de forte

croissance végétative (15) (forte activité des racines). Des essais agronomiques devraient déterminer la forme de présentation la plus rentable : soit des poudres d'éléments directement assimilables par les plantes soit au contraire des granules de grosse taille, peu solubles (éventuellement solubilité réduite par un enrobage fin de plastique) (AHMED, 1964) à action plus lente et plus étalée.

Actuellement on n'a pas encore constaté de carence dans les plantations d'hévéas effectuées sur défriche forestière en Côte d'Ivoire.

Sous savane on effectue un seul épandage de KCl (50 gr/arbre) par an en décembre car on n'a pas constaté d'effet sur la croissance du fractionnement de la dose en deux temps (fin décembre et août). On peut cependant s'attendre qu'à la longue le sol s'appauvrira en éléments facilement solubles et le problème de la rentabilisation maximum de la fumure se posera.

---

(15) En basse et moyenne Côte d'Ivoire on peut observer quatre périodes de forte croissance végétative entrecoupées par 2 à quatre périodes de repos :

Repos

- parfois <
- 1 - Grande saison sèche (janvier à mars) : manque d'eau.
  - 2 - Grande saison des pluies (juin à mi-juillet) : manque de lumière.
  - 3 - Petite saison sèche (août) parfois manque d'eau et de lumière (mois le plus sec mais ciel toujours gris).
  - 4 - Petite saison des pluies (octobre 1/2 novembre) manque de lumière.

Forte croissance

- 1 - Premières pluies (mars-avril-mai)
- 2 - Fin des pluies (mi-juillet)
- 3 - Premières pluies (septembre)
- 4 - Fin des pluies (décembre).

C'est à ces dernières époques qu'on a le plus de chance de voir les engrais profiter aux cultures.

## CHAPITRE IV - CONCLUSIONS GENERALES

En vue d'étudier l'efficacité de la technique antierosive de plantation de l'hévéa en terrasse isohypse ainsi que différents aspects de la pédogénèse actuelle (érosion, lessivage oblique, appauvrissement et lixiviation) et de la conservation de la fertilité (bilan hydrique et entraînement des éléments fertilisants) des sols ferrallitiques très desaturés sur sables tertiaires, l'IRCA et l'ORSTOM ont conclu un protocole d'accord pour l'expérimentation en commun d'une case de mesure expérimentale de l'érosion et du drainage oblique.

En 1965, une parcelle de 204 m<sup>2</sup> et 29 % de pente a été délimitée sur une jeune plantation d'hévéa sur terrasses isohypses dans le jardin grainier (bloc 3/3) établi par l'IRCA à l'Anguédédou. Au bas de cette parcelle ont été installés deux dispositifs, l'un classique permettant de mesurer l'érosion et le ruissellement, et l'autre de conception originale en vue d'intercepter le drainage oblique.

Le présent rapport rappelle le milieu et le dispositif expérimental et donne une vue d'ensemble des résultats des quatre premières années de mesure correspondant à la 1ère phase critique, celle de la plantation.

On peut résumer les principaux résultats comme suit :

1. Pluviosité : Trois années sur quatre furent déficitaires si bien que la pluviosité régionale moyenne n'atteint que 1900 mm au lieu des 2.100 mm (moyenne sur plus de 10 ans).

Suite à l'exposition de la pente et à la proximité d'un rideau forestier la pluviosité n'a guère dépassé sur la parcelle 82 % de la pluviosité régionale et cela indépendamment de la croissance des héveas.

L'index d'érosivité "R" du climat défini par WISCHMEIER comme étant la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires supérieures à 10 mm par leur intensité max. en 30 minutes a varié de 553 à 755 pied.tonne/acre.pouce/heure sur la parcelle et a été estimé à 990 p.t/a.p/h. pour la région: ces indices d'érosivité sont très élevés puisqu'ils varient de 150 à 850 aux USA.

Deux types de liaison ont été établis entre la hauteur de pluie unitaire et l'indice R : durant les mois de juin, juillet et août la régression est rectilinéaire tandis que durant le reste de l'année la régression est curvilinéaire.

Ceci est à mettre en relation avec le déplacement du front inter-tropical et les zones de forte convergence qui déterminent les types d'averse au cours de l'année.

Les intensités max. ont atteint pendant quelques minutes 100, 150 et même 250 mm/heure mais elles dépassent rarement 45 mm/heure pendant une heure. Plus des 9/10 du temps l'intensité est inférieure à 20 mm/heure et la pluie ne cause pas de dégât, d'érosion.

2. L'érosion : sous hevea a varié de 60 à 330 kg/ha (moyenne 1966-69 : 200 kg/ha) dont 20 à 60 % d'éléments fins en suspension. Ces chiffres sont très semblables à ceux qu'on a relevés dans la forêt voisine. Quantitativement elle est tout à fait négligeable mais qualitativement cette érosion en nappe est sélective vis à vis des éléments fins (particules de 0 à 20 microns et matières organiques) les plus riches et appauvrit lentement la surface du sol. L'érosion semble augmenter sensiblement lorsque le couvert végétal est faible.
3. Le ruissellement : est également négligeable mais pas inexistant (= sécurité). Il a atteint en moyenne 0,5 % de la pluviosité annuelle et des maxima de 2 à 4 % pour de rares et fortes pluies unitaires.
4. Le drainage oblique : dans la tranche de sol étudiée est négligeable dans le cadre d'un bilan annuel (0,32 %). Il est cependant nettement supérieur les trois dernières années (0,36 à 0,43 %) que la 1ère où l'on n'a enregistré que 0,13 % les récipients de stockage étant trop réduits. Il est du même ordre de grandeur que le ruissellement et peut également atteindre 2 à 4 % lors de fortes averses.

L'intérêt de l'étude du drainage oblique réside donc moins dans l'aspect quantitatif que qualitatif : elle nous permet de suivre la charge soluble et pseudo-soluble des eaux de drainage à différentes profondeurs.

2. La température des eaux de ruissellement et de drainage varie rarement au-delà de 22 à 25°C.

Des pH extrêmes de 3,7 à 9,3 ont été atteints mais généralement ils varient entre 6,6 - 7,3 pour les eaux de ruissellement et 6,2 à 7,1 pour les eaux de drainage. Les eaux de drainage sont donc légèrement plus acides que celles de ruissellement et d'autant plus que le drainage est profond.

La resistivité des eaux de ruissellement (10 à 25.000 ohms-cm) est supérieure à celle des eaux de drainage (5.000 à 20.000 ohms-cm). La charge soluble en moyenne est médiocre sauf au début de la saison des pluies après quoi on assiste à une dilution des cations de l'eau liée par les eaux de drainage.

6. La somme des bases en solution subit une très nette baisse de 1966 à 1967 puis une légère remontée qui se continue ou non en 1969. Dès 1967 la végétation abondante aurait fixé les cations libres par le brûlage des branches en 1965 et échappés à la lixiviation en 1966 : on arrive alors à un nouvel équilibre peu différent de celui qui existait sous forêt.

On constate une forte influence dépressive du volume des écoulements sur les teneurs en bases, influence d'autant plus forte que les cations sont moins solidement fixés au complexe absorbant (influence + forte sur monovalents que sur bivalents). Il s'en suit des variations saisonnières bien marquées.

Les teneurs en calcium des eaux de ruissellement et du 1er étage du drainage ( $I_1$ ) sont du même ordre de grandeur à Anguédédou, Adiopodoumé et Divo (6 à 11 p.p.m.). Les eaux de drainage profond par contre sont trois fois plus riches à Divo qu'à Anguédédou et à Adiopodoumé (5-6 p.p.m.).

Les teneurs en magnesium des eaux sont très faibles (3 à 5 p.p.m.) à Anguédédou : environ la 1/2 des teneurs d'Adiopodoumé et le 1/4 de celles de Divo.

Par contre les teneurs en potassium des eaux de ruissellement (11 p.p.m.) sont le double de celles de Adiopodoumé et Divo tandis que les eaux de drainage (8,5 p.p.m.) sont 4 fois supérieures à celles d'Adiopodoumé mais 3 à 6 fois inférieures à celles de Divo. L'effet du brûlis et de la roche mère se font donc bien sentir pour le potassium.

Les teneurs en sodium sont faibles et semblables pour chacune des parcelles (np = 1 à 3 p.p.m.) sauf pour les eaux de drainage de Divo (roche mère plus riche) qui sont 3 à 9 fois plus riches.

Au total on peut donc craindre une forte lixiviation de la potasse mais aussi de la chaux et de la magnésie. Cet entrainement par les eaux est d'autant plus fort que le sol est riche en ces éléments.

7. La forêt produit chaque année 8 à 12 tonnes (matière sèche) de litière : les eaux de ruissellement et de drainage redistribuent ces matières organiques tout au long des séquences topographiques du paysage et à l'intérieur du profil pédologique lui-même. Le défrichement a libéré une énorme masse de matières organiques susceptibles d'être entraînées, par les eaux mais dès la troisième année un nouvel équilibre entre formation et perte de matière organique s'établit à un niveau nettement plus bas : rabattage des herbes dans les interlignes, sarclage des lignes de plantation et chute des feuilles d'hévea. Les eaux de ruissellement (np baisse de 25 à 18 p.p.m.) sont plus riches en carbone que les eaux de drainage (np baisse de 18 à 7 p.p.m.)

Respectivement dix et trente % de l'azote total (9 à 18 mgr/l) des eaux de ruissellement et de drainage sont minéralisés : 5 à 9/10 de l'azote minéralisé sont des nitrates. Les nitrates (np ruiss. = 0,9 p.p.m. ; np drain = 2,7 p.p.m.) et l'azote organique sont donc facilement lixiviés par les eaux de drainage : une bonne part de l'urée serait entraînée avant même d'être utilisable par les plantes.

8. Le phosphore est toujours en très petites quantités dans les eaux étudiées (0,1 à 2,5 p.p.m. de  $P_2O_5$ ) car il est très vite "insolubilisé" par le fer libre : ce serait le seul élément fertilisant à pouvoir faire l'objet d'une véritable fumure de fond.

9. Les teneurs en fer (0,2 à 2,5 p.p.m.) et en alumine (0,2 à 1,2 p.p.m.) sont faibles dans les eaux de ruissellement et de drainage ; elles montrent une nette tendance à croître lorsque le débit augmente, contrairement aux corps plus solubles comme les bases et l'azote.

A l'Anguédédou comme à Divo, leur migration semble liée actuellement à des migrations terreuses (érosion) ou colloïdales (lessivage), les conditions pedo-climatiques n'étant pratiquement jamais reductrices.

Les teneurs en silice (2 à 11 p.p.m.) sont 2 à 3 fois supérieures à celles du fer et de l'alumine réunis ce qui traduit bien l'évolution ferrallitique actuelle de ce sol mais pas de façon aussi éclatante que sur des sols plus riches en éléments capables d'évolution (Azaguié, Divo). Il semble qu'il y ait un lien entre la richesse en bases du sol et l'entraînement par les eaux de la silice et des bases.

10. Aucun essai d'engrais n'a été effectué sur la parcelle afin d'observer d'abord l'effet du défrichement. Cependant les résultats d'analyse des échantillons recueillis à Anguédédou et les observations faites sous bananeraie fertilisée à Azaguié (station IFAC) confirment la rapidité de la lixiviation par les eaux de drainage non seulement de l'azote (organique et nitrate) et de la potasse mais aussi de la chaux et de la magnésie. Seuls les phosphates rapidement immobilisés dans les niveaux riches en fer ou en matières organiques pourraient faire l'objet d'une fumure de fond. Pour rentabiliser les autres types d'engrais il faudrait les épandre en période de croissance végétative active après la saison des pluies et éventuellement les fractionner.
11. Les charges pseudo-solubles moyennes (50 échantillons totalisant 725 litres) diminuent de 246 mgr/l au niveau de surface I<sub>1</sub> à 105 mgr/l en I<sub>2</sub> puis à 86 mgr/l en I<sub>3</sub> et enfin à 71 mgr/l en I<sub>4</sub> tandis qu'il ne reste plus que 2 à 10 mg/l à la sortie d'une source.

L'érosion interne par lessivage oblique sur 1,5 m s'élève en moyenne à 5,3 kg/ha/an : il faudrait 120.000 ans environ pour obtenir l'appauvrissement en argile constaté dans les horizons superficiels.

Remarquons que les charges diminuent depuis la surface jusqu'en profondeur. On peut donc imaginer que les eaux de drainage ne sont que des eaux de ruissellement chargées par l'effet splash des pluies à la surface du sol humide et qui en s'infiltrant perdent progressivement leur charge colloïdale. Ailleurs, les eaux pourraient se charger à l'intérieur même du profil par frottement dans les macroporosités du sol imbibé d'eau.

Si on estime à 845 mm le drainage vertical annuel moyen pour lequel les charges pseudosolubles en chaque horizon sont les mêmes que celles du drainage oblique, on peut calculer une perte de 2,1 tonne/ha/an d'argile entraînée dont les 3/4 se déposeraient avant 1,5 m de profondeur (ce qui ne coïncide pas tout à fait avec le profil granulométrique). En partant d'une teneur originale homogène en argile de 31,5 % il suffirait de 300 ans pour arriver au profil appauvri actuel. Le lessivage vertical s'il ne se traduit pas par un enrichissement très localisé en argile, n'en est pas moins un moteur très actif de la pédogenèse actuelle de ces sols ferrallitiques très désaturés.

La comparaison des granulométriques des terres érodées (suspension et terre de fond) et du sol en place (0-5 cm) montre qu'une sélectivité importante se développe dans l'érosion des matières organiques, des argiles et des limons (0 à 50 microns) des bases, de l'azote et du phosphore. Des facteurs d'appauvrissement en argile des horizons superficiels du sol c'est l'entraînement par les eaux de drainage avec floculation diffuse qui semble le plus actif actuellement : 100 à 1000 fois plus actif que l'érosion sélective, le lessivage oblique et la destruction de l'argile.

12. En vue de fixer les ordres de grandeur, on a tenté un bilan hydrique schématique selon la formule :

$$\text{Pluie} = \text{Ruiss.} + \text{Drain (obl. + vertical)} + \text{ETR} \pm \text{Stock d'eau}$$

En négligeant les variations du stock d'eau (qui finissent par se compenser d'une année à l'autre) et en définissant l'évapotranspiration réelle (ETR) comme étant la plus grande fraction de l'ETP (moyenne mensuelle) compatible avec l'eau susceptible de s'évaporer (pluie moins ruissellement plus stock d'eau du sol) et en travaillant par décades, on a trouvé pour une année moyenne de pluviosité (station IFAG de l'Anguédédou) de 2.100 mm, une évapotranspiration réelle de l'ordre de 55 % ( $\pm 5$  %), un drainage vertical de l'ordre de 44 % soit 845 mm ( $\pm 5$  %) et un ruissellement moyen de 0,5 %.

L'influence de la pente sur ce bilan est négligeable puisque le ruissellement ne change pratiquement pas tant que le sol est couvert. Par contre si la couverture végétale vient à disparaître, le ruissellement peut atteindre 20 % et l'ETR ne sera plus que de 44 % et le drainage de 36 %. Les modifications du ruissellement se font donc sentir principalement sur le drainage.

13. L'essai de bilan des pertes chimiques est établi au départ des produits des teneurs moyennes pondérées (sur 4 ans) des 10 éléments étudiés par les volumes d'eau écoulés (voir bilan hydrique) ou par les poids de terre érodée par hectare et par an.

TABLEAU 45 - Pertes annuelles moyennes par erosion, drainage oblique et vertical.

Case ERLO IRCA, Anguédédou - Moyenne 1966-69 en kg/ha/an.

	Ca O	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Erosion	1,5	0,6	1,3	0,3	8,9	1,3	0,4	6,6	12,0	15,7
Drainage oblique	0,4	0,4	0,5	0,2	0,7	0,6	0,05	0,06	0,06	0,3
Drainage vertical	44,1	67,3	76,2	19,6	124,1	78,9	6,8	10,3	8,9	44,2
TOTAL	46,0	68,3	78,0	20,1	133,7	80,8	7,3	16,9	20,9	60,2

Les pertes par erosion et drainage oblique sont faibles sauf pour le fer, l'alumine et le carbone.

Les pertes estimées par drainage vertical par contre sont loin d'être négligeables en ce qui concerne le carbone, le phosphore et la silice mais surtout pour les bases et l'azote.

Les bases et l'azote circulent presque exclusivement sous forme soluble, le fer et l'alumine sous forme solide et les autres figurent dans la charge solide mais surtout dans la charge soluble (gros volume d'eau de drainage).

Ces résultats devront être précisés dans les années à venir par des prélèvements plus nombreux (suspension et charge colloïdale) et complétés par de nouveaux essais tels que l'utilisation d'engrais et la diminution du couvert végétal des interlignes par les herbicides.

## Remerciements

Nous sommes très reconnaissants à Monsieur AUBERT, Chef de la Section de Pédologie de l'ORSTOM, et à Monsieur FOURNIER, Directeur Scientifique de E. ROOSE de nous avoir confié ce programme de recherche passionnant.

Nous remercions d'autre part la Direction de l'IRCA qui a compris l'intérêt d'une recherche fondamentale débouchant aussi directement sur des applications pratiques et qui a accepté la prise en charge des manipulations sur le terrain.

Celle-ci fut assurée grâce à la collaboration attentive de Monsieur DELABARE, chercheur de l'IRCA ainsi que de Messieurs BONNAIRE et COMBES, stagiaires.

La mise au point de l'analyse des échantillons d'eau et le soin apporté au travail de série sont particulièrement importants pour la réalisation d'un tel programme. Qu'il nous soit permis d'en remercier ici Monsieur NALOVIC, Chef du laboratoire d'analyse du Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Monsieur GOUZY qui lui a succédé en juillet 1968, Mmes PERRAUD et GAVINELLI et Monsieur PETARD techniciens-chimistes ainsi que toute l'équipe des techniciens africains sans lesquels cet imposant travail d'analyse n'aurait pu être réalisé.

Enfin nous tenons à exprimer toute notre gratitude à Monsieur de BOISSEZON qui nous a si souvent prodigué ses conseils judicieux et en particulier lors de la correction du manuscrit.

ANNEXE 1 - BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ANONYME - "L'équation universelle de perte de sels de Wischaeier"  
Rapport multigr. C.T.F.T., Madagascar 15 p., 1 tableau, 6 réf.
- 2 - AUBERT (G.) et SEGALIN (P.) - 1966. - Projet de classification des  
sols ferrallitiques.  
Cahier ORSTOM série Pédologie Vol. 4 n° 4 p. 97-112.
- 3 - BERNHARD (F.) - 1967. - "Production et décomposition de la litière  
en forêt du Banco et étude floristique de la strate arbores-  
cente en forêt de Yapo (Côte d'Ivoire)".  
Rapport ORSTOM multigr. déc. 1967, 27 p.
- 4 - COURPRON (C.) 1966. - Etude de la mobilité de la potasse appliquée  
à un sol sablo-humifère des Landes de Gascogne.  
C.R. Acad. Agric. fr. (Paris) Oct. 66, 52, 13, 958-963.
- 5 - de BOISSEZON (P.) - 1969. - Note sur la classification des sols  
ferrallitiques  
Rapport multigr. ORSTOM Adiopodoumé, 11 p. 3 fig.
- 6 - ELDIN (M.), PERRAUD (A.), GUILLAUMET (J.L.), AVEHARD (J.M.). -  
Monographie sur le milieu naturel en Côte d'Ivoire.  
Chapitre - Climats.  
Edition ORSTOM à paraître.
- 7 - FEODOROFF (A.) - 1965. - "Mecanismes de l'érosion par la pluie"  
Revue Géogr. Phys. Géol. Dyn. (Paris) avril - juin 1965  
VII, 2 p 149 - 163.
- 8 - GOEL (K.N.), KHANNA (M.L.), GUPTA (R.N.) - 1968. - Effect of degree  
and length of slope and soil type on plant nutrient losses by  
water erosion in the alluvial tracts of Uttar Pradesh"  
J. of soil and water conservation in India, 1968 n° 1 p1-6 ;  
15 réf., 6 tabl.

- 9 - GODEFROY (J.) ; ROOSE (E.J.) ; MULLER (M.) - 1969. - Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire ; bilan sur trois années.  
Rapport multigr. IFAC 13p. ; 18 tabl. ; 10 réf. à paraître dans Fruits et Agrumes Tropicaux.
- 10 - HALLAIRE (M.) - 1960. - "L'eau et le sol"  
Techniques Agricoles n° 1, 1160, p. 1 à 20
- 11 - HUDSON (N.W.) - 1957. - "Soil erosion and tobacco growing"  
"Rhodesia agricultural Journal vol. 54, n°6, pp. 547 - 555
- 12 - KANEHIRO (Y.), NAGASAKO (L.K.) and HADANO (H.F.) 1960. - Leaching loss of nitrogen fertilizers.  
Hawaiian Farm Sci. n° 9, p. 6 - 7
- 13 - LENEUF (N.) 1966. - Exposé introductif sur le processus de lessivage dans les sols ferrallitiques.  
Cahier ORSTOM, série Pédologie Vol. 4 n° 4 p. 25 - 29, 2 réf.
- 14 - NALOVIC (Lj.), GAVINELLI (E.) et PETARD (J.) 1968. - "Les méthodes d'analyse des sols et des eaux utilisées au laboratoire du Centre d'Adiopodoumé"  
Rapport multigr. ORSTOM 123p., 67 réf., 6 fig, 9 tabl.
- 15 - OSBORN (B.) 1954. - "Effectiveness of cover in Reducting soil splash by raindrop Impact."  
Journ. of soil and water conservation, vol. 9, pp. 70 - 76.
- 16 - PERRAUD (A.) 1967. - Notice explicative de l'esquisse pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/500.000.  
Rapport multigr. ORSTOM Adiopodoumé Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire : convention des études pour le reboisement et la protection des sols - 93 p., 1 carte, 4 coupures.

- 17 - ROOSE (E.J.) Août 1967. - "Erosion, ruissellement et lessivage oblique sous une plantation d'hévéa de basse Côte d'Ivoire : I milieu, dispositif et résultats en 1966."  
Rapport multigr. ORSTOM -IRCA Abidjan, 46p. ; 7 tabl. ; 5 fig. ; 36 réf.
- 18 - ROOSE (E.J.) 1967. - Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour la conservation des sols.  
Etudes expérimentales et observations sur le terrain  
Rapport multigr. ORSTOM - ABIDJAN 19 pages 7 réf.
- 19 - ROOSE (E.J.) 1967. - "Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures."  
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive 19-25/11/67 : communication n° 113 pp. 1385-1404 ; 3 tabl ; 14 fig ; 21 réf.
- 20 - ROOSE (E.J.)- GODEFROY (J.) 1967. - "Lessivage des éléments fertilisants en bananeraie."  
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive 19-25/11/67 : communication n° 114 pp. 1405-1409;1 tabl. ; 2 réf.
- 21 - ROOSE (E.J.) 1968. - "Erosion en nappe et lessivage oblique dans quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire"  
Communication à la 6ème Conf. Biennale de la WASA/ASOA.  
Abidjan 8-13/4/1968  
15p. ; 3 tabl. ; 11 réf.
- 22 - ROOSE (E.J.) 1968. - "Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place"  
Cah. ORSTOM, série Pédol. VI n° 2  
p. 235 - 249, 21 réf. 4 fig.

- 23 - ROOSE (E.J.) et JADIN (P.) nov. 1969. - "Erosion, ruissellement et drainage oblique sur un sol à cacao en moyenne Côte d'Ivoire : station IFCC près de Divo.  
I milieu, dispositif et résultats des campagnes 1967 - 68"  
Rapport multigr. ORSTOM - IFCC, ABIDJAN 77p. ; 23 tabl. ; 15 fig. ; 154 réf.
- 24 - SEGALEN (P.) et LEAL SILVA (J.N.) 1969. - Le fer, le manganèse, l'aluminium et la Silice facilement extractibles dans les sols tropicaux à sesquioxides.  
Cah. ORSTOM., Sér. Pédol, VII, 3, p. 287-310 3fig, 6 tabl.  
70 réf.
- 25 - - SMITH (D.D.) and WISCHMEIER (W.H.) 1962. - "Rainfall erosion"  
Advances in Agron. 14 : p.109-148  
Academic Press, Inc, NEW-YORK.
- 26 - WATSON, A. ; WONG PHUI WENG ; NARA SANCN, R. 1964. - Effects of cover plant on soil nutrient status and on growth of hevea.  
V. Loss of nitrate - nitrogen and of cations under Bace soil condition - (A progress report on results from a small scale trial)  
J. Rubb. Res. Inst. Malaya 18 (4) : p. 161-174
- 27 - WISCHMEIER (W.H.) and SMITH (D.D.) 1958. - Rainfall energy and its relationship to soil-loss.  
Trans. Amer. Geo. Union, 1958, 39, pp. 285-291, 13 ref.
- 28 - WISCHMEIER (W.H.) 1959. - A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proceedings, 1959, t.23, pp. 246-249.
- 29 - WISCHMEIER (W.H.) April 1962. - Rainfall erosion potential - geographic and location differences of distribution  
Agricultural Engineering 43 p. 212-215. 8 réf.
- 30 - ZINGS (A.W.) 1940. - "Degree and length of land slope as it effects soil loss in runoff".  
Agr. Eng. 21 (2), pp. 59-64.

A N N E X E 2 :

## QUELQUES TABLEAUX

- n° 2 - Températures mensuelles moyennes à la station IFAC de l'Anguédédou : 1959-1969.
  - n° 31 - Charges pseudosolubles dans les eaux 1966-1969.
  - n° 36 à 39 - Essais de bilan hydrique à la parcelle 1966 à 1969.
  - n° 41 - Résumé des résultats d'analyse des eaux recueillies à l'IRCA de 1966 à 1969.
  - n° 42 - Résumé des résultats d'analyse des terres de fond et des suspensions recueillies à l'IRCA de 1966 à 1969.
-

Tableau 2. Températures mensuelles moyennes à la station IFAC de l'ANGUEDEDOU.  
- Moyennes mensuelles des années 1959 à 1969. -

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septemb.	Octobre	Novemb.	Décem.	Moyenne annuelle
1959	28,40	28,40	28,60	28,10	27,00	25,90	24,80	24,85	24,95	26,30	26,95	26,80	26,75
1960	26,75	28,05	27,40	27,70	27,80	26,35	25,75	25,40	26,25	26,80	27,45	26,85	26,87
1961	27,00	27,85	28,40	28,05	28,25	26,30	24,85	23,95	25,15	26,60	26,85	26,40	26,64
1962	27,15	27,45	26,45	26,75	27,10	23,90	23,75	23,45	24,70	25,70	25,50	25,90	25,65
1963	26,25	26,70	26,95	27,15	26,95	26,25	25,30	25,20	25,95	25,80	26,15	25,95	26,21
1964	25,65	27,12	27,04	26,99	26,02	24,70	23,85	22,95	23,90	24,90	26,40	25,80	25,44
1965	25,71	27,10	27,28	26,97	27,02	24,97	25,10	23,80	24,11	25,26	25,76	25,62	25,73
1966	25,81	26,68	26,97	26,46	26,67	25,44	24,69	23,84	23,88	25,09	25,70	25,59	25,57
1967	25,06	26,53	27,07	26,17	--	--	23,09	23,49	23,65	25,87	25,84	25,52	25,23
1968	25,96	26,32	26,39	26,09	25,89	25,02	25,09	24,76	24,80	25,39	25,53	25,45	25,56
1969	25,34	26,68	27,13	26,81	26,60	26,51	25,82	24,69	24,03	24,16	24,67	25,10	25,63
Moyenne	26,28	27,17	27,24	27,02	26,93	25,53	24,74	24,22	24,67	25,62	26,07	25,91	25,93

TABLEAU 31 - Volume et poids net (mgr./l) des charges pseudo-solubles dans les eaux recueillies à l'I.R.C.A.

ANNEES	DATES	I <sub>0</sub>		I <sub>1</sub>		I <sub>2</sub>		I <sub>3</sub>		I <sub>4</sub>		
		Vol.l	P.N. mgr/l	Vol.l	mgr/k	Vol.l	mgr/h	Vol.l	mgr/l	Vol.l	mgr/l	
1966				1,0	25,0	17,0	28,5	9,0	52,5	27,4	10,2	
1967	7. 6.67	18,15	61			11,15	26	18,65	15	19,50	26	
	10. 6.67									20,50	29	
	14. 6.67									19,70	21	
	15. 6.67					19,75	24	18,00	18	19,70	22	
	25. 6.67									19,64	227	
	26. 6.67					19,70	46	18,60	40	18,50	22	
	27. 6.67			2,10	63							
	2. 7.67									19,90	42	
	u		61		63		33		24		56	
1968	24. 6.68			0,35	2,533	0,40	1,190	0,30	265	0,90	483	
	9. 7.68					0,40	669					
	21. 7.68			6,25	40	37,40	78			31,40	79	
	12-13/8.68					6,70	84	1,55	167			
	u				361		94		183		90	
1969	14-16.6.69					4,00	297	4,10	101			
	16. 6.69					12,60	738					
	19. 6.69			20,90	99	23,50	122	56,30	122	43,00	122	
	5. 7.69	2,05	0,519			1,90	115					
	10. 7.69	1,00	1.042	32,80	4	61,50	157	46,50	78			
	u		682		80		225		102		122	
	oyenne 66-69			432	246	89,2	105	99,0	86	108,7	71	
Total 66/69 mg Lessivage oblique				42. 519mgr		37.459		34.210		30.570		
L.O. kg/ha		21,288 kg/ha			5,322 kg/ha an			144.760 mgr/4 ans				

TABLEAU 36 - Essais de bilan hydrique par décade avec compensation de ETR  
d'une decade à l'autre Anguédédou 1966.

Pluie = Ruiss. + Drainage (obl. + vert.) + ETR + variation stock eau

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
ETP ordon	38,8	34,5	36,4	63,3	66,4	31,2x	30,6	26,3	40,2	42,3	50,3	38,4	1497,0	95
	35,6	41,2	55,8	65,1	51,3	30,7x	30,6	26,9	42,1	48,0	39,0	36,6		
	37,6	32,4	64,4	68,1	45,9	36,3	27,3	28,3	30,0	47,5	39,6	37,0		
	112,0	108,1	156,6	197,5	163,6	98,2	88,5	81,5	112,3	137,8	128,9	112,0		
Pluviosité	8,0	57,3	35,0	12,8	2,7	151,5	161,0	6,5	14,5	18,5	8,5	10,5	1582,8 mm	100
	0,0	0	19,5	49,5	49,0	157,0	284,0	1,0	4,5	13,5	53,0	1,0		
	42,0	12,5	28,0	4,5	27,5	73,0	14,0	11,5	44,5	177,0	26,0	3,5		
	50,0	69,8	82,5	66,8	79,2	381,5	459,0	19,0	63,5	209,0	87,5	15,0		
Ruisselle- ment	0,2	0	0,2	0,1	0	1,7	1,8	0	0	0	0	0	11,5 mm	0,7
	0	0	0	0,4	0,2	0,4	3,4	0	0	0	0,1	0		
	0,3	0	0	0,2	0,2	1,2	0,1	0	0	0,9	0,1	0		
	0,5	0	0,2	0,7	0,4	3,3	5,3	0	0	0,9	0,2	0		
ETR	7,8	34,5	34,8	12,7	2,7	31,2	30,6	6,5	14,5	42,3 <sup>xx</sup>	22,5 <sup>xx</sup>	10,5	855,8 mm	54,1
	4,1	22,8 <sup>xx</sup>	19,0	49,1	48,8	30,7	30,6	1,0	19,0 <sup>xx</sup>	48,0 <sup>xx</sup>	39,0	1,0		
	37,6 <sup>xx</sup>	12,5	28,0	4,3	27,3	36,3	27,3 <sup>xx</sup>	11,5	30,0	47,5	25,8	3,5		
	49,5	69,8	82,3	66,1	78,8	98,2	88,5	19,0	63,5	137,8	87,3	15,0		
Drainage estimé	0	0	0	0	0	118,6	128,6	0	0	0	0	0	715,5	45,2
	0	0	0	0	0	125,9	235,6	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	35,5	0	0	0	70,3	0	0		
	0	0	0	0	0	280,0	365,2	0	0	70,3	0	0		

\* Approximation

Compensation de ETR en fonction du stock d'eau d'une decade à l'autre

TABLEAU 37 - Essais de bilan hydrique par décade avec compensation de ETR d'une décade à l'autre, Anguédédou 1967.

Pluie = Ruiss. + Drainage (obl.+vert.) + ETR ± variation stock eau.

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL mm	%		
TP	43,8 41,4	43,9 46,9	47,6 48,8	50,0 43,6	35,7 33,8	32,0 28,7	18,7 34,8	19,4 17,0	23,6 22,4	30,0 31,4	34,2 33,9	27,5 26,8	1241,0	88,6		
bascule	<u>42,90</u>	<u>39,6</u>	<u>46,8</u>	<u>38,9</u>	<u>36,8</u>	<u>27,7</u>	<u>33,2</u>	<u>21,9</u>	<u>28,2</u>	<u>47,5</u>	<u>31,9</u>	<u>28,9</u>				
diopodoumé	128,1	130,4	143,2	132,5	106,3	88,4	86,7	58,1	74,2	108,9	101,0	83,2				
pluviosité	0,5 7,5 <u>1,0</u> 9,0	17,6 13,5 <u>4,0</u> 35,1	46,5 16,0 <u>60,5</u> 111,5	14,0 3,7 <u>12,5</u> 30,2	13,0 42,7 <u>46,5</u> 102,2	179,2 229,5 <u>287,8</u> 696,5	124,6 2,5 <u>3,0</u> 130,1	0 0 <u>2,0</u> 2,0	1,0 42,4 <u>9,5</u> 52,9	27,0 2,5 <u>17,0</u> 46,5	27,0 2,0 <u>15,5</u> 44,5	20,5 47,5 <u>71,5</u> 139,5	1400,0 mm	100		
ruisselle- ment	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0,2 0 <u>0</u> 0,2	0,2 0 <u>0</u> 0,2	0 0,1 <u>0,1</u> 0,2	1,8 1,4 <u>2,5</u> 5,7	0,2 0 <u>0</u> 0,2	0 0 <u>0</u> 0	0 0,1 <u>0</u> 0,1	0 0 <u>0</u> 0	0,1 0 <u>0</u> 0,1	0 0,1 <u>0,1</u> 0,2	6,9 mm	0,5		
E T R	0,5 7,5 <u>1,0</u> 9,0	17,6 13,5 <u>4,0</u> 35,1	46,3 18,2 <u>46,8</u> 111,3	13,8 3,7 <u>12,5</u> 36,0	31,4 33,8 <u>36,8</u> 102,0	32,0 28,7 <u>27,7</u> 88,4	18,7 34,8 <u>33,2</u> 86,7	0 0 <u>2,0</u> 2,0	2,2 22,4 <u>28,2</u> 52,8	27,0 2,5 <u>17,0</u> 46,5	26,9 2,0 <u>15,5</u> 44,4	27,5 26,8 <u>28,9</u> 83,2	691,4 mm	49,4		
drainage estimé	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	145,4 199,4 <u>257,6</u> 602,4	43,2 0 <u>0</u> 43,2	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0 0 <u>0</u> 0	0 10,0 <u>36,1</u> 46,1	701,7	50,1		

x E T P Turc car les mesures manquent à la bascule

xx E T R Compensé en fonction du stock d'eau d'une décade à l'autre.

TABLEAU 38 - Essais de bilan hydrique par décade avec compensation de ETR  
d'une décade à l'autre. Anguédédou 1968

$$P = R + D (v + o) + ETR \pm \text{stock H}_2\text{O}$$

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
E T P	21,8	27,3	33,5	40,3	37,4	22,7	24,4	19,6	29,9	35,2	34,8	34,8		
asc. Adiop.	23,6	34,0	35,8	36,6	35,5	23,3	21,0	20,8	27,2	34,4	29,5	32,3		
mm	28,6	28,1	45,8	35,2	28,9	24,0	24,0	27,5	34,2	38,4	28,2	31,5	1089,8	60
	74,0	89,4	115,1	112,1	101,8	70,0	69,4	67,9	91,3	108,0	92,2	98,6	mm	
luciosité	8,0	36,0	2,5	27,5	13,1	73,5	157,6	28,0	40,5	50,0	35,5	28,0		
	7,0	58,5	14,0	75,0	82,0	54,0	129,0	61,0	79,5	40,0	32,5	9,5		
mm	0,0	10,0	42,0	79,5	92,0	187,5	54,0	38,0	32,5	50,5	9,5	67,0	1804,7	100
	15,0	104,5	58,5	182,0	187,1	315,0	340,6	127,0	152,5	140,5	77,5	104,5	mm	
missellem <sup>t</sup>	0	0,1	0	0	0	0,4	1,1	0	0	0,2	0,2	0,1		
	0	0	0	0,1	0	0,1	0,2	0,1	0,2	0	0	0		
mm	0	0	0,1	0,1	0,9	0,5	0,2	0,2	0	0,2	0,1	0,4	5,5	0,3
	0	0,1	0,1	0,2	0,9	1,0	1,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5		
E T R	8,0	27,3	2,5	40,3 <sup>xx</sup>	37,4 <sup>xx</sup>	22,7	24,4	19,6	29,9	35,2	34,5	28,0		
	7,0	34,0	14,0	36,6	35,5	23,3	21,0	20,8	27,2	34,4	29,5	32,3 <sup>xx</sup>		
mm	0	28,1 <sup>xx</sup>	41,9	35,2	28,9	24,0	24,0	27,5	34,2 <sup>xx</sup>	38,4	13,2 <sup>xx</sup>	31,5	952,3	52,8
	15,0	89,4	58,4	112,1	101,8	70,0	69,4	67,9	91,3	108,0	77,2	91,8		
rainage	0	0	0	0	0	50,4	132,1	8,4	25,0	14,6	0	0		
	0	15,0	0	30,0	30,0	30,6	107,8	40,1	46,0	5,6	0	0		
mm	0	0	0	39,7	54,4	163,0	29,8	10,3	0	11,9	0	12,2	846,9	46,9
	0	15,0	0	69,7	84,4	244,0	269,7	58,8	61,0	32,1	0	12,2		

xx Compensation de ETR en fonction du stock d'eau d'une décade à l'autre.

TABLEAU 39 - Essais de bilan hydrique par décade avec compensation de ETR d'une décade à l'autre - Anguédédou 1969

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
E T P	33,4	42,1	48,9	54,8	47,1	28,0	16,7	22,5	19,2	32,1	34,7	43,2		
Asc. Adiop.	35,2	46,4	50,2	38,5	38,6	16,0	23,5	27,8	25,6	35,4	48,3	31,6		
mm	49,6	38,2	53,7	55,6	46,2	24,4	31,6	26,8	25,8	32,0	44,1	37,5	1305,3	87,8
	118,2	126,7	152,8	148,9	131,9	68,4	71,8	77,1	70,6	99,5	127,1	112,3		
Pluviosité	2,0	0	31,4	44,5	9,1	146,5	118,0	5,0	6,0	32,5	54,0	44,5		
parcelle	0	6,0	0,5	96,7	80,6	166,7	124,5	3,0	6,5	24,5	67,0	20,5		
mm	48,5	4,0	52,0	35,7	91,3	54,2	3,0	6,0	18,0	69,0	17,5	0,5	1486,7	100
	50,5	10,0	83,9	176,9	178,0	367,4	245,5	14,0	30,5	126,0	138,5	65,5		
Drainage	0	0	0,2	0,1 <sup>x</sup>	0	2,2	0,2	0	0	0	0,3	0,4		
parcel. IRCA	0	0	0	0,2 <sup>x</sup>	0,1 <sup>x</sup>	0,6	0	0	0	0,1	1,0	0,1		
mm	0,1	0	0	0,1 <sup>x</sup>	0,2 <sup>x</sup>	0,1	0	0	0	0,3	0,1	0	6,4mm	0,43
	0,1	0	0,2	0,4	0,3	2,9	0,2	0	0	0,4	1,4	0,5		
E T R	2,0	0	31,2	44,4	47,1 <sup>xx</sup>	28,0	16,7	5,0	6,0	32,1	34,7	43,2		
mm	0	6,0	0,5	38,5	38,6	16,0	23,5	3,0	6,5	35,4 <sup>xx</sup>	48,3	21,3 <sup>xx</sup>		
estimé	48,4	4,0	52,0	55,6 <sup>xx</sup>	46,2	24,4	31,6 <sup>xx</sup>	6,0	18,0	32,0	44,1 <sup>xx</sup>	0,5	890,8	59,9
	50,4	10,0	83,7	138,5	131,9	68,4	71,8	14,0	30,5	99,5	127,1	65,0		
Drainage	0	0	0	0	0	116,3	101,1	0	0	0	4,0	0		
par diffé-	0	0	0	38,0	15,8	150,1	72,4	0	0	0	6,0	0		
rence	0	0	0	0	30,0	29,7	0	0	0	26,1	0	0	589,5	39,7
mm	0	0	0	38,0	45,8	296,1	173,5	0	0	26,1	10,0	0		

x Estimation.

xx Compensation ETR en fonction du stock d'eau d'une décade à l'autre.

TABLEAU 41 - Résumé des résultats analytiques des eaux de ruissellement et de drainage oblique à la plantation d'hévéa de l'IRCA à l'Anguédédou.  
Moyennes pondérées en p.p.m. 1966 à 1969

ETAGE		I <sub>0</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	D U	U générale
Volume moyen l		40.459	6,5	1.4025	2.033	2.268	5.710	46.169
pH	mp	7,0	6,9	6,8	6,7	6,5	6,7	6,9
	ma/mp	101	100	98	98	101	100	100
Résist.	mp	17.134	12.523	21.571	13.641	17.141	16.534	16.949
	ma/mp	64	57	81	104	102	85	79
Ca	mp	7,25	11,80	3,12	6,20	3,73	5,11	6,51
	ma/mp	165	120	134	109	135	148	130
Mg	mp	3,34	8,17	4,17	5,15	4,83	5,09	3,91
	ma/mp	165	125	81	108	93	116	149
K	mp	11,49	22,16	5,12	8,41	7,33	8,55	10,53
	ma/mp	155	164	126	134	143	189	156
Na	mp	2,41	5,45	1,65	2,67	1,72	2,34	2,39
	ma/mp	179	135	180	125	129	170	169
bases	mp	24,49	47,58	14,06	22,43	17,61	21,09	23,34
	ma/mp	161	143	121	120	126	159	149
M.O	mp	20,69	27,72	11,27	12,44	14,69	14,55	18,71
	ma/mp	108	125	109	121	94	123	101
N. total	mp	10,12	18,70	6,79	14,07	9,34	11,21	10,48
	ma/mp	131	113	104	77	84	105	115
N. NH <sub>3</sub>	mp	0,81	0,70	0,32	0,50	0,37	0,43	0,68
	ma/mp	188	162	187	206	262	216	154
N. NO <sub>3</sub>	mp	0,90	3,13	1,64	3,31	2,85	2,73	1,48
	ma/mp	112	148	81	78	74	98	158
PO <sub>4</sub>	mp	1,02	0,95	0,74	0,55	0,54	0,63	0,89
	ma/mp	151	130	140	181	168	163	128
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mp	1,59	1,01	1,70	1,01	1,22	1,26	1,49
	ma/mp	86	91	94	122	113	103	89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	mp	1,04	1,37	1,14	1,12	1,05	1,12	1,07
	ma/mp	69	72	95	92	96	91	90
	mp	7,19	5,50	5,22	5,83	5,23	5,43	6,63
	ma/mp	104	114	121	117	129	121	102

TABLEAU 42 - Résumé des analyses des terres érodées  
(IoT = terre de fond et IoS = suspension)  
1966 - 1969

Moyennes pondérées à l'I.R.C.A.

N. pédo.		IoT 1966	IoT 1967	IoT 1968	IoT 1969	IoT Moyen	IoS Moyen
Poids en gr		5608	778	438	4.631	11.455	112
Ca échangeable mé %		3,70	5,56	5,88	4.41	4.19	9,35
Mg	" "	2,15	1,09	2,20	1.34	1.75	1.85
K	" "	0,24	0,22	0,36	0.22	0.24	0.34
Na	" "	0,06	0,10	0,12	0.06	0,07	0.10
S	" "	6,15	6.97	8,56	6,03	6.25	11.64
T capacité éch. bases		7,00	5,17	6,96	6,68	6.86	21.15
V = S/T	%	87,9	>100	>100	90,3	91,1	55
Ca total	mé %	18,44	7,36	8,80	7,43	12,87	10.01
Mg	" "	4,92	1.87	4,60	2,72	3,81	3.65
K	" "	1,12	0.63	1,31	0.73	0.94	2.50
Na	" "	0,53	0.42	0,82	1.16	0.79	0.49
C	%	23,35	12.05	18,76	19.18	20.72	77,29
N	%	1,068	1.06	1.40	1.00	1.05	6.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,820	1.01	0,84	0.81	0.83	2.87
A (0-2 u)	%	10,94	7,96	14,40	9.84	10.45	43.61
L.F. (2-20 u)	%	2,67	2,61	2,70	5.30	3.74	27.39
L.G. (20-50 u)	%	0,77	2,64	2,10	1.84	1.37	5.41
S.F. (50-200 u)	%	10,43	20,47	26,20	21.99	16.34	4.50
S.G. (200-2000 u)	%	73,38	64,80	53,70	59,76	66.56	9.89
Refus (>2 mm)	%	0	0	0	0	0	0