

**INSTITUT FRANÇAIS DU
CAFÉ ET DU CACAO
I.F.C.C.**

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

**EROSION RUISSELLEMENT ET DRAINAGE OBLIQUE
SUR UN SOL A CACAO DE MOYENNE CÔTE D'IVOIRE
STATION I.F.C.C. PRES DE DIVO**

I MILIEU DISPOSITIF ET RESULTATS DES CAMPAGNES 1967 - 68

Par

ROOSE E.J.

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

et

JADIN P.

Pédologue à l'I.F.C.C

COPYRIGHT - ORSTOM 1971

ABIDJAN

Novembre 1969

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - Le milieu.	
11 Situation géographique	2
12 Végétation	2
13 Climat	2
14 Sol	4
CHAPITRE 2 - Le dispositif expérimental	
21 But des essais	8
22 Description du dispositif	8
23 Les mouvements de l'eau de gravité dans le sol	9
24 Définitions	10
CHAPITRE 3 - Les résultats de la campagne 1967	
31 La pluviosité	13
32 L'érosion, le ruissellement et le drainage oblique.	13
321 L'érosion	14
322 Le ruissellement	15
323 Le drainage oblique	16
CHAPITRE 4 - Les résultats de la campagne 1968	
41 La pluviosité	18
42 L'érosion, le ruissellement et le drainage oblique.	22
421 L'érosion	22
422 Le ruissellement	23
423 Le drainage oblique	23
CHAPITRE 5 - Les résultats analytiques et leur discussion	24
51 La température, le pH, la résistivité	25
52 Les bases	27
53 Les matières organiques et l'azote	30
54 Le phosphore	32
55 Le fer, l'alumine et la silice	33
56 Lessivage oblique et érosion en nappe	35
57 Les engrais	36

CHAPITRE 6 - Bilan des pertes physiques et chimiques	
61 Les pertes en terre	38
62 Essais de bilan hydrique	39
63 Essais de bilan de pertes chimiques	42
CHAPITRE 7 - Conclusions générales	46
Résumé	52
Remerciements	56
 Annexe 1 . Description du profil pédologique de la case de l'érosion et du drainage oblique à la Station IFCC près de Divo.....	 57
 Annexe 2 . Bibliographie générale	 59

Introduction

Un protocole d'accord signé en 1967 entre les Directeurs Généraux de l'I.F.C.C. et de l'O.R.S.T.O.M. prévoit l'exploitation d'une parcelle aménagée pour l'étude de l'érosion, du ruissellement et du drainage oblique. Celle-ci a été mise en place en janvier 1967 dans la forêt proche des usines et des bureaux de la Station IF.C.C. près de Divo.

L'I.F.C.C. assure les manipulations sur le terrain ainsi que le transport des échantillons tandis que l'O.R.S.T.O.M. se charge des analyses, de regroupement et de l'interprétation des résultats.

Régulièrement un rapport rend compte du déroulement des opérations et des résultats obtenus durant la campagne. Ce premier rapport décrit également le dispositif expérimental et le milieu dans lequel s'effectuent les mesures.

Les buts poursuivis dans cette étude sont :

- l'évaluation de l'érosion, du ruissellement et du drainage oblique sous une forêt dense sur un sol ferrallitique moyennement désaturé sur granite, typique de la région de Divo,

- la détermination d'un bilan hydrique au moins schématique caractérisant ces types de sol en liaison avec le climat,

- l'établissement d'un bilan approximatif des mouvements des colloïdes, minéraux et matières intéressant la fertilité ou la genèse du sol. On tentera en particulier d'en tirer des conclusions sur la vitesse de lixiviation des engrais leur présentation optimale (granulométrie et variétés chimiques) et leur date d'épandage.

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un vaste programme de recherches sur l'érosion, le lessivage des colloïdes, les bilans hydriques et chimiques des sols des régions subéquatoriales sous végétation naturelle ou cultivée qui a débuté en 1964 et qui comprend déjà des parcelles expérimentales à Adiopodoumé (ORSTOM), Anguededou (IRCA); Azaguié (IFAC), Divo (IFCC), Bouaké, Man, Ferkessedougou (IRAT), Korhogo (ORSTOM), Ouagadougou (CEFT).

Chapitre 1 - Le milieu.

1.1. Situation géographique.

La station expérimentale de l'IFCC est située à Brabodougou (1) près de Divo à deux cents kilomètres à l'WNW d'Abidjan.

Après prospection de la pente forestée située derrière les usines on y a délimité une parcelle de 228 m² à moins de 500 mètres du poste climatologique et des bureaux.

1.2. Végétation.

Le groupement floristique de cette région est la forêt dense humide semi-décidue. GUILLAUMET (1967) appelle forêt mésophile la formation à Celtis et Triplochiton scleroxylon qui s'individualise sur les sols sablo-argileux issus du granite. Cette forêt a été exploitée jadis par les forestiers mais elle a conservé l'aspect impressionnant des vieilles forêts secondaires au sous-bois relativement peu dense.

1.3. Climat.

La station IFCC près de Divo est située dans une zone dont le climat est qualifié de "guinéen-forestier" par AUBREVILLE. Il est caractérisé par une assez forte pluviométrie répartie en quatre saisons, une température moyenne variant peu autour de 26°C et une humidité atmosphérique très élevée voisine de 85 %.

Les précipitations moyennes annuelles (2) sont de l'ordre de 1750 mm mais peuvent varier du simple au double. Deux saisons des pluies centrées sur juin (308 mm) et octobre (215 mm) alternent avec deux saisons sèches d'importance très inégale (voir figures 1 et 2) (janvier = 28 mm et août = 62 mm).

(1) Brabodougou (5° 48' latitude Nord; 5° 18' longitude Ouest) se trouve dans la Sous Préfecture de Divo.

(2) Pluviosité annuelle moyenne de Divo arrêtée en 1967 et fourni par l'A.S.E.C.N.A.

Tableau 1 - Données climatiques de la région proche de la Station IFCC Divo. Tiré de ASECNA et de ELDIN et DAUDET (E.T.P.).

Mois	Pluie mm Divo arrêté en 1967 (1)	Nb. de jours pluvieux Divo arrêté en 1967	Evapotrans- piration potentielle GAGNOA 1959/68 (3)	Déficit (1-3) à Divo	Température Gagnoa 1959/68
Janvier	27,5	2,4	113	85,5	25,8
Février	78,0	5,0	114	36,0	27,3
Mars	161,8	9,5	129		27,4
Avril	186,5	9,9	129		26,9
Mai	214,8	12,1	118		26,6
Juin	307,2	17,4	93		25,6
Juillet	138,8	10,8	86		24,8
Août	62,0	8,8	81	19,0	24,5
Septembre	166,9	13,6	97		25,4
Octobre	215,4	13,8	109		26,3
Novembre	120,4	9,6	103		26,3
Décembre	68,5	4,9	107	38,5	25,6
Total Moyenne	1.747,8mm	117,8	1.279	179,0	26,0

La grande saison des pluies commence en mars-avril par une série de tornades, pluies violentes mais de courte durée. Plus de 50 % du total des précipitations tombent de mars à juillet. Août est généralement un mois gris, nuageux mais ne reçoit que de faibles crachins. De septembre à février les pluies sont généralement faibles et très irrégulières; il peut cependant survenir quelques grosses averses (50 à 100 mm): leur extension géographique est souvent limitée.

En pleine saison (mai-juin) la pluie peut durer plusieurs heures avec des intensités relativement fortes. Les pluies exceptionnelles sont particulièrement intéressantes à étudier pour leur action érosive ainsi que le drainage vertical et oblique auxquels 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/mn. pendant une heure.

Il pleut en moyenne un jour sur trois dans l'année.

La température annuelle moyenne est de 26°C (3): c'est de février à mars qu'il fait le plus chaud (27,4°C) tandis qu'il fait plus frais de juin à septembre.

L'humidité relative mensuelle moyenne oscille de 75 % en février à 87 % en octobre: elle reste toute l'année très proche de 83 % .

L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.) annuelle calculée d'après la formule de Turc s'élève à 1280 mm (ELDIN et DAUDET, 1967): elle dépasse la pluviométrie durant quatre mois de l'année. L'ETP est maximum en mars et avril (129 mm) et minimum en juillet et août (81 mm).

(3) Gagnoa est le poste le plus proche où on possède des mesures de t° sur plus de vingt années. Moyenne arrêtée en 1967: ASECNA.

Fig. 1. Diagramme ombrothermique Divo (ASECNA)

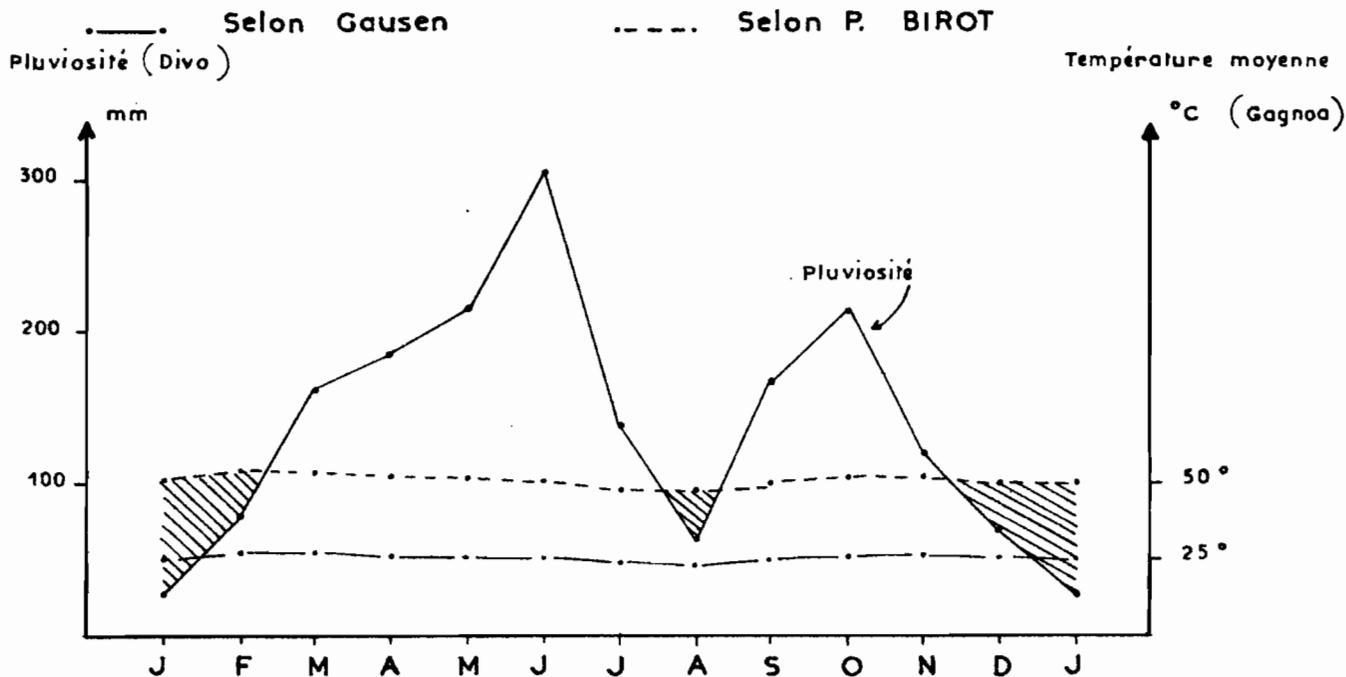
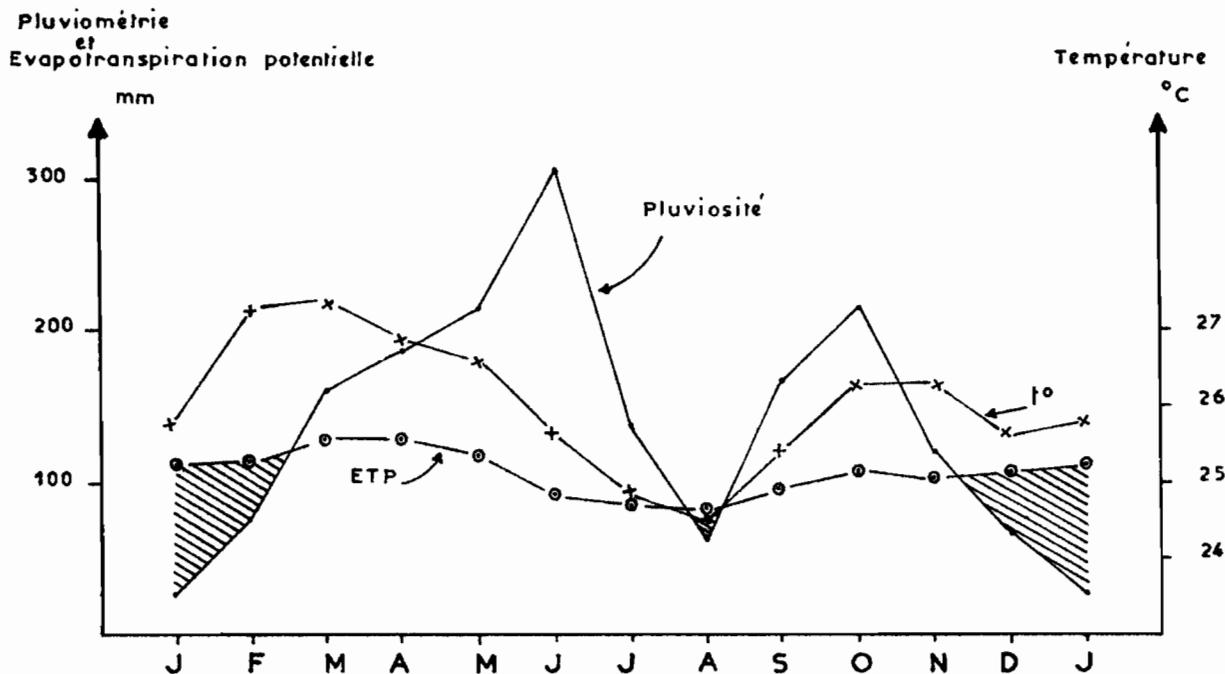


Fig. 2. Température, pluviosité et évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne (1959 / 68) de la région de Divo. ASECNA (P. et T.); Eldin et Daudet (E.T.P.).



Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (voir fig. n°1) qui lie l'évapotranspiration au double de la température mensuelle moyenne ($E = 2 T$), met en évidence la période où le bilan hydrique est déficitaire durant deux mois de la grande saison sèche.

Si on lie l'évapotranspiration au quadruple de la température mensuelle moyenne, comme l'a proposé P. BIROT pour les régions tropicales, on voit apparaître les quatre mois déficitaires tels que nous les donne la formule de Turc (ELDIN et DAUDET, 1967).

Sur ces mêmes diagrammes on devine les périodes de l'année où les chances de drainage vertical et oblique sont maximales; drainage faible en mars - avril - mai - septembre et novembre, drainage fort en juin - juillet (sol humide) et octobre. Notons cependant que dans la réalité les années de pluviosité moyenne n'existent pas et que le drainage dépend non de l'importance des pluies mensuelles moyennes mais avant tout de la violence et de l'importance des pluies unitaires et secondairement de l'humidité du sol.

1.4. Le sol.

La station IFCC a été installée en 1959 au milieu d'une vieille forêt secondaire qui a gardé son allure imposante par la taille de ses arbres et la masse de matière organique qui recouvre le sol en y créant un microclimat très humide et bien tempéré au point de vue température et hygrométrie.

Le paysage est mollement ondulé: les pentes sont longues mais dépassent rarement 10%. Les sources et les marigots permanents sont relativement rares. La plupart des petits bas-fonds connaissent un régime d'écoulement temporaire alimenté par les eaux de ruissellement très chargées en matière organique (exemple: barrage du campement). L'érosion actuelle est faible sous forêt. Elle se manifeste sous forme d'érosion en nappe mais il reste des traces assez nettes de berges avec rupture de pente prononcée juste avant d'atteindre le bas-fond. Là affleurent des gros blocs de granite altéré en boule. Il s'agit d'un granite calco-alcalin légèrement orienté jadis appelé granito-gneiss.

Sur le haut des pentes le sol est gravillonnaire rouge à ocre rouge. Il devient de plus en plus ocre à mesure que l'on descend vers le bas-fond où on trouve des sols colluvionnaires gris plus ou moins hydromorphes.

La fosse de drainage oblique est située au tiers inférieur de la pente dans la zone des sols ocres gravillonnaires.

Sous forêt le sous-bois est relativement peu dense en dessous des grands géants qui n'ont pas été exploités. La litière de débris végétaux est mince mais continue; beaucoup de branches mortes sont attaquées par les termites avant d'atteindre le niveau du sol.

Le sol présente d'abord en surface un mince horizon gris foncé (1 à 5 cm) composé presque uniquement de petits agrégats humifères nuciformes, produit de l'activité intense de la faune (vers de terre) et la microfaune.

Ensuite apparait un horizon brun gris (10 cm) humifère et sableux beaucoup plus tassé et moins poreux que le précédent. Ces deux horizons sont exploités intensément par un abondant chevelu radiculaire.

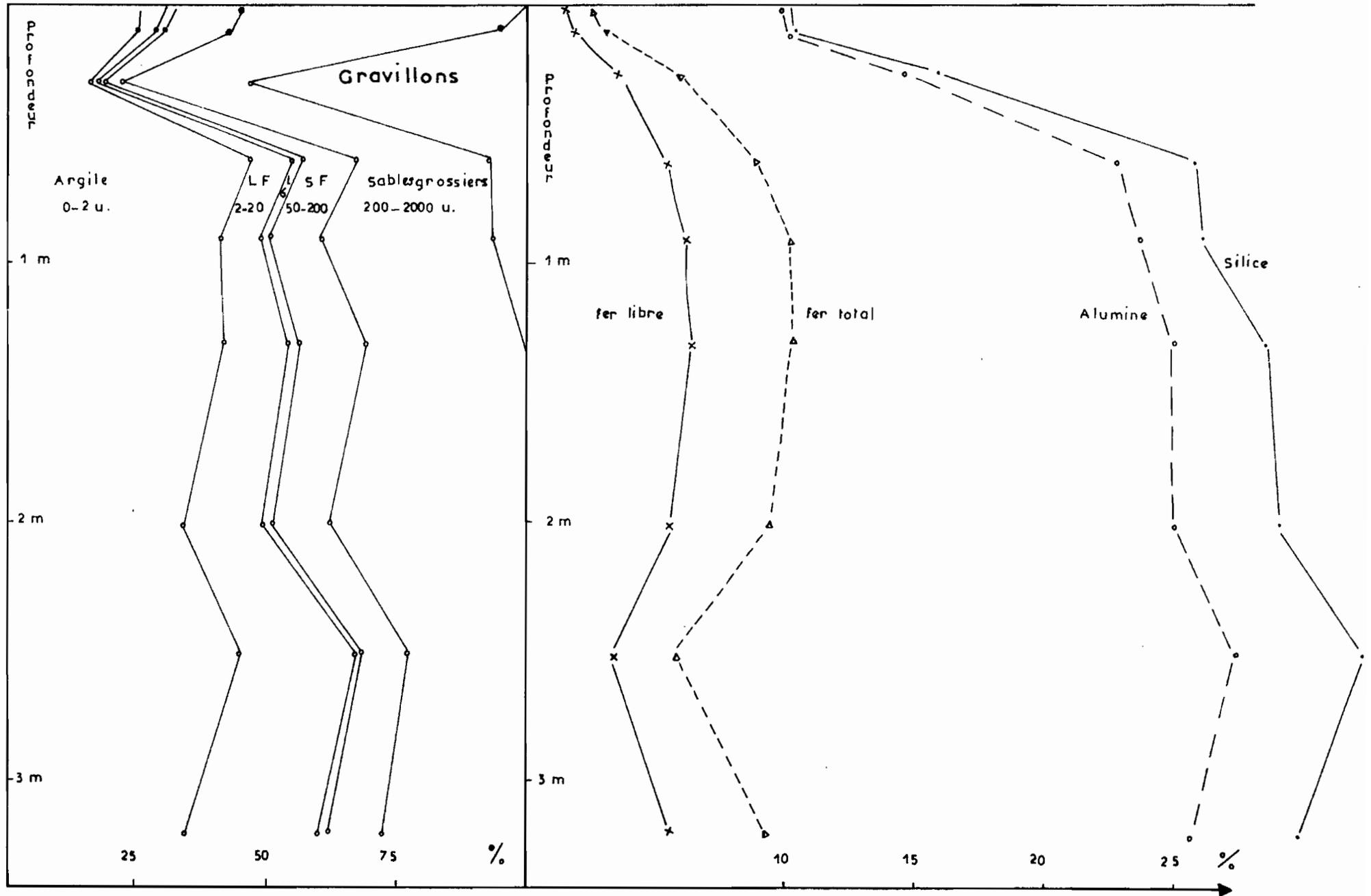
Puis vient une nappe (25 à 35 cm) de petits gravillons ferrugineux (60%) arrondis emballés dans une matrice sablo-argileuse encore humifère; c'est un horizon sec et tassé qui gêne manifestement la pénétration des grosses racines. La limite inférieure est festonnée. Vers 45 cm on passe graduellement à un horizon brun (30 cm) à taches rouges très argileux de structure polyédrique moyenne. Dans cet horizon compact et plus humide (beaucoup plus argileux) se manifestent les premières traces d'individualisation du fer. On n'y trouve que quelques rares racines (fines généralement).

Enfin on observe des horizons argileux de plus en plus limoneux successivement brun jaune à taches rouges puis tacheté rouge sur fond brun jaune passant vers 1,45 m à tacheté rouge à taches blanches de plus en plus envahissantes. Le matériau devient presque blanchâtre vers 3,20m (niveau d'altération). La structure est à débit polyédrique moyen de plus en plus grossier et peu développé. Ces couches sont compactes et les racines y sont très rares.

Fig.3 Granulometrie

Silice , Alumine , Fer

Profil Case ERLO - IFCC Divo
(1967)



Si on étudie les résultats analytiques (tableau 23 en annexe) on observe que les teneurs en matières organiques tombent très rapidement à 1 % vers 10 cm (teneur normale = \pm 1,5 %). Les teneurs en phosphore total (0,7 à 0,3 ‰ en profondeur) et en azote (3 à 0,5‰) sont moyennes en surface mais médiocres dès la nappe gravillonnaire. Le rapport C/N de 10 indique une bonne activité microbologique en surface.

Sauf dans le premier horizon où la matière organique joue un rôle prédominant, la capacité d'échange de bases oscille entre 4 et 5 milliéquivalents pour cent grammes de terre (4). L'argile est donc du type kaolinitique. Le taux de saturation en bases est élevé dans les horizons humifères (60 à 80 %) puis tombe brutalement à 20% sous la nappe gravillonnaire (indice de superposition de deux sols).

En dehors de la mince couche humifère, la somme des bases est très faible (1,8 à 0,4 mé.%). La potasse échangeable en particulier n'est plus présente qu'à l'état de trace. Le pH est faiblement acide et passe graduellement de 6 en surface à 5,2 dès 1 mètre de profondeur.

Le mince horizon superficiel formé par les turricules de vers de terre (et autre microfaune) est très riche en calcium et magnésium. Les teneurs en calcium total sont à peine supérieures à celles du calcium échangeable par contre la différence est très marquée pour le potassium (8 à 20 fois plus de K total), le sodium (4 à 10 fois) et le magnésium (3 à 4 fois). Il existerait donc des réserves notables en potasse en soude et, dans une moindre mesure, en magnésie dans les minéraux constituant le sol.

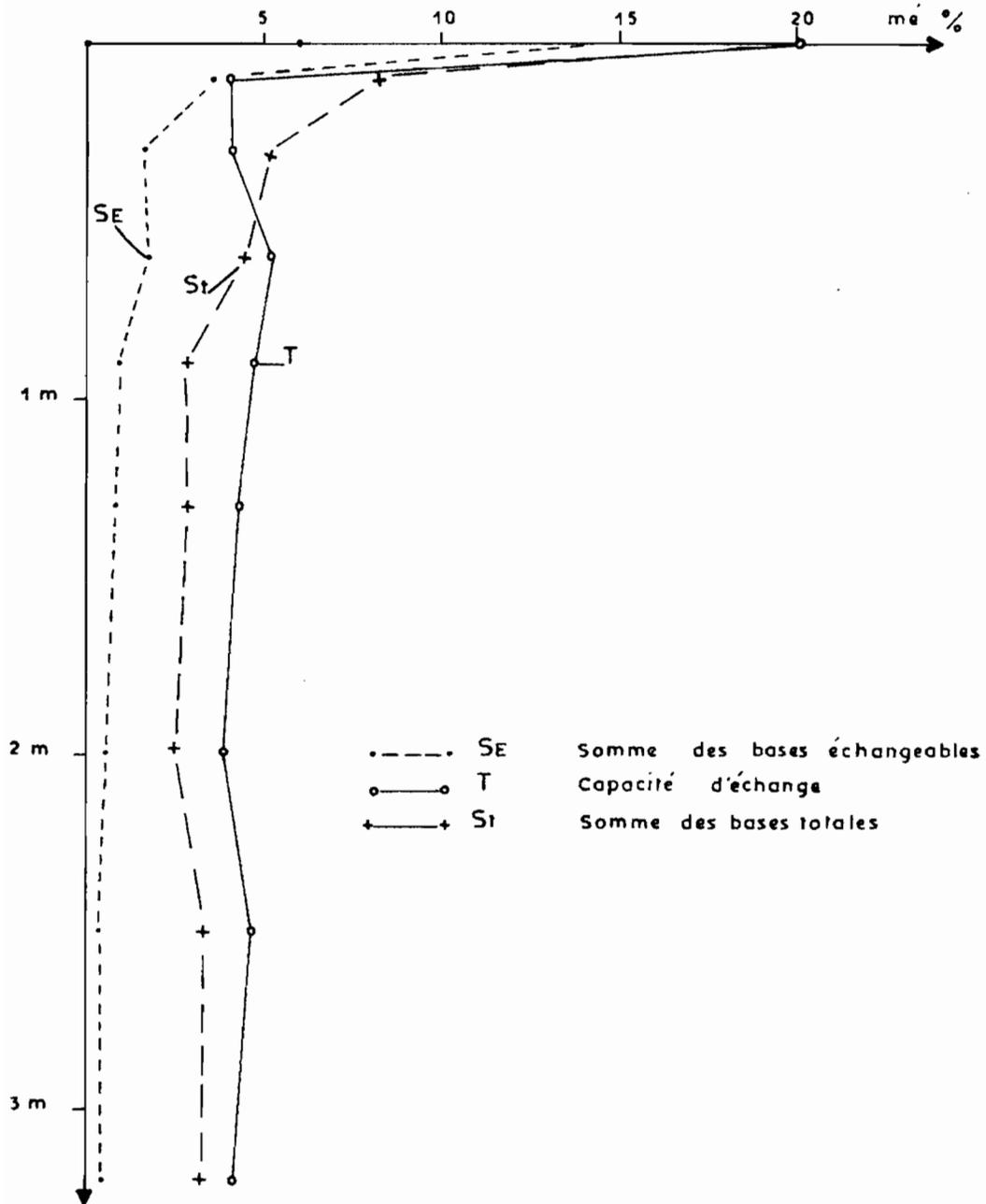
La répartition des fractions granulométriques met en évidence la superposition de deux matériaux d'origine différente plus ou moins interpénétrés depuis le temps qu'ils sont en contact (remaniement continu sur place par les termites, vers de terre, chute des arbres, etc...).

Le sol originel dérivant du granite sous jacent débute vers 45 cm: (horizon B2) il est franchement argileux et la fraction limoneuse croît régulièrement de 8,5 à 25% en profondeur. La fraction la plus fine (argile + limon: 0-20 μ) décroît très progressivement de 58 à 48% pour remonter à plus de 60 % dans la zone d'altération.

(4) D'orénavant nous noterons mé.%.

Fig. 4 . Bases totales et Complexe Absorbant

— PROFIL Case ERLO IFCC DIVO —
1967



Le contact de cet horizon B2 est relativement net et festonné. Les horizons supérieurs sont nettement plus pauvres en argile ($\pm 25\%$) et en limon fin (3 à 5 %).

Il semble donc qu'il faille faire intervenir plusieurs phases géomorphologiques pour expliquer la formation de ce type de sol très répandu en Côte d'Ivoire.

- 1) D'abord altération profonde de type ferrallitique du granite
- 2) Phase érosive et décapage des horizons superficiels mettant à nu un horizon B2 sur lequel on observe encore les traces de griffes d'érosion (érosion en rigole typique sur sol argileux)
- 3) Ensuite épandage d'une nappe gravillonnaire (gravillons petits et arrondis) recouverte et mélangée plus tard (à la faveur du recul des versants) à un matériau sablo-argileux.
- 4) Ce nouveau matériau complexe est maintenant soumis depuis de nombreux siècles aux facteurs de pédogénèse sous forêt subtropicale semi-décidue.

Ce sont ces derniers facteurs que nous tentons d'étudier en mesurant les forces dynamiques relatives de l'érosion (appauvrissement sélectif en argile et limon) et du drainage oblique et vertical (lessivage oblique et vertical).

Suivant la dernière classification française (G. AUBERT et P. SEGALIN, 1967) on peut ranger ce sol dans la classe des sols ferrallitiques, sous classe moyennement désaturé, groupe remanié sous groupe modal légèrement appauvri, famille sur matériau granitique calco-alcalin.

Chapitre II - Le dispositif expérimental.

2.1. But des essais.

Un vaste programme d'étude des causes de l'appauvrissement en colloïdes et en éléments chimiques divers des horizons superficiels de différents sols tropicaux a été entrepris sur une ligne Abidjan-Ouagadougou.

Il s'agit à Divo de mesurer sous une forêt mésophile et une pluviosité d'environ 1750 mm l'importance relative de l'érosion sélective, du lessivage oblique et du lessivage vertical sur l'appauvrissement en colloïdes des horizons superficiels d'un sol ferrallitique remanié moyennement désaturé sur granite.

Les bilans hydriques et chimiques tentés à cette occasion doivent permettre de tirer des conclusions pratiques sur la migration des éléments fertilisants, les dates d'épandages, les formes chimiques et la granulométrie des engrais à utiliser sur ce type de sol.

Après un certain nombre d'années nécessaires pour étudier ces phénomènes pédogénétiques sous des conditions forestières naturelles il pourrait être envisagé de modifier le couvert végétal (défrichage et plantation de cacaoyers) et d'effectuer des apports d'engrais.

2.2. Description du dispositif (fig. 5, 6, 7 et 8).

Après avoir prospecté les sols du versant situé derrière les usines de l'IFCC nous avons délimité en janvier 1967 (5) une parcelle de 38 mètres de long et 6 m de large (228 m²) sur une pente de 9,5 % par des plaques en plastique empêchant les eaux ruisselantes d'y entrer ou d'en sortir.

Au bas de cette parcelle on a creusé deux fosses en vue de recueillir les eaux de ruissellement et intercepter le drainage oblique (ROOSE, 1968).

(5) La parcelle a été entourée d'une bordure de terre jusqu'au 25 avril 1967 puis d'une tôle en plastique de 20 cm dépassant de 10 cm au-dessus du niveau du sol.



fig.5

Case de mesure de l'érosion
du ruissellement et du drain-
nage oblique

Station IFCC près de DIVO.

Vue générale.

fig.6

Gouttières réceptrices
du drainage oblique.



fig.7

- Canal de réception du
ruissellement
- fût partiteur
- fût de stockage



(photos ROOSE).

Un canal obtenu par plastification du sol en place dirige les eaux de ruissellement vers deux cuves de stockage. La première est constituée par un fût de 200 litres percé au sommet de 17 trous circulaires de même niveau et de même taille (tuyaux 27/31) dont un seul débouche sur un second fût. La capacité de stockage s'élève ainsi à 3.400 litres soit une quinzaine de millimètres. Comme les coefficients de ruissellement sous forêt dépassent rarement 5 à 10% ce système suffit à stocker les eaux provenant de pluies de 150 à 300 mm.

Quant aux eaux qui circulent obliquement à l'intérieur de sol, elles sont interceptées par des gouttières disposées dans des fentes creusées sous les limites inférieures des horizons pédologiques et stockées dans des bidons en plastique.

Le canal de ruissellement et les fosses sont protégées des pluies par un toit en tôle (voir figure n°8).

Pour éviter les inconvénients dus à une remontée de la nappe à la fin de la saison des pluies on a ouvert un canal d'évacuation.

La pluviosité n'est pas mesurée sur la parcelle elle-même à cause de l'hétérogénéité des mesures sous forêt mais à moins de 500 m au poste pluviométrique (pluviographe à auget CERF à mouvement journalier).

2.3. Les mouvements de l'eau de gravité dans le sol.

Lorsqu'une pluie P tombe sur le sol une part (R) va ruisseler en surface tandis que l'autre va s'infiltrer et constitue le drainage (D.V.) (voir fig. n°8).

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

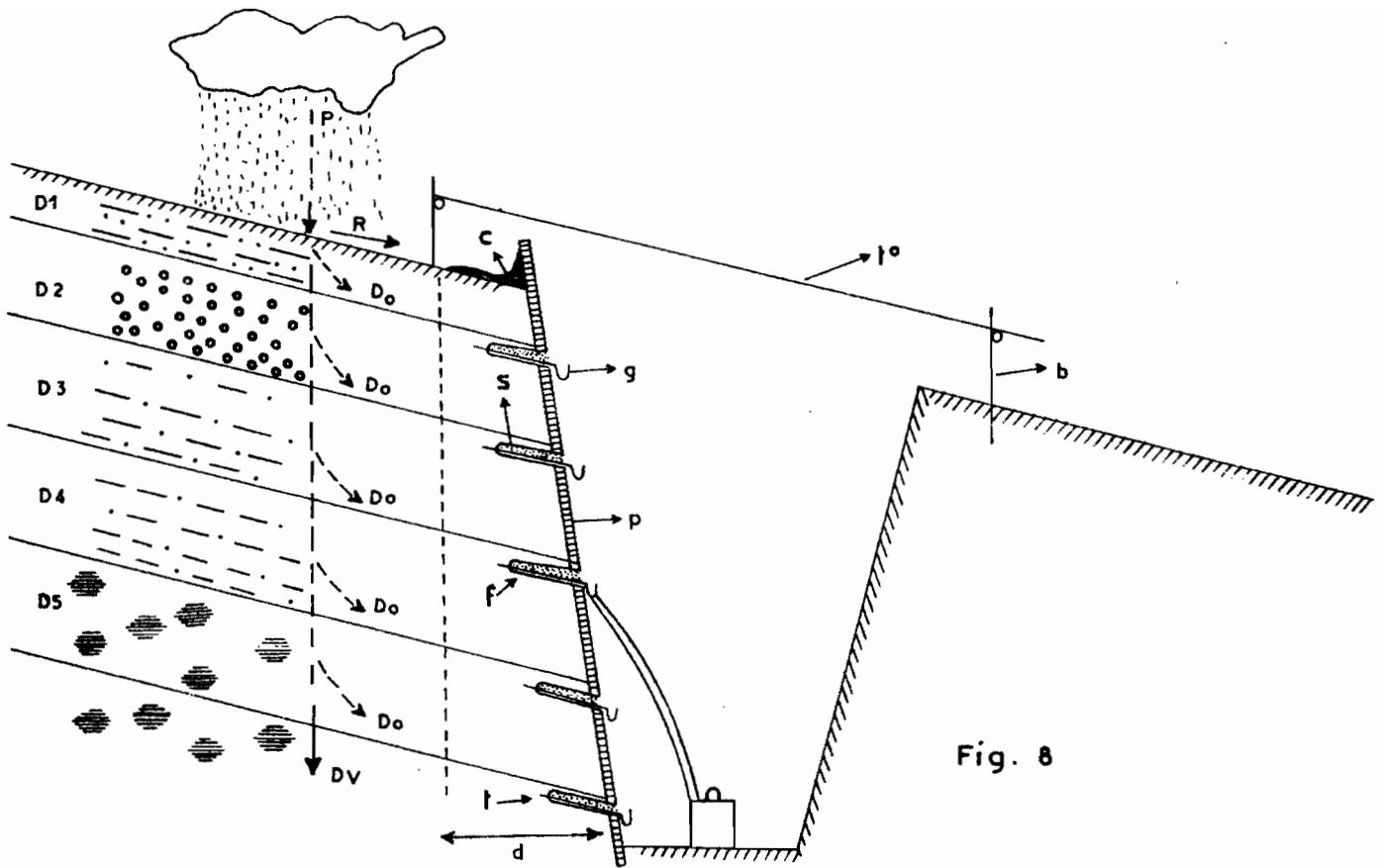


Fig. 8

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
 D 1, 2, 3, 4, 5 = horizons pédologiques ; C= canal de ruissellement ; g= gouttière
 t= tôle ; f= fente ; s= sable lavé ; d= tranche de sol protégée par le canal c
 et le toit t° ; b= bâti qui soutient le toit ; p= planche.

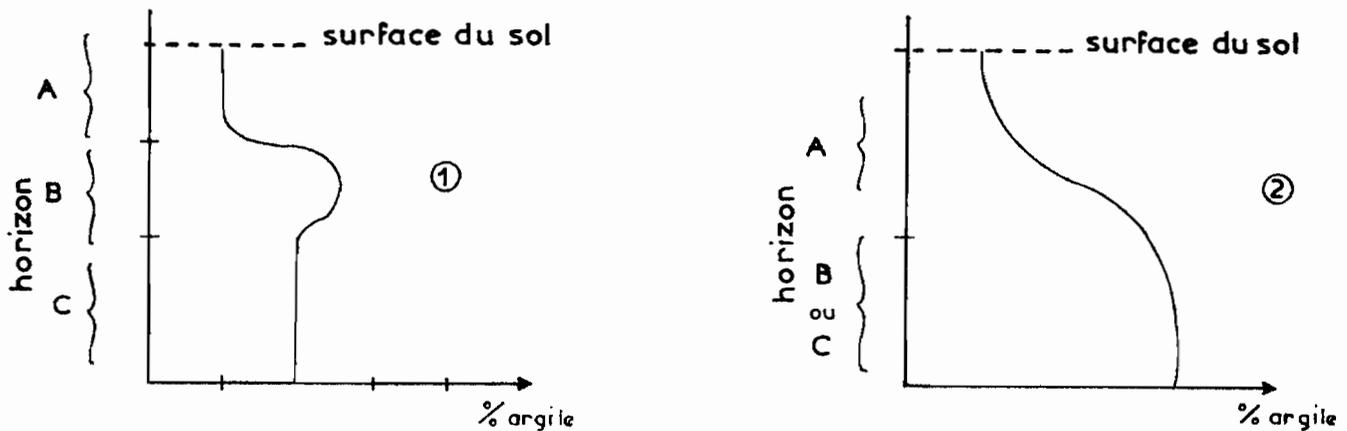


Fig. 9

Courbes de répartition de l'argile en fonction de la profondeur
 ① sol lessivé classique "ventre ou bec marqué"
 ② sol appauvri sous les tropiques humides "bec peu marqué"

Notons qu'il existe en amont de la fosse de drainage oblique une tranche de sol d'une trentaine de centimètres d'épaisseur protégée des eaux de pluies par le toit en tôle et du ruissellement par le canal. Il ne peut donc y avoir de drainage vertical dans cette tranche de sol et l'eau qu'on y récolte provient nécessairement d'un mouvement oblique des eaux circulant librement en amont.

2.4. Définitions.

b Plusieurs chercheurs dans le monde tentent actuellement de définir les termes de ruissellement hypodermique, drainage oblique, interflow, etc.. et de les distinguer du ruissellement ordinaire et des écoulements de base d'une rivière provenant de la nappe phréatique. Suite aux entretiens que nous avons eus durant l'été 1968 avec des chercheurs américains (6) nous voudrions les résumer de la façon suivante :

1. Ruissellement (runoff)

Écoulement rapide au-dessus de la surface du sol, directement dépendant de l'intensité des pluies et qui s'arrête très peu de temps après la fin des précipitations atmosphériques.

2. Nappe phréatique (ground watertable)

Assure l'écoulement de base (basic level flow) d'une rivière permanente par l'intermédiaire de sources visibles en occultes.

3. Écoulements intermédiaires (interflow)

Entre les deux types d'écoulements précités (voir fig. 10) il existe diverses sortes d'écoulements intermédiaires qui ne participent pas entièrement ni à l'un ni à l'autre définition susdite à cause de leur durée d'écoulement limitée mais pas autant limitée que le ruissellement.

Nous les subdiviserons encore en trois types :

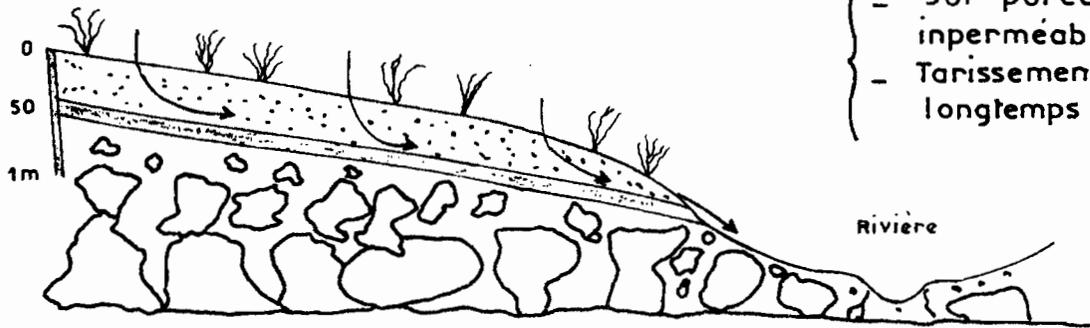
3.1. Le ruissellement hypodermique (subsurface runoff).

Celui-ci comprend encore deux concepts.

(6) Dick Ammermann à Madison (Wisconsin), L.L. HARROLD à COSHOCTON (Ohio) et H.N. HOLTAN à Beltsville (Maryland).

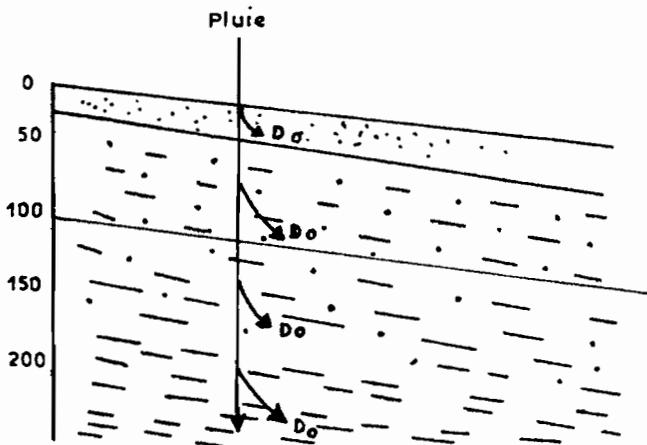
Fig. 10. Les écoulements intermédiaires

Ruisellement hypodermique



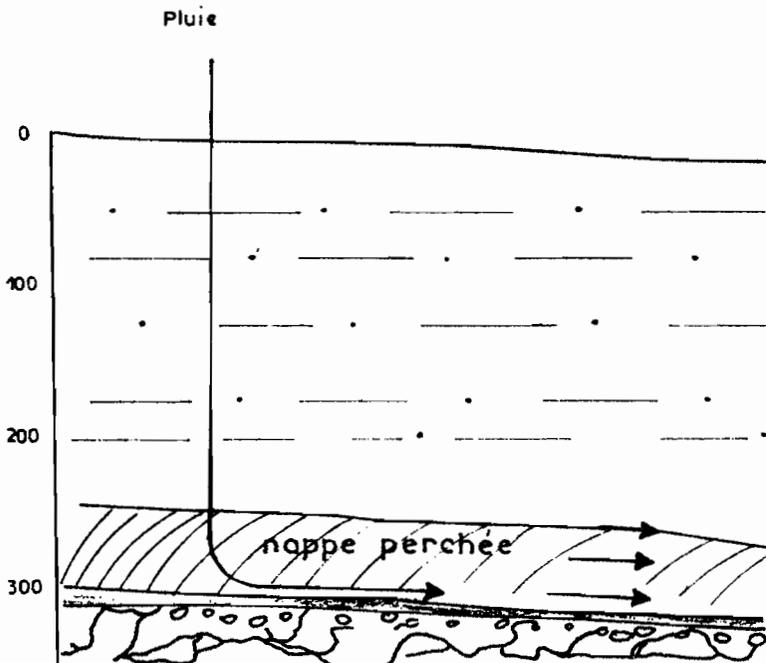
- Sol poreux avec un horizon imperméable près de la surface.
- Tarissement éventuellement longtemps après la fin de la pluie.

Drainage oblique



- Horizons successifs de -en- perméables.
- Tarissement rapide après la fin de la pluie.

Nappe perchée



- Sol poreux avec un horizon imperméable en profondeur.
- Tarissement éventuellement longtemps après la fin de la pluie.

311. Presque tout sol comprend un horizon superficiel très poreux dont la surface est bosselée, fendillée et couverte d'obstacles (touffes d'herbes, racine, litière forestière, etc..). Le ruissellement hypodermique est alors l'écoulement très limité (légèrement en retard par rapport au vrai ruissellement) qui s'effectue dans la zone intermédiaire entre le sol très poreux et l'air bourré d'obstacles (un pâturage par exemple). Les pédologues cherchent souvent à expliquer des différences mineures (grains de quartz blanchi, structure légèrement différente) de la partie supérieure de l'horizon humifère (0 à 5 cm) par l'existence de cet écoulement qui lessiverait particulièrement cette croûte poreuse du sol. Cas observé dans une case d'érosion à Adiopodoumé.

312. Certains sols présentent à faible profondeur un horizon dont la perméabilité n'est qu'une petite fraction de celle des horizons superficiels (voir fig. 10). Les eaux de pluie engorgent les horizons poreux (peu de ruissellement puisque la perméabilité de surface est élevée) puis forment une nappe temporaire en charge qui s'écoule le long de l'horizon imperméable. Au cas où une rupture de pente (érosion régressive) le met à nu, cet écoulement souterrain devient aérien et se confond avec le ruissellement (cas classique à Coshocton, Ohio).

Si ces terrains ont une pente prononcée, ils sont très susceptibles à des glissements en masse.

3.2. Le drainage oblique (oblique drainage)

Un grand nombre de sols présentent en profondeur des horizons de moins en moins perméables. Si la pluie est suffisamment abondante il est possible que de petites accumulations d'eau libre se forment au-dessus de chaque horizon. Si le sol est en pente ces nappes temporaires donnent lieu à des écoulements obliques le long de cette pente. Cependant la durée de ces écoulements est très limitée (quelques minutes à quelques heures) après la fin de la pluie. (voir fig. 10).

La plupart de nos observations en Côte d'Ivoire mettent en évidence ce type d'écoulement intermédiaire.

3.3. Les nappes perchées (perched watertable).

Lorsqu'un sol poreux présente en profondeur une discontinuité imperméable (par exemple cuirasse latéritique ou surface d'altération d'une roche ou lit argileux) l'eau d'infiltration peut s'accumuler en une nappe perchée qui peut alimenter des écoulements pendant plusieurs jours voir des semaines.

Nous soupçonnons que ce soit le cas dans sept de nos fosses d'étude du drainage oblique où on peut voir à la fin de la saison humide lorsque le sol est gorgé d'eau les débits croître de bas en haut et ne décroître que longtemps après la fin de la pluie les dernières qui s'arrêtent de couler étant les niveaux les plus profonds.

En fait les trois cas précités interviennent à des époques différentes ou sont intimement mêlés au cours d'une seule pluie.

Chapitre 3 - Les résultats de la campagne 1967.

3.1. La pluviosité (tableau 2)

La campagne 1967 a été particulièrement sèche (total en 1967 = 1242 mm) par rapport à la moyenne de la pluviosité de Divo (= 1747,8 mm) (7). Cette sécheresse a encore été soulignée par une mauvaise répartition des pluies puisque les deux tiers sont tombés en quatre mois consécutifs (mars à juin).

Seul le mois de mars a eu une pluviosité nettement supérieure à la moyenne ; juin et décembre furent normaux ; les neuf autres mois furent déficitaires et particulièrement mai, septembre et octobre.

Après un début prometteur en mars, la pluviosité a été médiocre jusqu'en juin et depuis le 25 juin on n'a plus enregistré une seule pluie de plus de 40 mm.

Les décades les plus humides eurent lieu fin mars (185 mm), début juin (119 mm) et fin juin (105 mm).

L'analyse du tableau des classes de hauteur de pluie (n° 3) au cours de l'année montre que la pluie tombe le plus généralement en quantité si faible qu'elle atteind à peine le sol (interception par la forêt) où elle s'évapore en quelques jours. En 1967 il y eut environ 27 pluies de plus de 20 mm qui ont pu avoir des conséquences au point de vue érosion et drainage. Or la plupart sont tombées sur un sol sec. Les chances d'enregistrer de l'érosion et du drainage en 1967 ont donc été minces.

3.2. L'érosion, le ruissellement et le drainage oblique.

Il nous faut d'abord rappeler que la parcelle de mesure de l'érosion n'a été clôturée par une tôle en plastique qu'à partir du 25 avril 1967 : il faut donc attendre que les terres remuées

(7) La pluviosité moyenne a été calculée par l'ASECNA et arrêtée à Divo en 1967. Cette moyenne change chaque année en fonction des résultats de la nouvelle campagne mais les variations de la moyenne sont négligeables lorsqu'on a des valeurs aussi nombreuses qu'à Divo.

Tableau 2 - Pluviosité à l'IFCC près de Divo en 1967.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	<u>20,0</u>	25,0	-	-	-	3,1	1,1	-
2	-	-	3,3	-	-	-	-	-	-	9,5	2,1	-
3	-	1,2	-	-	6,0	33,0	-	-	-	<u>6,0</u>	-	-
4	-	7,1	-	-	-	-	<u>27,0</u>	-	-	<u>13,5</u>	-	-
5	-	-	-	-	<u>23,0</u>	<u>20,9</u>	<u>22,0</u>	-	-	-	-	<u>22,0</u>
6	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	4,5	-	-
7	-	-	-	7,5	-	<u>18,0</u>	-	-	-	1,0	-	-
8	-	-	2,2	-	-	-	-	-	0,2	1,0	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	2,0	-	-
10	-	-	0,4	3,0	-	22,0	-	-	0,6	-	2,2	<u>31,0</u>
Total	0	8,3	5,9	10,5	49,0	118,9	49,0	0	6,2	40,6	5,4	53,0
11	-	3,0	26,0	<u>30,0</u>	-	-	-	-	0,6	-	2,5	<u>6,0</u>
12	-	-	-	-	-	2,3	-	-	<u>17,0</u>	-	-	<u>11,0</u>
13	-	0,3	25,0	-	-	-	-	6,0	1,9	-	-	-
14	-	9,5	-	0,6	-	<u>73,0</u>	<u>33,0</u>	-	4,0	<u>12,4</u>	-	-
15	3,0	-	-	-	-	-	-	9,0	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	-	-
17	-	-	17,0	<u>17,7</u>	2,9	-	-	-	-	2,1	1,0	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	-	7,0	-
19	-	-	11,0	-	-	-	-	-	<u>12,0</u>	<u>19,0</u>	1,0	-
20	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	4,5	-
Total	3,0	12,8	79,0	48,5	2,9	75,3	33,0	15,0	45,0	38,5	16,0	17,0
21	-	-	36,0	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-
22	-	-	28,0	-	-	-	-	-	0,6	-	4,0	-
23	-	-	25,0	<u>28,3</u>	-	<u>35,3</u>	-	-	2,1	2,2	5,0	-
24	-	-	35,0	-	<u>22,9</u>	-	-	-	-	2,4	2,0	-
25	-	3,4	2,0	<u>28,1</u>	2,0	<u>40,0</u>	-	-	-	-	0,6	-
26	-	-	-	-	-	<u>22,7</u>	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	7,0	-	-	5,0	-	-	-
28	-	-	8,5	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,0	<u>39,0</u>	-
30	-	-	50,0	-	<u>18,0</u>	-	-	-	3,0	18,0	-	-
31	-	-	0,6	-	<u>10,0</u>	-	-	-	-	-	-	-
Total	0	3,4	185,1	59,9	52,9	105,0	0	0	10,7	40,6	51,6	0
Total mensuel	3,0	24,5	270,0	118,9	104,8	299,2	82,0	15,0	61,9	119,7	73,0	70,0
Moyenne mensuel- le à Divo	27,5	78,0	161,8	186,5	214,8	307,2	138,8	62,0	166,9	215,4	120,4	68,5

Total annuel 1967 : 1242,0 mm

Total annuel moyen : 1747,8 mm

Tableau 3 - Répartition mensuelle des classes de hauteur de pluie en 1967.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
0 - 10	1	6	6	5	3	2	0	2	12	11	13	1	62
10 - 20			2	1	2	1	0		2	5	0	1	14
20 - 40			6	3	3	6	3				1	2	24
40 - 60			1			1							2
60 - 100						1							1
+ de 100													0
Nbre de pluies	1	6	15	9	8	11	3	2	14	16	14	4	103

en bordure aient retrouvé leur stabilité. Par ailleurs tous les résultats (à part les pertes en terre de fond) ont été sous estimés suite au débordement des eaux de ruissellement et de drainage oblique hors des récipients de stockage le 14-6-67. En effet nous ne disposons à cette date que d'un fût de 200 l pour stocker les eaux de ruissellement et de jerricans de 22 litres pour recueillir les eaux de drainage oblique : nous nous sommes, pour cette pluie, livré à une estimation par défaut.

Ces résultats ne sont donc qu'une première approche donnant un ordre de grandeur des phénomènes observables lors d'une année sèche.

321. L'érosion (voir tableau n° 4)

La quantité totale (E) de matériaux solides arrachés par l'érosion en 1967 est de l'ordre de 503 kg/ha soit deux fois celle observée en moyenne sur les pentes sableuses d'Adiopodoumé sous forêt dégradée. Rappelons que sur sol nu et pente de 7 % on a mesuré à Adiopodoumé des pertes en terre de l'ordre de 120 tonnes par hectare et par an. Ceci donne une idée de ce qui se passe la 1ère année après un défrichement.

Cette perte en terre sous forêt est très faible puisqu'il faudrait plus de 3.000 ans pour arracher les 10 cm de sol meuble qui recouvrent la nappe de gravillons (sans compter les remontées d'argile par les termites et vers de terre). Elle est probablement encore supérieure à la réalité. En effet on a enregistré près de 150 kg/ha de terre de fond (constituée en majeure partie de sables grossiers) arrachée probablement le long des bordures non encore stabilisées. De plus les chiffres de turbidité(8) sont très élevés: la turbidité est de 5,848 gr/l en moyenne pondérée annuelle et dépasse 10 gr/l au cours de trois pluies. En particulier lors de la pluie du 14/6 qui s'élève à 75 mm on a estimé le ruissellement à 2,87 % et les pertes en terre à 20 kg sous forme de terre de fond et 225 kg sous forme de suspension (turbidité de 10,804 gr/l).

(8) La turbidité est le nombre de grammes de matériaux en suspension par litre d'eau ruisselée.

Tableau 4 - Pluviosité, ruissellement et drainage oblique sous forêt semi-décidue et pente 9,5 (granito-gneiss).
Station IFCC près de Divo - Résumé de la campagne 1967.

Pluviosité totale		1242,0 mm
Pluies érosives		738,1 mm
Index d'érosivité R en unités américaines		567,2
Ruissellement total (coeff. 43,86)		6,261 mm
Coefficient de ruissellement moyen des pluies érosives		0,85 %
Coefficient de ruissellement du bilan annuel		0,50 %
Coefficient de ruissellement max. pour 1967		2,87 %
Suspension (S)		366,173kg/ha
Terre de fond (T)		137,019kg/ha
Erosion totale (E)		503,192kg/ha
Rapport (S/E)		72,8 %
Turbidité moyenne		5,848gr/l.
Drainage oblique	{ 0 à 15 cm	0,010 l.
- sur 2 m de front	{ 15 à 50	0,010 l.
	{ 50 à 100	>25,825 l.
	{ 100 à 150	>26,660 l.
	{ 150 à 190	>29,195 l.
	{ total sur 2m. de front	>81,700 l.
- réduit à l'ha (coefficient 131,58)		10,75 m ³ /ha
Coeff. de drainage obl. sur 2 m durant les pluies érosives		0,14 %
" " du bilan annuel		0,09 %
" " max. en 1967		1,30 %

Il se peut que sur granite et dans les conditions de Divo (vieille forêt très élevée) la turbidité soit plus forte que sous la forêt secondaire dégradée très dense d'Adiopodoumé.

Nous croyons plutôt qu'il s'agit d'une technique de prélèvement des eaux de suspension où seraient incorporés des éléments des terres de fond. Ceci est à vérifier au cours des prochaines années. Notons cependant que si on calcule les pertes en suspension sur la base d'une turbidité moyenne de l'ordre de 1 gr/litre on retrouve le chiffre de 200 kg de perte en terre par hectare et par an trouvé à Adiopodoumé.

Si on détaille par mois les risques d'érosion on remarque qu'ils sont maximum lors des plus fortes pluies c'est à dire en juin puisque le couvert végétal est pratiquement complet et constant toute l'année. La seule pluie du 14 juin (75 mm) a provoqué à elle seule plus de la moitié des pertes en terres. Il peut cependant se produire quelques pluies violentes en pluie saison sèche.

322. Le ruissellement (voir tableau n° 4)

Dans l'ensemble d'un bilan hydrique annuel d'une parcelle sous forêt le ruissellement n'intervient que pour une part négligeable ($\leq 1\%$). En 1967 à la station IFCC le ruissellement n'a atteint que 6,15 mm soit moins de 0,5 % de la pluie tombée cette même année.

Sous forêt les coefficients de ruissellement par pluie unitaire restent généralement inférieurs à 5 ou 10 %. En 1967, la moyenne pondérée annuelle est de 0,83 % des pluies érosives. Le maximum a été estimé(9) à 2,87 % pour la pluie de 75 mm tombée le 14 juin. Les coefficients de ruissellement dépendent étroitement de la hauteur et de l'intensité des pluies. Comme nous n'avons eu que 2 pluies de plus de 40 mm en 1967 il fallait s'attendre à ce que le ruissellement soit particulièrement faible.

(9) Voir paragraphe 3.2.

Le 14 juin 1967 le ruissellement ayant débordé du fût et rempli une partie de la fosse a été évalué à plus ou moins 500 litres et les eaux de drainage ont débordé en D₂, D₃ et D₄ et évalués à plus ou moins 25 litres.

323. Le drainage oblique (voir tableau n° 4).

Il faut d'abord remarquer que si on peut aisément limiter les phénomènes de ruissellement et d'érosion dans un champ en clôturant la parcelle par des tôles, il est pratiquement impossible de définir la surface correspondant aux échantillons d'eau de drainage oblique recueillis. En effet l'établissement d'un drain ou d'un mur sur 2 m. de profondeur perturberait complètement le système d'écoulement naturel et nous écarterait de notre but: l'étude de la pédogénèse actuelle de ces sols forestiers.

Faute d'une meilleure précision nous avons considéré la surface drainée comme étant égale à 2 x 38 m (soit 76 m²) pour nous faire une idée approximative des volumes écoulés à l'hectare dans cette tranche de sol épaisse de 1,90 mètres.

Au cours de l'année nous avons récolté un total de 81,7 litres sur les 5 étages et les 2 mètres de front ce qui correspond à 10,750 m³/ha ou à 1,07 mm. Ces résultats sont faibles et comparables à ceux que l'on a obtenus sur la parcelle "R2" à Adiopodoumé.

Ce drainage oblique, si faible soit-il, n'est cependant pas fruit de l'imagination des pédologues ni un simple suintement le long d'une fosse puisqu'en une seule pluie on a recueilli plus de 25 litres à chacun des trois derniers étages. C'est donc un phénomène réel dont l'ampleur est variable en fonction de la topographie, de la latitude, du climat et donc du type de sol étudié.

Le coefficient de drainage oblique qui se définit comme la partie des eaux de pluie qui circule obliquement dans une tranche de sol considérée (ici 1,9 mètre) durant une période donnée a atteint 0,09 % en moyenne annuelle et 1,3 % au moins (10) le 14 juin 1967.

On n'a recueilli que des traces de drainage oblique dans les horizons humifères et gravillonnaires contrairement à ce qu'on a pu constater à Azaguié et Adiopodoumé. De plus l'année étant très peu pluvieuse on n'a recueilli d'échantillons importants qu'au mois de juin lorsque le sol a été gorgé d'eau.

(10) voir estimation au paragraphe 3.2.

Généralement, le ruissellement et le drainage oblique ne se font pas avec la même intensité ni à tous les étages durant toute la saison des pluies. En tenant compte des résultats obtenus ailleurs on pourrait schématiser les relations sol - eau de gravité de la façon suivante:

1 - Les premières pluies de la saison sont brutales mais relativement peu importantes (tornades de 20 à 30 mm). Le sol est gorgé d'air qui encombre des macroporosités et les écoulements restent très superficiels; on n'observe 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 obliques d'eau libre car celle-ci est fixée dans les agrégats (peu de ruissellement et moins encore de drainage oblique).

3 - Enfin lorsque le sol est pratiquement en permanence à la capacité au champ ou-au-delà (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 sus-jacent et y circule obliquement en formant une nappe suspendue temporaire.

Les pluies à cette époque peuvent dépasser 100 mm mais les coefficients de ruissellement restent relativement faibles étant donné l'établissement d'un fort drainage (suction importante). 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 donné la distribution plus lâche des pluies.

En 1967, à la station IFCC de Divo la fréquence et le volume des échantillons ont été décroissants de 2 m. de profondeur à la surface du sol. Il semble donc que, cette année, le ruissellement hypodermique n'ait pas eu lieu mais qu'il ne s'est manifesté qu'une accumulation d'eau de drainage vertical en une nappe temporaire qui ne s'écoule qu'une dizaine de fois par an dans la zone d'argile tachetée du sol.

Chapitre 4 - Les résultats de la campagne 1968

4.1. La pluviosité. (voir tableaux 5, 6, 7, 8).

La campagne 1968 se présente comme étant la plus arrosée depuis que l'on mesure la pluviosité à la Station IFCC de Brabodougou. La pluviosité totale (1955,2 mm) est supérieure à la moyenne annuelle de Divo et surtout beaucoup mieux répartie. Elle est groupée en une seule saison des pluies (voir tableaux n° 5 et 6 et figure n° 11).

Seul le mois de janvier a connu une longue période de sécheresse (28 jours) atténuée par deux pluies seulement dont l'une de 104 mm (elle masque sur le graphique 11 le caractère sec du mois de janvier. Février et mars sont encore secs (deux décades sans pluie); d'avril à juillet il pleut près de 200 mm/mois. Puis la pluviosité baisse lentement jusqu'en décembre (90 mm) après avoir montré une légère remontée en novembre.

Six mois de l'année ont une pluviosité nettement excédentaire par rapport à la moyenne mensuelle de Divo. Par contre les 4 mois généralement les plus pluvieux (mai-juin-septembre-octobre) sont déficitaires. Neuf mois sur douze ont reçu une pluie de plus de 40 mm.

Les décades les plus arrosées eurent lieu début janvier (104mm), mi-mai (125 mm) et fin juillet (96 mm).

Tableau 6 - Répartition mensuelle des classes de hauteur de pluie en 1968.

Classes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
0 - 40	0	3	5	1	5	10	11	11	12	9	7	3	77
10 - 20	1	3	3	4	1	4	5	2	0	4	6	2	35
20 - 40	0	2	1	3	4	2	1	1	2	1	1	0	18
40 - 60	0	1	1	1	1	2	1	1				1	9
60 - 100	0												0
+ de 100	1												1
Nombre de pluies	2	9	10	9	11	18	18	15	14	14	14	6	140

Tableau 5 - Pluviosité à la station IFCC près de Divo.

Année 1968

Pluviomètre association du poste météo.

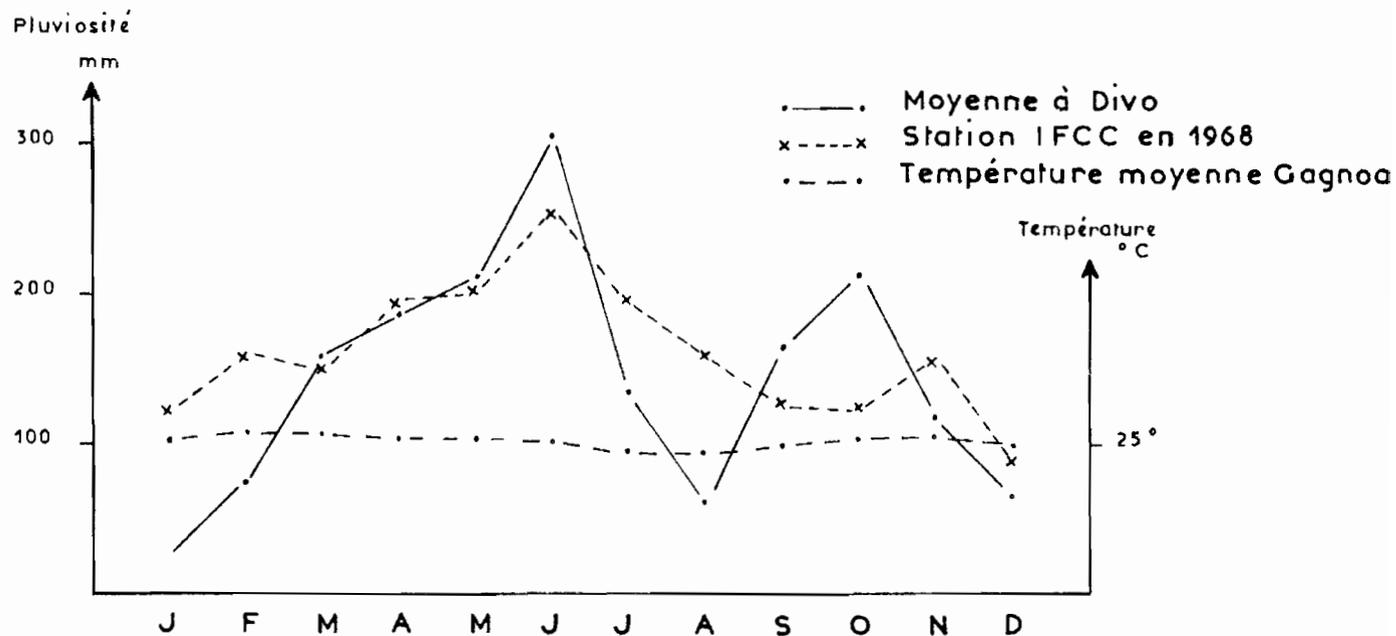
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-	-	-	-	-	-	15,8	-	-	16,3	-
2	-	-	-	-	-	-	-	4,8	7,2	0,7	-	-
3	104,0	17,3	-	-	4,0	34,7	8,1	-	9,0	12,1	-	-
4	-	-	-	29,0	-	-	-	-	-	-	1,7	-
5	-	2,0	-	-	-	-	11,6	-	4,4	-	-	-
6	-	11,8	-	-	1,1	-	6,5	-	5,2	30,0	-	-
7	-	-	-	-	-	2,4	-	-	24,3	-	18,4	6,1
8	-	32,0	-	-	-	-	29,7	-	-	-	1,4	-
9	-	-	1,2	7,0	-	51,5	1,0	24,0	-	-	2,7	-
10	-	-	-	12,3	-	1,3	12,2	-	-	8,2	16,2	-
Total écadaira	104,0	63,1	1,2	48,3	5,1	89,9	69,1	45,6	50,1	51,0	56,7	6,1
11	-	-	-	-	-	6,2	1,9	-	5,3	-	-	-
12	-	-	-	27,8	28,8	1,2	-	3,5	0,4	15,8	-	12,0
13	19,8	-	31,2	-	-	1,2	-	-	-	8,5	19,0	11,0
14	-	-	-	15,1	-	-	-	8,5	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	3,1	-	-	-	15,0	-
16	-	-	-	-	15,3	-	2,8	-	39,2	-	6,0	0,7
17	-	-	14,2	13,7	9,0	16,0	-	6,7	-	4,0	-	-
18	-	-	-	-	-	-	11,1	5,6	-	-	-	3,6
19	-	-	18,7	-	27,6	-	12,0	-	2,4	0,8	-	-
20	-	16,2	18,4	-	4,2	57,5	-	4,1	3,5	11,6	13,0	-
Total lécad.	19,8	16,2	82,5	56,6	124,9	82,1	30,9	28,4	50,8	40,7	53,0	27,3
21	-	-	-	-	4,1	1,5	57,8	-	-	-	37,0	-
22	-	1,7	-	-	-	0,8	7,7	9,0	-	2,5	-	-
23	-	3,5	57,4	-	-	17,5	-	-	6,5	19,3	2,2	-
24	-	-	-	-	-	0,8	1,6	2,0	-	-	-	-
25	-	-	2,3	52,5	26,0	15,0	16,7	16,5	2,7	-	-	-
26	-	54,1	1,6	-	-	4,6	0,6	2,2	9,6	-	9,0	57,0
27	-	-	0,6	18,0	-	-	-	-	8,5	-	0,6	-
28	-	24,0	5,6	23,3	4,5	32,3	-	-	-	3,3	-	-
29	-	-	-	-	-	2,3	5,3	46,3	-	-	-	-
30	-	-	-	-	38,0	11,0	-	7,1	-	5,8	-	-
31	-	-	-	-	-	-	6,3	3,5	-	2,2	-	-
Total lécad.	0,0	83,3	67,5	93,8	72,6	85,8	96,0	86,6	27,3	33,1	48,8	57,0
Total mensuel	123,8	162,6	151,2	198,7	202,6	257,8	196,0	160,6	128,2	124,8	158,5	90,4
Moyenne DIVO %	27,5	78,0	161,8	186,5	214,8	307,2	138,8	62,0	166,9	215,4	120,4	68,5
	450	208	93	107	94	84	141	259	77	58	132	132

Total annuel 1968 = 1955,2

Total 72 pluies érosives 1968 = 1659,2 mm

Notes: Les hauteurs et les dates de pluie sont celles relevées au pluviomètre "association" de la station météo près des bureaux.

Fig. 11. Comparaison des Pluiosités Mensuelles
à la Station IFCC en 1968 et à Divo.



L'analyse du tableau 6 des classes de hauteur de pluie en 1968 montre que plus de la moitié des pluies (77/140) sont si faibles qu'elles n'atteignent pratiquement pas le sol vu l'interception par le couvert forestier. Cinquante trois pluies de 10 à 40 mm ont profité au maximum aux plantes tandis que dix pluies ont pu causer de réels dangers d'érosion en particulier la pluie de 104 mm survenant en pleine saison sèche (3/1/68).

Sur 140 jours de pluies, 72 ont entraîné du ruissellement et seulement 10 du drainage.

Tableau 7 - Intensités maxima (mm/h) en 1, 5, 10, 30 et 60 minutes enregistrées mensuellement en 1968.
Station IFCC près de Divo.

	I 1'	I 5'	I 10'	I 30'	I 60'	H. max.
J	-	-	-	-	-	104,0
F	100	90	60	34	21	24,0
M	240	180	168	62	50	59,7
A	150	144	114	53	45	52,5
M	115	114	99	68	40	49,0
J	100	96	84	52	33	57,5
J	75	72	60	34	33	57,8
A	85	84	72	62	35	46,3
S	-	-	-	-	-	-
O	80	78	51	30	25	30,0
N	105	144	87	40	22	37,0
D	150	132	108	96	60	57,0
MAX.	240	180	168	96	60	104 mm

Notons que - l'intensité en 60 minutes dépend surtout de la hauteur atteinte par l'averse la plus importante
 - l'intensité en 30 minutes tient compte à la fois de la durée et de l'intensité de la pluie: donc elle reflète bien l'agressivité d'une pluie
 - les intensités de 10 minutes et moins se manifestent durant des temps trop courts pour avoir une action sur le ruissellement.

Tableau n° 8 - Répartition des classes d'intensité des pluies au cours de l'année 1968.
 Dépouillement d'une trentaine de pluviogrammes (Station IFCC près de DIVO).

Intensité	0-19 mm/h	20-39 mm/h	40-59 mm/h	60-79 mm/h	80-99 mm/h	100-119 mm/h	120- 139 mm/h	140- 159 mm/h	160- 179 mm/h	180- 199 mm/h	200- 219 mm/h	220- 239 mm/h	240- 259 mm/h
Février	95			10									
Mars	434	35	35	34			4	6					1
Avril	676	40	48	29	5		5						
Mai	1252	66	27	12	20	10							
Juin	1289	115	10	5	12								
Juillet	1016	62	12	10									
Août	1079	10	7	25	5								
Septembre	5		12										
Octobre	562	44	18	10									
Novembre	693	18	7	11	24	5							
Décembre	255	22	7	20	11		5	2					
TOTAL	7356	412	183	172	77	15	14	8					1

A partir de février 1968 un pluviographe à auget basculant a été installé dans le "parc météo" non loin des bureaux : il nous a permis d'analyser les intensités (max. et courbe de fréquence) ainsi que d'étudier un indice d'érosivité du climat.

Le tableau n° 7 nous montre qu'il peut y avoir durant quelques minutes des intensités de l'ordre de 100-150 et même 240 mm de pluie par heure. Des intensités de 60 à 98 mm/heure peuvent durer trente minutes mais elles dépassent rarement 50 à 60 mm/heure durant une heure : ceci est particulièrement important pour définir la "pluie standard" que devra produire le simulateur de pluie.

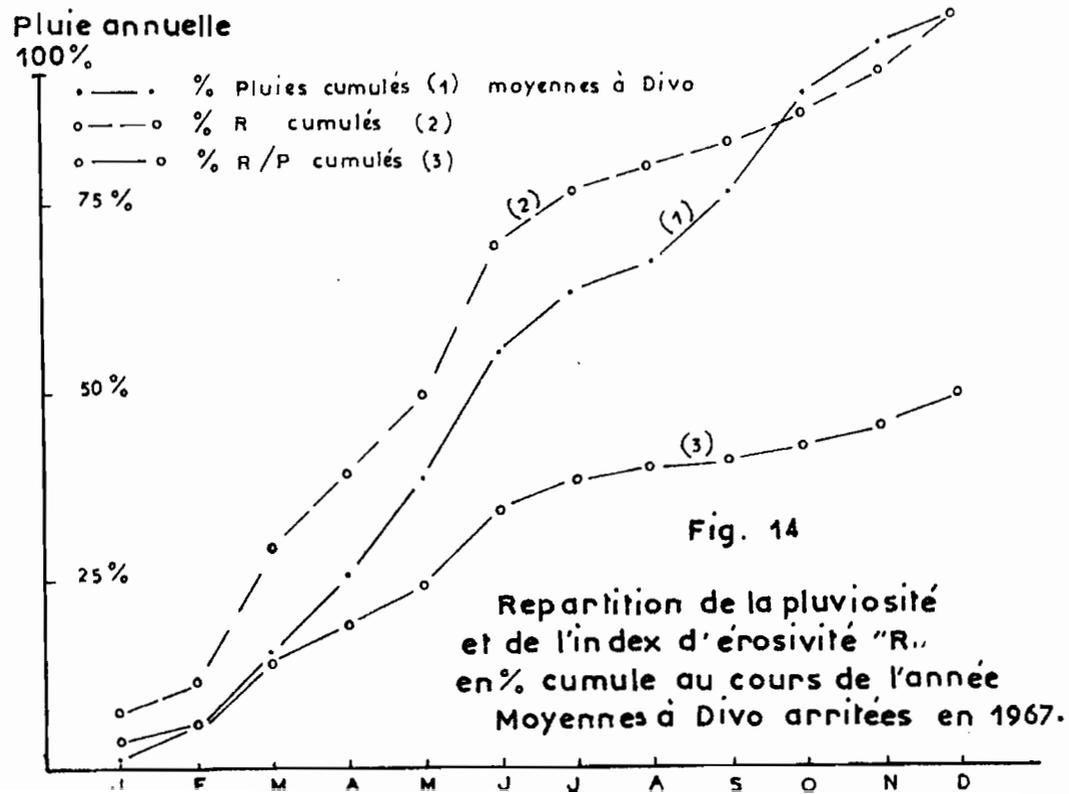
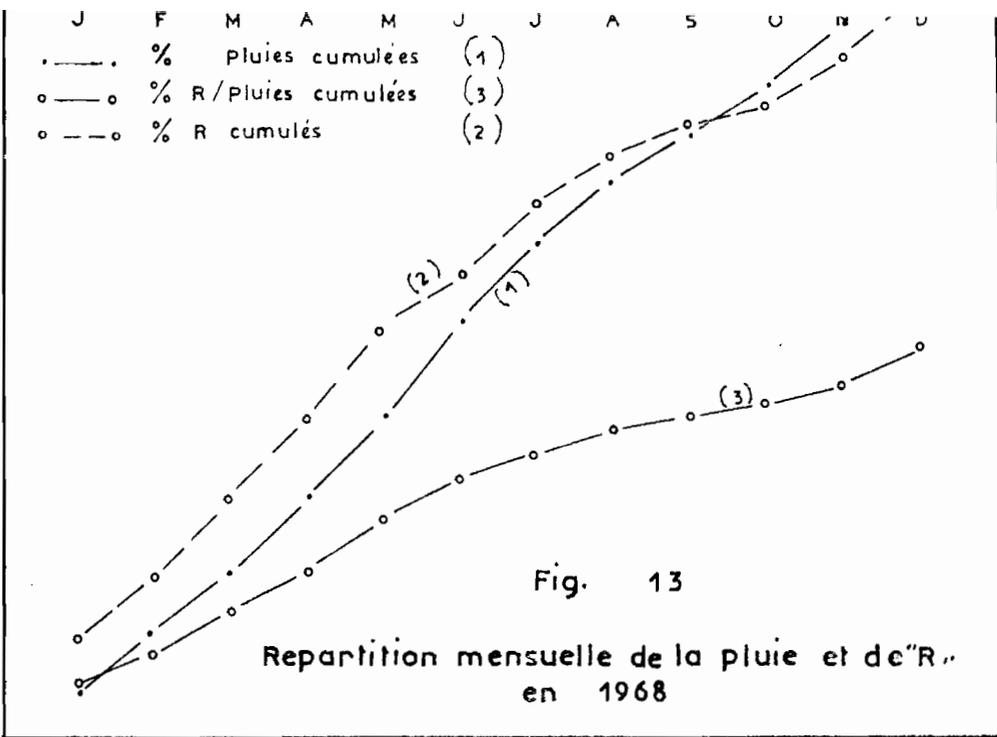
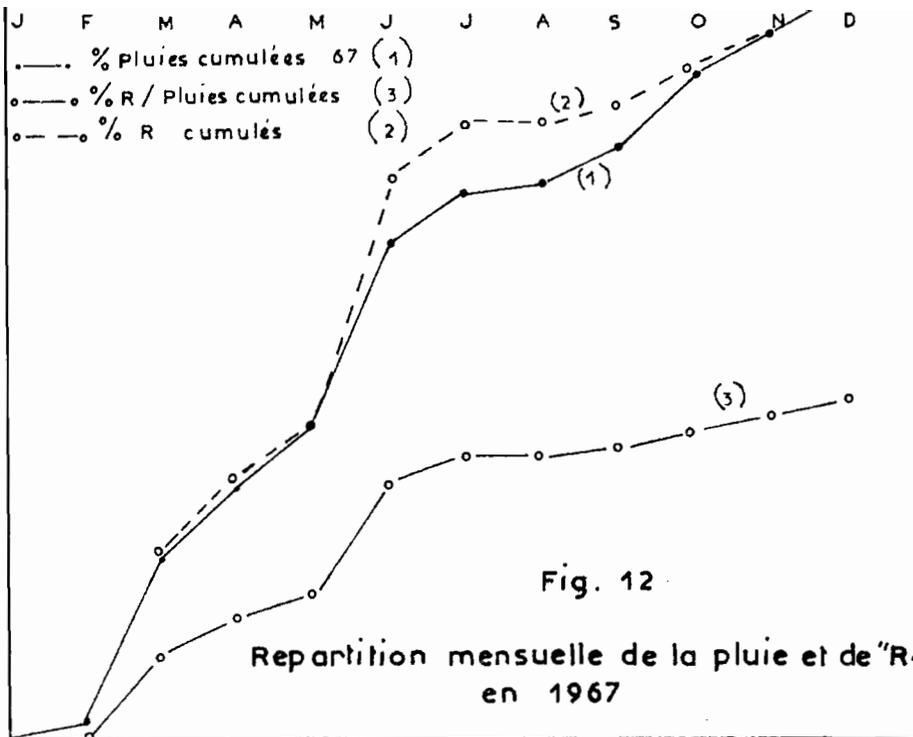
Le tableau n° 8 donne une idée de la fréquence des classes d'intensité au cours de l'année pour les pluviogrammes exploitables dont nous disposons en 1968. Sur 8.238 minutes étudiées il y en a moins de 40 dont l'intensité de la pluie dépasse 100 mm/heure. Par contre plus des 9/10 des intensités ne dépasse pas 20 mm/heure n'entraînant aucun risque de ruissellement.

L'érosivité d'un climat a été défini par WISCHMEIER et SMITH (1968) comme étant la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires d'une année par leur intensité maximum durant trente minutes.

L'énergie cinétique est fonction de l'intensité des pluies: elle a été calculée au départ d'une trentaine de pluviogrammes exploitables selon la méthode préconisée par le Centre Technique Forestier Tropical de Tananarive (1966). L'index R est exprimé en unités américaines (FOOT-TON/acre et INCH/HOUR) afin d'être directement comparable aux valeurs trouvées aux USA (R = 150 à 800).

Après le dépouillement d'une trentaine de pluies unitaires de plus de 10 mm une courbe a été dessinée qui établit approximativement la relation graphique existant entre la hauteur des pluies unitaires et leur index d'érosivité (R) à Divo (voir fig. 15).

Partant de cette courbe nous avons alors calculé l'index R pour les pluies dont l'enregistrement nous manquait en 1968 et pour



toutes les pluies de 1967 (11). D'où les courbes de répartition mensuelle de R cumulé pour les années 1967 et 68 (courbes n°2 des figures 12 et 13). D'où également les courbes de pourcentage mensuel cumulé de l'index R par rapport à la pluviosité annuelle totale de 1967 et 68 (courbes n°3 des fig. 12 et 13): vu leur ressemblance (voir tableau 9) nous en avons calculé la moyenne (courbe 3, fig.14) et l'avons appliqué à la pluviosité annuelle moyenne de Divo (1951- à 1967). De là on tire la courbe moyenne (n°2 fig. 14) de répartition de l'érosivité (index R) au cours de l'année pour la région de Divo. Cette courbe de répartition mensuelle de l'érosivité du climat est très importante pour l'application de la formule de WISCHMEIER permettant de fixer les travaux antiérosifs à prévoir en fonction de l'érodibilité du sol (K) de sa pente (S et L) de la plante cultivée et des techniques culturales adoptées (C) si l'on ne veut pas voir l'érosion dépasser une valeur critique appelée érosion tolérée (1 à 12 tonnes/ha en fonction de la richesse de la profondeur du sol et de sa vitesse de régénération par l'altération de la roche).

Cette courbe devra donc être précisée au cours des années à venir.

Notons que cette courbe (n°2, fig.14) est basée sur les relations "hauteur de pluie unitaire - index d'érosivité de cette pluie": elle n'a valeur que dans la région climatique de Divo et devra être établie statistiquement sur un grand nombre de pluviogrammes. Peut-être pour plus de précisions, serons-nous amenés à définir 3 ou 4 courbes en fonction des saisons (fig. 15).

L'indice d'érosivité annuel (R) est parmi les plus élevés de ceux obtenus aux USA (150 à 800) puisqu'il a atteint respectivement 567 en 1967 et 1.029 en 1968 soit en moyenne environ 860 en considérant la pluviosité annuelle moyenne à Divo (1950-1967) voir tableau 9).

-
- (11) - Pour le calcul de R on ne s'encombre pas des pluies de moins de 10 mm dont l'agressivité est négligeable dans la nature.
 - Une pluie unitaire est distincte de sa voisine s'il pleut moins de 1 mm en six heures entre ces deux pluies.

Tableau 9 - Hauteur de pluie mensuelle et indice d'érosivité du climat (coeff. R. de WISCHMEIER en unités américaines). Station IFCC près de DIVO.

1967	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
mensuel			142,5	57,0	41,5	184,2	45,0		10,0	32,0	24,0	31,0
R. cumulé			25,1	35,1	42,5	75,0	82,9	82,9	84,7	90,3	94,5	100
RC/P annuel			11,5	16,1	19,4	34,2	37,9	37,9	38,7	41,2	43,2	45,7
Pluie mensuelle	3,0	24,5	270,0	118,9	104,8	299,2	82,0	15,0	61,9	119,7	73,0	70,0
PC/P annuel	0,2	2,2	24,0	33,5	42,0	66,1	72,7	73,9	78,8	88,5	94,4	100
Totaux annuels 1967 { Pluie = 1242,0 mm (R = 567,2 R/P = 45,7 %												

1968												
Pluie mensuelle	123,8	162,6	151,2	198,7	202,6	257,8	196,0	160,6	128,2	124,8	158,5	90,4
PC/P annuel	6,3	14,6	22,4	32,5	42,9	56,1	66,1	74,3	80,9	87,3	95,4	100
mensuel	140,0	83,98	109,80	108,27	134,80	104,16	57,55	63,98	36,80	32,10	61,73	95,48
R. cumulé	13,6	21,8	32,4	43,0	56,0	66,2	71,8	78,0	81,5	84,7	90,7	100
RC/P annuel	7,2	11,5	17,1	22,6	29,5	34,8	37,8	41,0	42,9	44,6	47,7	52,6
Totaux annuels 1968 { Pluie = 1955,2mm (R = 1028,65 R/P = 52,6												

Extrapolation aux moyennes mensuelles de DIVO arrêtée en 1967 (ASECNA)												
Pluie mensuelle	27,5	78,0	161,8	186,5	214,8	307,2	138,8	62,0	166,9	215,4	120,4	68,5
PC/P annuel	1,6	6,0	15,3	25,9	38,2	55,8	63,8	67,3	76,9	89,2	96,1	100
RC/P moyen 68/67	3,6	5,7	14,3	19,4	24,4	34,5	37,9	39,5	40,8	42,9	45,5	49,2
" non cumulé	3,6	2,1	8,6	5,1	5,0	10,1	3,4	1,6	1,3	2,1	2,6	3,7
mensuel moyen	62,90	36,69	150,27	89,11	87,37	176,48	59,41	27,96	22,71	36,69	45,43	64,65
Totaux annuels moyens à Divo { Pluie = 1747,3 mm (R = 859,67 R/P = 49,2 %												

4.2. L'érosion, le ruissellement et le drainage oblique.

Dès le mois de février 1968 un équipement plus complet a été installé comprenant des bidons de 60 litres pour stocker les eaux de drainage oblique et un fût de 200 litres percé en son sommet de 17 fentes tubulaires (= partiteur) dont une seule aboutit à un second fût (200 litres) de stockage des eaux ruisselées.

Ce système permet de mesurer sur la parcelle (228 m²) un ruissellement de 10 % d'une pluie de 160 mm, phénomène encore jamais enregistré dans la région sous forêt.

Une pluie, malheureusement, nous a encore échappé : celle du 3 janvier où le ruissellement a été estimé par défaut à 250 litres. Comme la turbidité des eaux de ruissellement est faible, cela entraîne peu d'erreur sur l'érosion.

Ces résultats reflètent donc bien les phénomènes d'érosion, de ruissellement et de drainage oblique sous forêt dans la région de Divo lors d'une année fort pluvieuse.

4.2.1. L'érosion. (voir tableau 10).

En 1968 les pertes totales en terre s'élèvent à 644 kg/ha ; chiffre assez élevé sous une couverture forestière et à mettre en relation avec la forte hauteur de pluie enregistrée cette année. Moins de 40 % des terres érodées ont été transportées sous forme d'éléments fins en suspension et la turbidité annuelle pondérée ne dépasse pas 0,898 grammes par litre, chiffre raisonnable, beaucoup plus semblable à ce que nous connaissons sur les sables tertiaires d'Adiopodoumé et neuf fois plus petits que ceux de 1967.

Cette année les dangers d'érosion ont été repartis sur presque tous les mois de l'année avec bien sûr un maximum en mai-juin-juillet. Rappelons cependant que la pluie la plus importante (104 mm) eut lieu début janvier et une autre le 26 décembre (57 mm) en pleine "saison sèche".

Tableau 10 - Erosion, ruissellement et drainage oblique
 sous forêt.
 Station IFCC près de DIVO.
 Résumé de la campagne 1968.

Pluviosité totale	1955,2 mm	
Pluies érosives	1659,2 mm	
Nombre de pluies érosives	72	
Index d'érosivité R en unités américaines	1028,65	
Ruissellement total	27,1 mm	
Coefficient de ruissellement moyen annuel	1,39 %	
Coefficient de ruissellement moyen des pluies érosives	1,63 %	
Coefficient de ruissellement max. (26.12.68)	5,95 %	
Erosion totale (E)	644,133 kg/ha	
Suspension (S)	243,388 kg/ha	
Terre de fond (T)	400,745 kg/ha	
Rapport S/E	37,8 %	
Turbidité (moyenne pondérée)	0,898 gr/l.	
Drainage oblique	observé	à 1'hectare x 131,57
de 0 à 15 cm	20,57 l.	2.706 l.
15 à 50	6,41	843V
50 à 100	12,36	1.626
100 à 150	26,93	3.543
150 à 190	0	0
Total sur 190 cm	66,27 l.	8.719 litre/ha
Coefficient de drainage oblique global moyen	0,0446 %	
Coefficient de drainage oblique global max.	0,376 %	

4.2.2. Le ruissellement (voir tableau 10)

Négligeable dans le cadre d'un bilan hydrique annuel (1,39%) le ruissellement est cependant plus fort qu'en 1967 (0,5 %): il atteint 27,1 mm.

Le coefficient de ruissellement moyen des pluies érosives s'élève à 1,63 %. Le maximum de ruissellement eut lieu le 26 décembre où 5,95% de la pluie (57 mm) ont ruisselé sur un sol déjà fort sec.

4.2.3. Le drainage oblique (voir tableau 10)

En considérant la surface drainée égale à 2 x 38 m, le drainage oblique annuel cumulé sur une tranche de 1,90m de profondeur a atteint 0,872 mm. Le coefficient maximum 0,376 % eut lieu le 24 mars pour une pluie de 57,4 mm mais on observe souvent 0,20 % lors des pluies de plus de 50 mm.

Les volumes récoltés cette année sont encore plus faibles (66,3 litres) que l'an dernier (81,7 litres) mais cette fois ce sont les quatre niveaux supérieurs qui ont coulé. On pourrait expliquer ceci en remarquant que la majorité des écoulements eurent lieu en "saison sèche" (janvier, février, décembre) et que le mois le plus pluvieux (juin) a été déficitaire par rapport à la moyenne: d'où des écoulements plus superficiels (fort ruissellement) et un drainage oblique plus faible malgré une pluviosité annuelle au-dessus de la "normale". On note donc que l'humidité préalable du sol et la succession des pluies sont au moins aussi importantes que la hauteur et l'intensité des pluies unitaires.

D'après le schéma donné par la fig. 10 du paragraphe 24 il semble qu'il s'agisse bien d'un drainage oblique provoqué dans un sol en pente dont les horizons sont de moins en moins perméables en profondeur: les écoulements sont faibles et s'arrêtent rapidement après la fin des pluies.

Chapitre 5 - Les résultats analytiques et leur discussion.

Etant donné le petit nombre d'échantillons d'eau de drainage que nous avons pu analyser nous avons regroupé ici les résultats des analyses effectuées en 1967 et 1968.

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'écarter 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 (soit 1 à 2 mois).

Les résultats présentés aux tableaux 11 et 13 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'IFCC (Bingerville) 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 réf., 6 fig., 9 tabl.

(14)

$$mp = \frac{\sum (x \cdot vx)}{\sum vx} \qquad ma = \frac{\sum x}{nx}$$

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 11 - Résumé des résultats analytiques des eaux de ruissellement et de drainage oblique à la Station IFCC en 1967.
Moyennes pondérées en mg/l.

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	Du	u générale
Volume	1.427,60	0	0	25,785	26,650	30,500	82,935	1.510,535
pH	6,66 ma/mp 100	-	-	7,31 109	7,32 103	7,38 99	7,34 103	6,69 107
Résistivité	16.661 ma/mp 82	-	-	4.572 49	3.250 82	3.515 147	3.758 96	15.952 54
Ca	6,94 ma/mp 117			19,53 131	20,33 119	17,57 90	19,07 112	7,60 198
Mg	2,32 ma/mp 101			12,30 173	15,78 121	15,10 71	14,45 119	2,98 326
K	6,16 ma/mp 135			24,49 197	34,07 125	22,58 70	26,86 127	7,30 301
Na	0,72 ma/mp 136			7,96 200	19,83 171	25,18 57	18,11 138	1,67 673
S. bases	16,14 ma/mp 123			64,28 173	90,01 134	80,43 288	78,49 203	19,56 296
M. org.	30,50 ma/mp 106			18,26 221	17,97 121	17,53 120	17,90 152	29,81 101
N. total	13,30 ma/mp 99			12,32 121	20,19 86	15,22 97	15,91 101	13,44 107
N.No ₃	2,29 ma/mp 100			0,25 100	6,32 66	4,90 117	3,91 95	2,38 120
N.NH ₄	0,28 ma/mp 121			0,30 100	0,22 81	0,26 100	0,26 94	0,28 105
Po ₄	1,02 ma/mp 100			0,08 100	0,22 1559	0,34 356	0,22 663	0,98 130
Fe ₂ O ₃	1,45 ma/mp 97			0,51 100	0,24 100	0,33 96	0,36 94	1,37 87
Al ₂ O ₃	1,32 ma/mp 72			0,55 100	0,36 100	0,60 56	0,51 84	1,27 54
SiO ₂	7,81 ma/mp 114			17,72 117	18,54 96	21,38 105	19,33 106	8,44 174

Notes : D0 correspondant aux eaux de ruissellement.

D1, D2, D3, D4, D5 sont des eaux de drainage oblique qui ont coulé aux niveaux 0-15; 15 à 50; 50 à 100; 100 à 150; 150 à 190 cm.

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.

5.1. La température, le pH et la résistivité. (voir tableaux 11,12,13).

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 par excès. La température mesurée a varié entre 22 et 25°C en 1967 et entre 21 et 24°C en 1968. La valeur la plus fréquente est 23°C. Les eaux de drainage ont en général une température plus basse que les eaux de ruissellement mais la différence est faible. Cela va à l'inverse de la normale car en général l'eau de pluie se réchauffe au contact du sol et ce contact est d'autant plus long que l'eau pénètre loin dans le profil.

Le pH varie très rapidement dans des milieux peu tamponnés comme ces eaux qui sont peu chargées. Or le pH est mesuré 15 à 30 jours après la fin de la pluie. Dans ce laps de temps les équilibres des gaz dissous dans les eaux peuvent changer dans une large mesure et en particulier le gaz carbonique et l'ammoniaque.

Des expériences préliminaires ont montré que le pH tend vers la neutralité; il peut augmenter d'une unité en 48 heures dans des conditions de conservation particulièrement mauvaises (récipient en verre non bouché et peu rempli donc échanges faciles avec l'air).

En 1967, le pH a varié de 2,3 à 9,5 mais les valeurs les plus fréquentes sont 6,7 à 6,9. La moyenne pondérée annuelle est de 6,66 pour les eaux de ruissellement et de 7,34 pour les eaux de drainage oblique (peu abondantes). Le volume d'eau écoulé semble avoir peu d'influence sur l'acidité des eaux ($\frac{ma}{mp}$ voisin de 100); par contre il semble que plus les eaux sont riches en matières organiques plus elles sont acides.

Tableau 12 - Relations entre le pH et les teneurs en matières organiques dans quelques eaux de ruissellement.
Station IFCC près de DIVO, 1967.

Date	pH	M. organique
3/7/67	2,3	52,8
5/6/67	4,6	51,2
14/6/67	6,7	28,0
19/9/67	9,5	20,8

Ceci expliquerait également les pH des eaux de drainage qui sont de plus ^{en} plus en basiques en profondeur en même temps que plus pauvres en matières organiques.

En 1968 on retrouve les mêmes valeurs de pH mais légèrement plus basiques, surtout pour le ruissellement vers la fin de l'année. Ainsi les extrêmes sont 5,1 et 9,7 et les valeurs les plus fréquentes vont de 6,7 à 7,4. Les moyennes annuelles sont de 6,98 pour les eaux de ruissellement et 7,31 pour les eaux de drainage. Aucune variation systématique de pH n'a été mise en évidence dans les eaux de drainage en fonction de la profondeur atteinte.

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 charge soluble globale des eaux au cours de l'année.

Tableau 13 - Résumé des résultats analytiques des eaux de ruissellement et de drainage oblique à la Station IFCC près de Divo.
- Campagne 1968 -

	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	Drainage	Moyennes générales
Volume	6.180,91	20,57	6,41	12,36	26,93	0	66,270	6.247,05
pH	6,98	7,30	7,10	7,40	7,30	-	7,31	6,99
mp	99	100	99	101	100		100	100
Résistivité	14.735	7.682	1.976	2.731	3.432	-	4.480	14.627
mp	100	91	97	91	75		82	78
Ca	8,47	12,37	17,19	18,96	16,96	-	15,96	8,55
mp	93	110	99	118	118		115	121
Mg	1,65	5,69	21,69	16,48	14,87	-	13,01	1,77
mp	104?	130	99	125	143		134	304
K	4,37	22,79	97,09	63,24	47,52	-	47,66	6,25
mp	104	128	100	119	158		145	324
Na	1,38	2,63	13,55	8,47	6,91	-	6,53	1,43
mp	48	120	93	115	165		138	185
S. bases	15,87	43,48	149,52	107,15	86,26	-	83,16	18,00
mp	93	122	99	120	148		137	215
M. Org.	12,33	22,62	30,73	13,33	7,70	-	15,64	12,00
mp	102	100	96	105	173		128	121
N. total	10,96	15,10	33,05	24,32	21,25	-	21,10	11,06
mp	99	130	113	112	148		134	135
N.N ₃	2,84	7,27	16,31	17,22	14,31	-	12,89	2,95
mp	82	129	101	101	76		101	148
N.NH ₄	0,83	1,55	1,38	1,62	0,65	-	1,18	0,83
mp	128	89	96	105	98		113	134
PO ₄	0,91	0,94	0,50	0,27	0,27	-	0,50	0,90
mp	108	106	102	107	81		118	100
Fe ₂ O ₃	1,04	1,11	0,76	0,44	0,42	-	0,67	1,04
mp	116	90	97	93	93		99	105
Al ₂ O ₃	0,73	0,52	0,83	0,24	0,12	-	0,34	0,73
mp	115	90	96	100	150		115	103
SiO ₂	9,32	9,64	15,20	8,17	18,05	-	13,32	9,36
mp	97	105	99	115	129		103	105

Notes: - D₀ correspond aux eaux de ruissellement; D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, sont des eaux de drainage oblique qui ont coulé aux niveaux 0-15, 15-50, 50-100, 100-150, 150-190 cm.

- Le pH est exprimé en unités pH, la résistivité en ohm.cm et les autres valeurs en mg/litre.

Tant en 1967 qu'en 1968 les eaux de ruissellement ont été très nettement moins chargées (mp 67 = 16,600; mp 68 = 15.000 ohm.cm) que les eaux de drainage dont la résistivité a varié de 2.000 à 7.700 ohm.cm avec des moyennes de 3760 pour 1967 et 4500 pour 1968.

En général les premiers écoulements et les écoulements de faible importance sont plus chargés que ceux qui adviennent vers la fin de la grande saison des pluies. Le rapport (m_a/mp) est généralement supérieur à 1 : donc plus le volume écoulé est important plus les éléments en solution sont dilués. Ceci est logique car plus les débits sont forts, moins longs sont les contacts entre l'eau et les particules du sol, plus faibles les possibilités d'échange.

Nous n'avons pu constater de variation systématique de la résistivité en fonction de l'étage d'écoulement mais bien en fonction inverse du volume écoulé.

Il y a une excellente relation entre la résistivité et la somme des bases.

5.2. Les bases : Calcium, Magnésium, Potassium, Sodium.

Les teneurs en bases des eaux sont relativement élevées par rapport à la pauvreté du sol en ces éléments.

Les teneurs (mg/l) en sodium (mp 67 = 1,67; mp 68 = 1,43) et en magnésium (mp 67 = 2,98; mp 68 = 1,77) sont nettement inférieures aux teneurs en potassium (mp 67 = 7,30; mp 68 = 6,25) et en calcium (mp 67 = 7,60 ; mp 68 = 8,55). En fait ces moyennes pondérées annuelles donnent beaucoup trop d'importance aux eaux de ruissellement dont les teneurs sont toujours très nettement inférieures à celles des eaux de drainage.

Dans les eaux de drainage le sodium est encore en moyenne le moins bien représenté (mp 67 = 18,11; mp 68 = 6,53) puis viennent le magnésium (mp 67 = 14,45; mp 68 = 13,01) et le calcium (mp 67 = 19,07; mp 68 = 15,96) et enfin on trouve le potassium en plus grande quantité (mp 67 = 26,86; mp 68 = 47,66).

Les sommes des bases sont finalement assez semblables d'une année à l'autre que ce soit pour les eaux de ruissellement (mp 67 = 16,14; mp 68 = 15,8è) ou de drainage (mp 67 = 78,49; mp 68 = 83,16). Par contre les teneurs en base des eaux de ruissellement sont nettement inférieures à celles des eaux de drainage.

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. Il est souvent difficile de les dissocier.

Même sous forêt (pas d'épandage d'engrais) il semble que la richesse en bases des eaux de ruissellement diminue sensiblement durant les grandes périodes pluvieuses (surtout en juin/juillet). Après une légère remontée en septembre on assiste parfois à une petite rechute des concentrations durant la période la plus pluvieuse de la petite saison des pluies. Puis les teneurs remontent à leur niveau original: l'enrichissement par la litière est alors plus important que l'entraînement par les eaux de drainage et de ruissellement. Les écoulements obliques observés furent trop peu nombreux pour qu'on y puisse noter ou une évolution en cours d'année ou des variations continues en fonction de la profondeur. L'influence des volumes écoulés est prépondérante.

Le rapport m_a/m_p est presque toujours supérieur à 1 pour toutes les bases tant dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage. Il s'en suit que plus les volumes écoulés sont importants moins riches en bases sont les eaux de drainage et surtout de ruissellement.

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 les écoulements sont plus importants la proportion des cations solidement adsorbés sur le complexe va augmenter par rapport aux autres cations (déjà lixiviés pour la plupart).

Il en résulte que plus les cations sont solidement fixés au complexe absorbant moins ils sont sensibles à "l'effet diluant" lors des forts écoulements. Or les rapports m_a/m_p qui donnent une idée de l'effet diluant s'établissent comme suit :

Moyennes générales1967

Ca (1,98) << K (3,01) << Mg (3,26) << Na (6,73)

1968

Ca (1,21) << Na (1,85) << Mg (3,04) << K (3,24)

On peut en conclure que tous les cations **voient** leur concentration diminuer dans les eaux de ruissellement et de drainage si le volume des écoulements augmente.

Au point de vue force de fixation au complexe absorbant, le calcium vient nettement en tête puis le magnésium et le potassium assez voisins et enfin le sodium (l'explication de son comportement irrégulier en 1968 nous échappe). Notons que le classement est très variable d'une case de lessivage oblique à l'autre.

Si on compare les teneurs en bases des eaux recueillies sous forêt à Divo (sur granite) et à Adiopodoumé (sur sable tertiaire), il en ressort qu'en général les teneurs des eaux de ruissellement sont à peu près semblables mais que au-delà de 20 cm de profondeur (en dessous du premier horizon humifère) les écoulements sont très nettement plus riches à Divo qu'à Adiopodoumé (valeurs moyennes en 1966). Ceci est particulièrement vrai pour le potassium (5 à 30 fois plus riche à Divo) et pour le sodium (5 fois plus riche à Divo). On pourrait tenter d'expliquer ces faits en disant que la litière sur laquelle roulent les eaux de ruissellement et l'horizon humifère supérieur (1er horizon de drainage oblique) sont en équilibre avec la forêt semi-décidue (les racines viennent y puiser les éléments chimiques que l'humification des feuilles tombées libère) tandis que les horizons sous-jacents sont bien plus influencés par la roche mère et les conditions de drainage.

Notons enfin que les moyennes pondérées des teneurs en cations exportés sous conditions naturelles ~~sont~~ **forted** à Divo mais le seraient beaucoup plus encore si au lieu d'une forêt on avait une cacaoyère fertilisée aux engrais chimiques.

5.3. Les matières organiques et l'azote.

Chaque année la forêt semi-décidue subéquatoriale dépose à la surface du sol une litière correspondant environ à 8 à 12 tonnes de matières organiques (matière sèche à l'hectare). Puisqu'on observe guère d'accumulation de litière sous les forêts tropicales (cela les distingue des forêts tempérées) toute cette matière organique s'est humifiée ou complètement minéralisée.

Les eaux de ruissellement et de drainage jouent un grand rôle dans la redistribution des matières organiques carbonées et azotées plus ou moins évaluées le long des séquences topographiques de sol et à l'intérieur du profil pédologique.

Les teneurs en matières organiques des eaux s'exprime en fait par le pouvoir réducteur de ces eaux : c'est donc une estimation assez grossière car le pouvoir réducteur ne dépend pas seulement de la teneur en carbone mais aussi des autres réducteurs (chlorures en particulier) et de la composition intrinsèque des matières organiques (C, H, O, N).

En 1967 les eaux de ruissellement (mp = 30,5) sont deux fois plus riches que les eaux de drainage (mp = 17,9) et ces teneurs sont comparables à celles obtenues à Adiopodoumé (1966).

En 1968 par contre, si les eaux de drainage gardent des valeurs semblables (mp = 15,6), les eaux de ruissellement sont très nettement plus pauvres (mp = 12,33) et d'autant plus pauvres que l'année s'avance.

Le nombre très limité d'échantillons d'eau de drainage ne permet pas de mettre clairement en évidence une variation continue des teneurs en matières organiques en fonction de la profondeur; ces teneurs tendent cependant à diminuer en profondeur. Par contre les teneurs baissent systématiquement si le volume écoulé augmente qu'il s'agisse du drainage ou du ruissellement, mais cette baisse n'est pas très importante.

Les mesures d'azote total englobent l'azote organique et l'azote minéralisé (nitrate et ammoniacal). Les teneurs en azote total sont légèrement supérieures à Divo qu'à Adiopodoumé pour le ruissellement (mp 67 = 13,3 ; mp 68 = 11,0) et surtout pour le drainage (mp 67 = 15,9 ; mp 68 = 21,1). Ceci provient avant tout d'une plus forte minéralisation de l'azote à Divo (20 à 50 %) qu'à Adiopodoumé (10 %) le sol y étant en général plus riche.

Notons aussi à Divo une grande variation d'une année à l'autre des teneurs en azote minéralisé.

L'azote organique (différence entre l'azote total et l'azote minéralisé) représente 50 à 80 % de l'azote qui migre dans l'eau: il est donc très sensible à l'entraînement par les eaux de drainage ce qui laisserait penser qu'une bonne part de l'azote serait perdue pour les plantes avant même de leur être assimilable.

Les teneurs en azote ammoniacal sont très réduites : 1/4 à 1/10 de l'azote minéralisé.

Elles baissent de 1-2 mgr/l. lors des premières pluies à 0,2-0,5 mgr/l. dès le mois de juin et ne remontent que pendant la saison sèche. L'influence du volume des écoulements sur la teneur en ammoniacal n'est pas nette : d'autres facteurs entre en jeu comme la capacité d'absorption par les colloïdes (HAQUE, I et IBRAHIM, M. 1965) et l'activité microbiologique (nitrification) fonction elle-même des conditions pédoclimatiques (pH, humidité et température). Ces phénomènes sont complexes mais on peut déjà confirmer les résultats des microbiologistes (Dommergues, 1962) qui montrent que les germes ammonificateurs restent plus longtemps actifs que les nitrificateurs dans les sols en voie de dessèchement. Ceci se traduit par des rapports $\frac{\text{NH}_4}{\text{NO}_3}$ plus élevés en fin des deux saisons sèches que durant les grosses pluies.

Quant à l'azote nitrique il s'en perd 2 à 3 fois plus dans les eaux de ruissellement (mp 67 = 2,29 ; mp 68 = 2,84) à Divo qu'à Adiopodoumé et 4 à 12 fois plus dans les eaux de drainage de Divo. Il semble donc que les teneurs en nitrate soient plus élevées dans les eaux de drainage que dans les eaux de ruissellement; cela se marque surtout à Divo en 1968.

L'influence du volume, de la profondeur et de la saison des écoulements n'est pas très marquée sur les teneurs en nitrates. C'est donc une forme des engrais azotés qui sera très facilement entraînée dans les sols soumis à un fort drainage: son utilisation rationnelle ne se conçoit donc qu'en période de croissance des racines et en dehors des périodes les plus pluvieuses de l'année. Il en est de même pour l'usage de l'urée. Par contre il serait souhaitable d'étudier la rentabilité des engrais ammoniacaux qui semblent moins mobiles et qui ont fait leurs preuves en climat tempéré.

5.4. Phosphore.

Les teneurs en phosphates des eaux de ruissellement et de drainage de Divo sont faibles (0,1 à 2 mg/l) comme dans toutes les autres stations installées jusqu'ici: elles varient peu au cours de l'année mais sont légèrement plus faibles à la fin de la grande saison des pluies. Les eaux de ruissellement (mp 67 = 1,02; mp 68 = 0,91) sont légèrement plus riches que les eaux de drainage (mp 67 = 0,22 ; mp 68 = 0,50).

En 1967 les résultats montrent clairement que les teneurs baissent dans les eaux de drainage à mesure que les écoulements sont plus profonds: les résultats de 1968 n'ont pas confirmé cette observation (trop peu d'échantillons).

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

Ce phosphore mobile serait alors/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 (MANGIN et collaborateurs : teneur faible en phosphate de la charge soluble mais relativement importante en comparaison avec les teneurs en phosphate des granites du bassin du Bandama).

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.

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.

5.5. Le fer, l'alumine et la silice.

Les teneurs en fer des eaux de ruissellement et de drainage varient généralement entre 0,2 et 2 mg/l avec quelques chiffres pouvant monter de 5 à 17 mg/l de Fe_2O_3 par litre, teneurs qui ont été tenues pour aberrantes à partir de 4 mg/l. (5 en 1968 et 4 en 1967). Les eaux de ruissellement (mp 67 = 1,45; mp 68 = 1,04) sont nettement plus riches en fer que les eaux de drainage (mp 67 = 0,36 mp 68 = 0,67) et les teneurs en fer ont tendance à baisser à mesure que le drainage est plus profond. L'influence de la saison n'est pas nette et il semble que les teneurs en fer ont tendance à augmenter si le débit augmente. Nous pensons que cela pourrait provenir d'une augmentation parallèle de la charge colloïdale des eaux (les analyses en effet donnent la charge soluble et colloïdale puisqu'on ne fait qu'une filtration rapide).

Les eaux de ruissellement ont des teneurs semblables à Divo et Adiopodoumé tandis que les eaux de drainage de Divo sont nettement moins riches en fer que celles d'Adiopodoumé.

Les teneurs en alumine des eaux étudiées varient de 0,01 à 1,50 mg/litre avec de rares valeurs aberrantes (2 en 1968) supérieures à 4 mg/l.

Les eaux de ruissellement (mp 67 = 1,32 ; mp 68 = 0,73) sont légèrement plus riches en alumine que les eaux de drainage (mp 67 = 0,51 ; mp 68 = 0,34) dont les teneurs ont tendance à baisser en profondeur (assez net en 1968).

Les variations en fonction des saisons sont peu nettes (minimum en mai et décembre) tandis que la tendance des teneurs en alumine à monter si le débit augmente n'est pas aussi claire en 1968 qu'en 1967.

Les teneurs des eaux de ruissellements de Divo sont légèrement plus fortes que celles d'Adiopodoumé tandis que c'est l'inverse pour les eaux de drainage.

Les teneurs en silice sont 4 à 10 fois supérieures à celles du fer et de l'alumine réunis ce qui confirme bien le mode d'évolution pédogénétique par ferrallitisation. Elles varient de 2 à 15 mg/l dans les eaux de ruissellement et peuvent dépasser 25 mg/l dans les eaux de drainage.

Les eaux de drainage (mp 67 = 19,33 ; mp 68 = 13,75) sont environ deux fois plus riches que les eaux de ruissellement (mp 67 = 7,81 ; mp 68 = 9,32) et on n'observe pas de baisse de teneur en profondeur.

En 1968 on note une baisse assez nette des teneurs en silice vers la mi-juillet (fin de la période la plus pluvieuse) : celle-ci est moins nette en 1967.

Les teneurs en silice ont une tendance peu marquée à baisser lorsque le volume écoulé augmente.

Les eaux de Divo sont 2 (ruissellement) à 4 fois (drainage) plus riches en silice que les eaux d'Adiopodoumé. Ceci confirme l'hypothèse que nous avons émise dans notre rapport sur Azaguié (1966) à savoir que les teneurs en silice soluble + pseudosoluble des eaux de drainage sont d'autant plus élevées que le sol est riche en bases et les eaux basiques.

Ainsi les moyennes des teneurs en silice sur toutes les eaux sont de 12,40 mg/l. à Azaguié - (où on épand des engrais : Mg - Ca - K). de 8,44 et 9,36 à Divo sur granite, de 6,34 mg/l à Anguededou (sables tertiaires sur défriche forestière) et de 4,21 mg/l à Adiopodoumé sur les sables tertiaires également (quartz, goethite et kaolinite) mais sous forêt non brûlée.

5.6. Lessivage oblique 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 ?

Trois hypothèses ont été émises (ROOSE, 1968):

- 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 (micro-faune) dont la densité diminue à mesure qu'on pénètre dans le profil.
- 2 - Une 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 toposéquence (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 dispose que des accumulations diffuses et progressives en profondeur.

Tableau n° 14 - Comparaison de la granulométrie des terres érodées
et de la terre en place (%).

(Moyennes pondérées)

	SOL EN PLACE			EROSION EN 1967			EROSION EN 1968			Coefficient de sélectivité	
	0 à 1 cm	1 à 10 cm	mp 0- 10 cm	Terre de fond 137,02 kg	Suspen- sion 366,2 kg	Total 503,22	T.de fond 400,7	Suspen- sion 243,4	Total 64,41	1967	1968
Argile 0 - 2 µ	24,5	26,0	25,9	18,1	78,0	61,5	12,72	78,0	37,4	2,37	1,44
Limon fin 2 - 20 µ	5,3	3,7	3,9	6,6	14,0	12,0	5,31	14,0	8,6	3,08	2,19
Limon grossier 20-50 µ	1,4	1,4	1,4	3,7	0,5	1,4	2,66	0,50	1,8	1	1,32
Sable fin 50-200 µ	12,3	13,2	13,1	14,6	0	4,0	13,76	0	8,6	0,31	0,65
Sable grossier 200-2000 µ	53,7	52,4	52,5	49,6	0	13,5	51,60	0	32,1	0,26	0,61
Mat.Organique	11,9	1,0	5,5	7,1	8,0	7,7	16,98	8,0	13,59	1,40	2,47
TOTAL	109,1	97,7	102,3	99,7	100,5	100,1	103,0	100,5	102,1	-	-
SF/SG	0,23	0,25	0,25	0,29	-	0,30	0,27	-	0,27		

Nous n'avons recueilli aucune information quant à la charge pseudosoluble des eaux de drainage avant 1969: donc aucune information concernant le lessivage oblique (qui est très faible puisque le drainage oblique est inférieur à 1 ‰ du bilan hydrique annuel en 1967 et 68) ni concernant l'entraînement vertical des éléments fins.

Par contre nous avons une idée de la granulométrie des éléments fins (1 seule analyse) en suspension et des résultats assez précis. (8 échantillons composites en 1967 et 15 en 1968) des terres de fond emportées par l'érosion (voir tableau 14).

En 1967, les terres érodées étaient nettement plus riches en matière organique (1,4 fois plus), en argile (2,37) et en limon fin (3,08) que l'horizon 0-10 du sol en place. Les teneurs en limon grossier sont semblables tandis que sables fin et grossier sont nettement plus concentrés dans le sol en place.

La sélectivité de l'érosion joue donc sur les éléments fins de 0 à 20 microns.

En 1968 la sélectivité joue non seulement sur la matière organique (2,17) sur l'argile (1,44) et les limons fins (2,19) mais aussi sur les limons grossiers: donc on assiste à un entrainement préférentiel par érosion des particules fines de 0 à 50 microns ainsi que de la matière organique et à une accumulation relative sur place des sables.

Sous forêt, l'érosion en nappe est donc une des causes certaines de l'appauvrissement en particules fines des horizons superficiels du sol.

5.7. Les engrais.

Le but de l'expérimentation étant d'abord d'observer le milieu naturel on n'a fait aucun essai d'engrais sur la parcelle. Nous voudrions seulement nous appuyer sur les résultats analytiques obtenus à Divo et sur des observations faites à AZAGUIE (GODEFROY, ROOSE et MULLER, 1969) pour tirer les premières conclusions quant à l'utilisation rationnelle des engrais sur ces sols.

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 (voir la richesse de P_2O_5 de la terre fine au niveau gravillonnaire).

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 entraînement 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.

Chapitre 6 - Bilan des pertes physiques et chimiques.

Le but final de cette expérimentation en case de mesure de l'érosion et du lessivage oblique est d'établir le mode d'évolution pédogénétique actuel en déterminant le bilan des pertes physiques (terre et eau) et chimiques.

6.1. - Les pertes en terre.

La forêt ombrophile couvre si bien le sol que malgré un climat très agressif (R moyen \approx 860 unités américaines), il faudrait 3000 ans pour éroder au rythme actuel (E \approx 500 kg/ha/an) les dix centimètres de terre arable qui recouvrent la nappe gravillonnaire.

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

Repos

- 1 - Grande saison sèche (janvier à mars) manque d'eau.
- 2 - Grande saison des pluies (juin et 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 (avril-mai)
- 2 - Fin des pluies (1/2 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.

Cependant si cette érosion en nappe n'est pas spectaculaire elle n'en est pas moins pernicieuse car elle emporte préférentiellement les éléments fins (érosion préférentielle des tailles 0 à 20 microns) les plus riches en matières organiques et en matières fertilisantes et met ainsi en péril les possibilités de fertilisation ultérieure (destruction du complexe absorbant).

Cette érosion préférentielle des éléments fins entraîne l'appauvrissement de l'horizon superficiel mais le développement en profondeur de cet appauvrissement se trouve limité par la nappe gravillonnaire à moins que les remontées de terre fine sous-jacente par les termites soient importantes.

6.2. - Essais 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 en éléments fertilisants 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 1er bilan hydrique, fut-il grossier, pour indiquer l'ordre de grandeur des différents facteurs et en particulier du ruissellement et du drainage considérés comme facteurs d'évolution pédogénétique principaux (voir tableaux 15, 16 et 17).

Nous pourrions partir du schéma suivant :

$$P = R + D (V + O) + ETR + AH_2O$$

où P = la pluviosité en millimètres.

- Nous l'avons mesurée en 1967 et 1968 à la Station même de l'IFCC à Brabodougou
- Nous donnons aussi une moyenne mensuelle établie sur une longue période 1950 - 1967 à Divo (ASECNA).

Tableau 15 - Essais de bilan hydrique par décade avec compensation de ETR d'une décade à l'autre : drainage max.

- 1967 -

$$P = R + D (v + 0) + ETR + \Delta H \%$$

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
ETP mm	113	114	129	129	118	93	86	81	97	109	103	107	1279	102,9
Pluie mm	0 3,0 0	8,3 12,8 3,4	5,9 79,0 185,1	10,5 48,5 59,9	49,0 2,9 52,9	118,9 75,3 105,0	49,0 33,0 0	0 15,0 0	6,2 45,0 10,7	40,6 38,5 40,6	5,4 16,0 51,6	53,0 17,0 0	<u>1242,0</u>	=100%
Ruisselle- ment mm	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0,8 2% 3,8	0 0,5 0,6 1,1	0,5 0 0,5 1,0	1,2 1,5 2% 2,1 4,8	0,5 0,3 0 0,8	0 0 0 0	0 0,5 0 0,5	0,4 0,4 0,4 1,2	0 0 0,5 0,5	0,5 0 0 0,5	<u>15 mm</u>	=1,2%
ETR mm	0 3 0 3,0	8,3 12,8 3,4 24,5	5,9 43,0 43,0 91,9	31,8* 43,0 43,0 117,8	39,7 18,4* 39,7 97,8	31,0 31,0 31,0 93,0	29,0 29,0 23,2* 81,2	0 15,0 0 15,0	6,2 31,3 23,9* 61,4	36,3 36,4 36,3 109,0	15,0* 16,0 34,3 65,3	35,7* 33,8* 0 69,5	<u>829,3</u>	=66,8%
Drainage mm	0 0 0 0	0 0 0 0	0 35,2*? 138,3*?	0 0 0 0	1,0** 0 5,0**	86,7** 42,8** 71,9**	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	3,9*? 1,7*? 3,9*?	0 0 7,2*?	0 0 0 0	<u>397,7</u>	=32,0%

Ruissellement = 1 % en général et 2 % quand les pluies sont supérieures à 40 mm

ETR * = évapotranspiration supérieure à la pluie décadaire par compensation avec des pluies antérieures.

Drainage ** = drainage oblique observé.

*? = drainage possible mais pas observé.

Tableau 16 - Essais de bilan hydrique par décade avec compensation ETR d'une décade à l'autre (ETR max.) -

IFCC Divo - 1968

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
ETP	113	114	129	129	118	93	86	81	97	109	103	107	1279	65,4
Pluie 68 mm	104,0 19,8 0 <u>123,8</u>	63,1 16,2 83,3 <u>162,6</u>	1,2 82,5 67,5 <u>151,2</u>	48,3 56,6 93,8 <u>198,7</u>	5,1 124,9 72,6 <u>202,6</u>	89,9 82,1 85,8 <u>257,8</u>	69,1 30,9 96,0 <u>196,0</u>	45,6 28,4 86,6 <u>160,6</u>	50,1 50,8 27,3 <u>128,2</u>	51,0 40,7 33,4 <u>124,8</u>	56,7 53,0 48,8 <u>158,5</u>	6,1 27,3 57,0 <u>90,4</u>	1955,2	= 100
Ruisselle- ment mm	2% 2,1 0,2 0 <u>2,3</u>	0,6 0,6 1,6 <u>2,8</u>	0 0,8 2% 1,3 <u>2,1</u>	0,5 0,6 2% 1,9 <u>3,0</u>	0 2% 2,5 0,7 <u>3,2</u>	2% 1,8 2% 1,6 0,9 <u>4,3</u>	0,7 0,3 2% 1,9 <u>2,9</u>	0,5 0,3 2% 1,9 <u>2,5</u>	0,5 2% 1,0 2% 1,7 <u>1,8</u>	0,5 0,4 0,3 <u>1,2</u>	0,6 0,5 0,5 <u>1,1</u>	0 0,3 1,0 <u>1,3</u>	28,5	= 1,4
ETR mm	37,7 37,7* 16,6 <u>102,0</u>	38,0 38,0* 38,0 <u>114,0</u>	43,0 43,0 43,0 <u>129,0</u>	43,0 43,0 43,0 <u>129,0</u>	39,3 39,4 39,3 <u>118,0</u>	31,0 31,0 31,0 <u>93,0</u>	28,7 28,6 28,7 <u>86,0</u>	27,0 27,0 27,0 <u>81,0</u>	32,3 32,4 32,3* <u>97,0</u>	36,4 36,3 36,3* <u>109,0</u>	34,4 34,3 34,3 <u>103,0</u>	16,5* 27,0 35,6 <u>79,1</u>		=68,5
Drainage vert+obl. mm	19,5* 0 0 <u>19,5</u>	14,5* 0 31,3* <u>45,8</u>	0 0 20,1* <u>20,1</u>	4,8* 13,0* 48,9* <u>66,7</u>	0 48,8* 32,6 <u>81,4</u>	57,1* 49,5* 53,9* <u>160,5</u>	39,7* 2,0 65,4* <u>107,1</u>	18,1* 1,1* 57,9* <u>77,1</u>	12,0* 17,4* 0 <u>29,4</u>	14,6* 0 0 <u>14,6</u>	21,7* 18,2* 14,0* <u>53,9</u>	0 0 10,0* <u>10,0</u>	686,1	=35,1

Tableau 17 - Essais de bilan hydrique sous forêt ombrophile de la Station IFCC près de Divo.

Moyenne pour Divo sous forêt

Mois	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL	%
ETP	113	114	129	129	118	93	86	81	97	109	103	107	1279,0	73,1
Pluie	27,5	78,0	161,8	186,5	214,8	307,2	138,8	62,0	166,9	215,4	120,4	68,5	1747,8	100,0
Ruissellement	0,3	0,8	1,6	1,9	2,1	3,1	1,4	0,6	1,7	2,2	1,2	0,7	17,6	1,0
ETR + AH%	27,5	78,0	129,0	129,0	118,0	93,0	86,0	61,4	97,0	109,0	103,0	67,8	1097,6	62,8
Drainage	0	0	31,2	55,6	94,7	211,1	51,4	0	68,2	104,2	16,2	0	632,6	36,2

1967														
Pluie	3,0	24,5	270,0	118,9	104,8	299,2	82,0	15,0	61,9	119,7	73,0	70,0	1242,0	100,0
Ruissellement	0	0	4,6	1,1	1,0	4,8	0,8	0	0,5	1,2	0,5	0,5	15,0	1,2
ETR + AH %	3,0	24,5	91,9	117,8*	97,8*	93,0	81,2*	15,0	61,4*	109,0	65,3*	69,5*	829,3	66,8
Drainage	0	0	173,5	0	6,0**	201,4**	0	0	0	9,6	7,2		397,7	32,0

1968														
Pluie	123,8	162,6	151,2	198,7	202,6	257,8	196,0	160,6	128,2	124,8	158,5	90,4	1955,2	100,0
Ruissellement	2,3	2,8	2,1	3,0	3,2	4,3	2,9	2,5	1,8	1,2	1,1	1,3	28,5	1,4
ETR + AH %	102,0*	114,0*	129,0	129,0	118,0	93,0	86,0	81,0	97,0*	109,0*	103,0	79,1*	1240,1	63,5
Drainage	19,5**	45,8**	20,1**	66,7**	81,4**	160,5**	107,1**	77,1	29,4**	14,6	54,4**	10,0**	686,6	35,1

Notes: La pluviométrie et le ruissellement sont mesurés tandis que ETP est une moyenne établie à Gagnoa. Pour 1967 et 68 la décomposition a été faite par décade avec compensation d'une décade à la suivante de ETR selon la formule:

Pluie = Ruis. + Drainage + Evapotranspiration réelle + variation du stock d'eau du sol.

ETR étant la plus grande fraction possible de l'ETP en fonction de la pluie et du stock d'eau.

R = Ruissellement exprimé en mm.

Il a atteint 0,5% de la pluviosité en 1967 et 1,39 en 1968 soit 1,0 % pour une pluviosité moyenne.

Dans le tableau 16 et 17 (en annexe) nous avons donné le coefficient 2 % pour les décades où il y a eu une pluie de plus de 40 mm et 1 % pour les autres. Ce qui nous donne à la fin de l'année R 67 = 1,2 % et R 68 = 1,4 %. De toute façon l'erreur est faible autour de 1 % si bien que nous avons choisi 1 % pour le bilan moyen.

D (v+o) Drainage vertical et oblique: ce dernier étant de l'ordre de 1 % sera confondu avec le drainage vertical. C'est le drainage vertical qu'on désire estimer car c'est un des facteurs de pédogénèse les plus efficaces dans cette région tropicale humide. Estimé par différence entre la pluviosité (décadaire en 67 et 68, et mensuelle pour le bilan moyen) et le ruissellement plus l'évapotranspiration réelle.

Chaque fois que nous avons observé du drainage oblique ne fut-ce que des traces nous l'avons signalé par une double astérisque (**).

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 (pluie moins ruissellement + eau du sol). En 1967 et 68 ETR a été calculé d'une décade à l'autre pour tenir compte de la disponibilité des réserves en eau du sol: nous les avons notées d'une astérisque aux tableaux 15 et 16 en annexe.

Notons que ETP est une moyenne calculée selon la formule de Turc pour la Station de Gagnoa la plus proche (voir Eldin et Daudet, 1967).

ΔH_2O % - Variations du stock d'eau du sol.
- en 1ère 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.
- On a tenté de tenir compte de ce facteur pour estimer ETR décadaire en fonction du stock d'eau disponible; ainsi lors de la 1ère décade de mai 1968 il n'a plu que 5,1 mm mais nous avons estimé ETR \approx ETP soit 39,3 mm en tenant compte du fait qu'il avait plu abondamment en avril et la décade précédente en particulier.

L'analyse du tableau 17 montre une grande homogénéité des résultats annuels puisque en travaillant par approximations selon cette méthode le drainage vertical estimé ne varie que de 32 à 36% que ce soit pour des pluviosités moyennes ou extrêmes (1967 est la plus faible et 1968 la plus forte pluviosité enregistrée à la Station IFCC de Brabodougou depuis que fonctionne son poste météo). Parallèlement l'évapotranspiration réelle combinée avec les variations du stock d'eau du sol ne varie que de 62 à 67 % de la pluviosité annuelle.

Ce schéma serait évidemment beaucoup plus précis si nous disposions des mesures climatiques (durée quotidienne d'insolation et température sous abris) permettant de calculer par la formule de Turc l'évapotranspiration potentielle décadaire sur la même station plutôt que de nous baser sur une ETP moyenne de Gagnoa (station la plus proche).

Le tableau 17 met en évidence une évapotranspiration réelle annuelle de l'ordre de 63 % , un drainage vertical d'environ 36 % un ruissellement d'environ 1 % et un drainage oblique de l'ordre de 1 ‰ .

Ceci est 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 certain appauvrissement en colloïdes des horizons superficiels. La pluviosité et le drainage à Divo étant nettement plus faibles qu'en basse Côte d'Ivoire (Adiopodoumé, Anguédédou, Azaguié) le complexe absorbant s'y trouve moins désaturé.

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 pour l'évolution de ces sols, il nous reste à mettre au point une méthode de mesure dans des conditions naturelles de sols en place: nous nous en occupons... depuis 1968 à Adiopodoumé mais les résultats ne sont pas encore satisfaisants (fin 1969).

Nous ne pouvons en effet nous contenter de la méthode classique des cases lysimétriques contenant un sol reconstitué (donc remanié) car nos observations et celles de nombreux autres auteurs ont montré que l'eau d'infiltration emprunte les macroporosités pour un mouvement rapide du front d'eau puis les microporosités pour des mouve-

ments secondaires beaucoup plus lents. Si donc on détruit le réseau naturel de macroporosités on change la vitesse de l'infiltration et donc la quantité infiltrée et la concentration des éléments qui entrent en solution dans l'eau de drainage à son contact.

Deux méthodes sont actuellement à l'essai :

- monolithes cylindriques de sol ($\emptyset = 63$ cm) de sol en place isolés par une tôle (= méthode Vergière en grand)
- bacs de drainage de $1/4$ de m² placés dans une fente à profondeur voulue (système racinaire existant mieux respecté mais erreurs sur l'origine de l'eau).

Notons enfin que le drainage calculé de Hénin et Aubert (16) est de 780 mm (soit 45 %) si on adopte un coefficient de texture $b = 1$ pour une pluviosité annuelle moyenne de 1748 mm et une température annuelle moyenne de 26°C. Notre estimation du drainage est donc modeste.

6.3. - Essais de bilan de 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 pluie, etc...) et certains facteurs négatifs sont "approchés" de façon fort empirique (drainage vertical tiré du bilan hydrique). Nous tenterons cependant d'établir les pertes en solution (et pseudosolution) dans les eaux et les pertes des éléments totaux des terres érodées.

(16) Drainage calculé de HENIN et AUBERT

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

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 moyenne annuelle en degré centigrade.

A titre comparatif nous donnerons quelques chiffres d'apports par la litière et les eaux de pluie donnés par les rares auteurs qui ont travaillé dans des conditions de forêt tropicale humide.

Les bilans de pertes chimiques sont établis au départ des produits des volumes d'eau ou des poids de terre perdue par hectare et par an par les moyennes pondérées des teneurs en chaque élément. Voir les tableaux 11 et 13 pour les teneurs des eaux de ruissellement et de drainage (on a pris les valeurs moyennes de l'ensemble du drainage étant donné le **petit** nombre d'échantillons analysés). Voir les fiches analytiques des terres de fond érodées (8 en 67 et 15 en 68) et des suspensions (une **seule** analyse); ne disposant pas des teneurs en fer, silice et alumine des terres érodées, on a pris la moyenne pondérée des horizons de surface 0 à 1 cm et 1 à 10 cm.

Tableau 18.

Nous n'y avons tenu compte que des pertes mesurées réellement en 1967 et 68 (donc pas les pertes par drainage vertical généralement les plus importantes). Les pertes en bases, matière organique et phosphore par érosion et drainage oblique quoique non négligeables ne sont pas très importantes vu les faibles volumes ruisselés et et les faibles quantités de terre érodée. Elles correspondent à une perte de:

- 6 à 22 kg de dolomie à 30 % de chaux **et** 20 % de magnésie, 1,7 à 6,7 kg de CaO ; 0,7 à 1,5 kg de MgO
- 7 à 15 kg de chlorure de potasse à 20 % de potasse (1,4 à 2,5 kg de K₂O).
- 200 à 400 kg de fumier frais à 13% de carbone (26,2 à 54,2 kg de Carbone).
- 15 à 32 kg de sulfate d'ammoniaque à 21 % d'azote (3 à 6,4 kg de N)
- 4 à 7 kg de superphosphate à 18 % de P₂O₅ (0,7 à 1,2 kg de P₂O₅).

Les pertes en fer, alumine et surtout en silice sont nettement plus élevées mais les chiffres ne sont pas très sûrs car on a du prendre les teneurs de la terre en place.

Tableau 18 - Pertes chimiques (kg/ha/an) de la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique sous forêt ombrophile à la Station IFCC près de DIVO (érosion et drainage oblique) - Campagnes 1967 et 1968 -

	1967 EROSION				Drainage oblique 10,8 m3	1968 EROSION				Drainage oblique 8,7 m3
	Ruis. 63 m3	Terre de fond 137,0kg	Suspen- sion 366,2kg	Total		Ruis. 271 m3	Terre de fond 401 kg/ha	Suspen- sion 243,4 kg/ha	Total	
CaO	0,612	0,331	0,497	1,440	0,288	3,214	2,984	0,331	6,529	0,194
MgO	0,241	0,086	0,189	0,516	0,257	0,737	0,484	0,126	1,347	0,187
K ₂ O	0,478	0,068	0,492	1,038	0,357	1,458	0,275	0,327	2,060	0,510
Na ₂ O	0,061	0,016	0,048	0,125	0,264	0,504	0,038	0,032	0,574	0,077
C	1,922	7,194	16,922	26,108	0,193	3,341	39,486	11,294	54,121	0,136
N	0,838	0,490	1,582	2,910	0,172	2,970	2,342	1,051	6,363	0,184
P ₂ O ₅	0,096	0,010	0,604	0,710	0,004	0,369	0,453	0,402	1,224	0,007
Fe ₂ O ₃	0,091	3,836	26,733	30,660	0,004	0,282	13,875	17,768	31,925	0,006
Al ₂ O ₃	0,083	12,947	34,606	47,636	0,006	0,198	37,895	23,001	61,094	0,003
SiO ₂	0,492	13,892	37,133	51,517	0,209	2,526	40,661	24,681	67,868	0,116

Les pertes en fer, alumine et phosphore se font presque exclusivement sous forme solide.

Potasse et azote se déplaceraient en majeure partie dans les eaux de ruissellement et dans les éléments fins en suspension. Le carbone migrerait surtout sous forme solide et la soude au contraire sous forme soluble.

Tableau 19

Nous avons tenté avec les éléments (trop rares) que nous possédons de mettre en évidence les causes principales de l'évolution pédogénétique actuelle.

Les volumes d'eau indiqués sont des moyennes que l'on peut retrouver dans l'essai de bilan hydrique du tableau 15: les pertes en terres et les teneurs sont des moyennes pondérées des chiffres obtenus en 1967 et 68.

L'estimation des pertes totales est le total des pertes par érosion, drainage oblique et drainage vertical estimé: la comparaison des trois colonnes centrales du tableau 19 nous montre l'importance relative de ces trois facteurs sur les pertes en chacun des dix éléments étudiés. De ces trois facteurs, le drainage oblique a le moins d'importance et le drainage vertical le plus d'importance surtout pour les éléments les plus solubles (Na, K, Mg, Ca, N, C et silice). L'érosion même en faible quantité, comme c'est le cas sous forêt, a une part prépondérante dans la mobilisation de l'alumine et du fer, et une part importante dans la perte en carbone, en silice et en phosphore (et dans une moindre proportion en calcium). Ces parts seraient bien plus importantes si l'érosion augmentait par exemple sous culture après défrichement.

La comparaison des charges solubles et solides nous permet de voir sous quelle forme migre chacun des dix éléments.

Les bases et l'azote migrent presque exclusivement en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage. Le carbone, le phosphore et la silice migrent principalement en solution dans les eaux (peu de terre érodée et beaucoup de drainage vertical). Par contre le fer et l'alumine migrent principalement sous forme solide (érosion et lessivage oblique).

Tableau 19 - Essais de schéma de bilan chimique pour la parcelle de mesure de l'érosion et du drainage oblique sous forêt ombrophile à la Station IFCC près de Divo.
- Valeurs moyennes annuelles.

	Erosion				Drainage		Total général Estimation des pertes T.kg/ha/an	Charge		Apports		
	Ruis. (175m ³) % de E	Terre de fond (270kg) % de E	Suspension (305kg) % de E	E. total (575kg) E:kg/ha/an	Oblique (17,5m ³) kg/ha/an	Vertical (6326m ³) kg/ha		Soluble % T	Solide % T	Décomposition liée kg/ha/an	Pluie kg/ha/an	Total kg/ha/an
CaO	48,4	41,4	10,3	4,024	0,419	151,400	155,843	98,7	1,3	41 à 147	28	69 à 188
MgO	55,2	28,9	15,9	0,989	0,391	141,300	142,680	99,7	0,3	30 à 83	33	63 à 116
K ₂ O	65,0	10,3	24,6	1,664	0,862	311,400	313,926	99,8	0,2	32 à 269	37	69 à 301
Na ₂ O	79,9	8,3	11,8	0,339	0,255	92,100	92,694	99,9	0,1	-	-	-
C	8,1	57,3	34,6	40,879	0,288	104,200	145,367	74,2	25,8	-	---	---
N	43,0	29,5	27,4	4,807	0,336	121,500	126,643	97,8	2,2	12 à 113	6 à 50	18 à 163
P ₂ O ₅	24,2	27,0	48,8	1,030	0,011	3,800	4,841	83,9	16,1	4 à 10	-	-
Fe ₂ O ₃	0,7	28,3	71,0	31,356	0,010	3,540	34,906	10,8	89,2			
Al ₂ O ₃	0,3	46,8	52,9	54,503	0,007	2,530	57,040	4,7	95,3			
SiO ₂	2,6	45,7	51,7	59,845	0,272	98,240	158,357	63,2	36,8			

Si on compare le total des pertes au total des apports (qui varie énormément d'après les auteurs et les endroits) il semble que le sol soit à peu près en équilibre mais il reste peu de chose pour assurer la croissance des arbres sinon l'altération des roches en profondeur, apport qui n'a pas été chiffré.

Tableau 20 - Apports en éléments fertilisants par la décomposition des litières et par les pluies sous forêt tropicale humide.

- Estimations d'après divers auteurs .

Auteur	Localité		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
BERNHARD (Côte d'I d'Ivoire) (1)	Yapo (C.I.)	. litière (8.800 kg/ ha)	113	19,2	32,2	147	37,1
	Banco (CI)	. litière (12600 kg/ ha)	170	36,6	34,2	91	83,7
	Banco (C.I.)	. pluie	2 à 6	-	37	28	33
NYE	Ghana	litière	12,2	3,7	269	41	30
DOMMERGUES (2)	Ghana forêt KADE	litière	-	-	38 à 129	peu	66-83
GODEFROY (3)	Azaguié (Côte d'Iv.)	pluie	+ 50 -				

- (1) - Les résultats obtenus par Mlle BERNHARD (F.) seront publiés dans "ECOLOGIA PLANTARUM".
- Les résultats pour les eaux de pluie sont une estimation au départ d'une vingtaine d'échantillons prélevés en juin et juillet sous forêt au Banco: ils sont donc très approximatifs et probablement inférieurs à la réalité car les feuilles des arbres sont déjà délavées à cette époque.
- (2) - D'après une thèse de 3ème cycle de M. MATHIEU (Ph.) à la Faculté des Sciences de Dijon.
- (3) - Estimation annuelle au départ d'une douzaine d'échantillons (moyenne sur 15 jours) récoltés entre février et juillet à la Station IFAC d'Azaguié et étendue à la pluviométrie moyenne de Divo (1748 mm).

Chapitre VII - Conclusions générales.

=====

En vue d'étudier différents aspects de la pédogénèse actuelle (érosion, lessivage oblique, appauvrissement et lixiviation) et de la conservation de la fertilité (bilan hydrique et entrainement des éléments fertilisants) de sols ferrallitiques remaniés moyennement désaturés sur granite, sols très souvent mis en valeur par la culture du café et du cacao, l'IFCC et l'ORSTOM ont conclu un protocole d'accord pour l'exploitation en commun d'une case de mesure expérimentale de l'érosion et du drainage oblique.

Une parcelle de 228 m² et 9,5% de pente a été délimitée sous forêt mésophile à 500 mètres des bureaux de la station IFCC à BRABODOUGOU près de Divo.

Le présent rapport décrit le milieu et le dispositif expérimental puis donne les résultats des campagnes 1967 et 1968. Les résultats devront être confirmés et précisés dans les années à venir; cependant on peut déjà les résumer comme suit :

1) La pluviosité enregistrée en 1967 (1242 mm) a été la plus faible et celle de 1968 (1955,2 mm) la plus forte pluviosité annuelle enregistrée à la station météo de BRABODOUGOU depuis son installation.

L'index d'érosivité R du climat défini par WISCHMEIER comme étant la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires par leur intensité maximum en 30 minutes a été estimé (d'après les pluviogrammes de 1968) à 567 en 1967 et 1029 en 1968 soit à 860 pour une pluviosité annuelle moyenne de 1748 mm (chiffres ASE ASECNA pour la station de Divo): cet indice est parmi les plus élevés que l'on connaisse aux USA où R varie de 150 à 800.

Les intensités maxima ont atteint pendant quelques minutes 100, 150 et même 240 mm/heure mais elles dépassent rarement 60 mm/heure durant une heure. Plus des 9/10 du temps l'intensité est inférieure à 20 mm/heure et ne cause presque aucun dégât d'érosion.

2) L'érosion sous forêt est très faible (504 kg/ha en 1967; 644 kg/ha en 1968); à ce rythme il faudrait 3000 ans pour décaper les 10 centimètres de terre fine qui recouvrent la nappe gravillonnaire (en l'absence d'apports pour la microfaune). Remarquons cependant que l'érosion sur granite (pente 9,5 %) est 2,5 fois plus élevée que sur sable tertiaire (pente 28%) à Adiopodoumé (forêt secondaire plus jeune et plus touffue).

Plus de la moitié de l'érosion s'est effectuée sous forme de suspension: il s'agit donc d'une érosion en nappe transportant sur de longues distances des particules fines (érosion sélective).

3) Le ruissellement a atteint des coefficients de 0,5 % de la pluviosité en 1967 et 1,39 % en 1968 soit de l'ordre de 1 % pour une pluviosité moyenne de 1740 mm. Le coefficient max. par pluie unitaire s'est élevé à 5,96 % le 26 décembre 1968.

4) Le drainage oblique dans la tranche de sol étudié (1,9m) est négligeable dans le cadre du bilan annuel: il n'a même pas atteint 1 ‰ de la pluviosité annuelle (0,9 et 0,4 ‰) et à peine 1,3 % d'une pluie unitaire. Il ne s'est manifesté que huit fois en 1967 et au cours de 12 pluies en 1968. Il semble qu'il s'agisse bien d'un "drainage oblique" classique dont l'écoulement tarit rapidement après la fin des pluies et qui provient d'une diminution de la perméabilité d'un horizon à l'autre.

L'intérêt de l'étude du drainage oblique réside donc moins dans l'aspect quantitatif que qualitatif: elle nous permet d'avoir une idée des teneurs en différents éléments des eaux de drainage s'écoulant dans chaque horizon étudié.

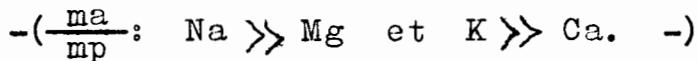
5) Les températures observées dans les eaux récoltées varient peu (21 à 24°C) et aucun lien n'est apparu avec la profondeur des écoulements.

Des pH extrêmes de 2,5 à 9,7 ont été atteints mais généralement ils varient entre 6,7 à 7,4; les eaux de ruissellement sont légèrement acides tandis que les eaux de drainage sont légèrement basiques. Il semble qu'il y ait un lien entre l'acidité des eaux et leur teneur en carbone.

La résistivité des eaux de ruissellement (mp = 15 à 16.000 ohms.cm) est nettement plus forte que celle des eaux de drainage (mp = 2 à 7.500 ohms.cm). La résistivité augmente avec l'importance des écoulements ainsi qu'en fin de saison des pluies. On assiste donc bien à une dilution des cations disponibles lorsque le volume des écoulements augmente.

6) La somme des bases en solution dans les eaux est assez semblable en 1967 (mp Ruiss. = 16,14; mp Drain. = 78,49) et en 1968 (mp Ruiss. = 15,87; mp Drain. = 83,16 mg/l.). Elle est 4 à 6 fois plus petite dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage et baisse à la fin des saisons pluvieuses.

On constate que le volume écoulé a une forte influence sur les teneurs en bases et cette influence est d'autant plus forte que les cations sont moins solidement fixés au complexe absorbant



Les teneurs en bases des eaux de ruissellement (Do) et du 1er étage du drainage (D1) sont du même ordre de grandeur à Divo et à Adiopodoumé; par contre les eaux de drainage (D2 à D5) au-delà de 90 cm de profondeur sont nettement plus riches en bases à Divo surtout pour le potassium (5 à 30 fois plus) et pour le sodium (5 fois) (+ grande richesse de la roche mère).

	Ruissellement		" Drainage	
	1967	1968	1967	1968
Ca	6,94	8,47	19,07	15,96
Mg	2,32	1,65	14,45	13,01
K	6,16	4,37	26,86	47,66
Na	0,72	1,38	18,41	6,53
S. bases	16,14	15,87	78,49	83,16

Tableau 21 - Moyennes pondérées (mgr/l) des teneurs en bases des eaux recueillies à Divo en 1967 et 1968.

Les eaux de ruissellement sont assez pauvres sauf en calcium et potassium (5 à 7 mg/litre). Les eaux de drainage sont particulièrement riches en potassium (27 à 47 mg/l) puis par ordre décroissant en Calcium, Magnésium et Sodium (18 - 14 et 12,5 mg/l). On peut donc craindre une forte lixiviation des engrais potassiques mais aussi de la chaux et de la magnésie.

7) La forêt mésophile produit chaque année 8 à 13 tonnes (matière sèche) de litière: les eaux de ruissellement et de drainage vont redistribuer ces matières organiques tout au long des séquences topographiques du paysage et à l'intérieur du profil pédologique lui-même. Les eaux de ruissellement, plus riches en carbone (30, 50 mg/l) que les eaux de drainage (17,90 mg/l) en 1967 s'appauvrissent sans cesse depuis lors; on constate aussi une baisse des teneurs en Carbone en profondeur (dépôts ou destruction par les microorganismes ?). Vingt à cinquante pour cent de l'azote total (11 à 21 mgr/l.) des eaux de drainage sont minéralisés: les 9/10 de l'azote minéralisé sont des nitrates. Les nitrates et l'azote organiques sont donc facilement lixiviés par les eaux de drainage peut-être même avant d'être utilisables par la plante. Il serait intéressant d'étudier la rentabilité agronomique des engrais ammoniacaux: l'ammoniaque est-elle rare dans l'eau parce que mieux retenue par le complexe absorbant ou parce qu'elle est très rapidement nitrifiées ?

8) Le phosphore est toujours présent en quantité très faible dans les eaux étudiées (0,1 à 2 mg/l de P_2O_5) car il est très vite "insolubilisé" par le fer libre (niveau gravillonnaire et en-dessous): ce serait donc le seul élément à pouvoir faire l'objet d'une fumure de "fond".

9) Les teneurs en fer (0,2 à 2 mg/l) et en alumine (0,01 à 1,5 mgr./l) sont faibles dans les eaux de ruissellement et baissent encore dans les eaux de drainage: elles auraient tendance à monter si le débit augmente, contrairement aux corps plus solubles (bases).

A Divo leur migration semble liée actuellement à des migrations terreuses (érosion) ou colloïdales, les conditions pédoclimatiques n'étant pas réductrices.

10) Nous n'avons aucune mesure de la charge colloïdale des eaux de drainage et par conséquent aucun indice de lessivage oblique ou vertical.

Par contre la comparaison des granulométries, des terres érodées et du sol en place (0-10 cm) montre qu'une sélectivité très importante se développe dans l'érosion des matières organiques, des argiles et des limons fins (0 à 20 microns).

11) Aucun essai d'engrais n'a été effectué en 1967/1968 mais les résultats analytiques obtenus à Divo 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 insolubilisés dans les niveaux riches en fer, en alumine ou en matières organiques peuvent faire l'objet d'une fumure de fond. Pour rentabiliser les autres types d'engrais il faut les fractionner (4 à 6 doses pour les cultures arbustives) et les épandre durant les périodes de croissance végétative (forte activité des racines).

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

$$- \text{Pluie} = \text{Ruiss.} + \text{Drainage (vert. et oblique)} + \text{ETR} -$$

En négligeant les variations du stock d'eau (qui se compensent d'une année à l'autre) 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 (eau de pluie moins ruissellement plus stock d'eau du sol) et en travaillant par décade, on a trouvé pour une année de pluviosité moyenne (ASECNA) de 1748 mm que le ruissellement est d'environ 1 %, le drainage oblique de 1 %, l'évapotranspiration réelle de l'ordre de 63 % et le drainage vertical moyen d'environ 36 %. Ces 632,6 mm qui drainent verticalement à travers le sol provoquent la désaturation du complexe absorbant et, probablement l'entraînement d'une certaine quantité d'éléments fins vers les horizons profonds.

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

Les pertes par érosion et drainage oblique en 1967 et 1968 sont faibles (voir tableau 22) sauf pour le fer, l'alumine et le carbone.

	1967	1968		1967	1968		1967	1968
CaO	1,7	6,7	C	26,2	54,2	Fe ₂ O ₅	30,6	31,9
MgO	0,7	1,5	N	3,0	6,0	Al ₂ O ₃	47,6	61,1
K ₂ O	1,4	2,5	P ₂ O ₅	0,7	1,2	SiO ₂	51,7	68,0
Na ₂ O	0,4	0,6						

Tableau 22 - Pertes annuelles par érosion et drainage oblique en 1967-68 (kg/ha.an)

- Les pertes estimées par drainage vertical seraient très nettement plus élevées pour les bases (36-128-156 et 184 fois plus fort) et pour l'azote (27 fois), plus élevées aussi pour le Carbone le Phosphore et la Silice (2,6 - 3,8 et 1,6 fois plus fort) et plus faible pour le fer et l'alumine ($\frac{1}{11}$ et $\frac{1}{21}$).

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 confirmés dans les années à venir par des prélèvements plus nombreux (suspensions, charge colloïdale et drainage oblique) et complétés par la mesure du drainage vertical dans le sol en place.

RESUME

Au bas d'une parcelle de 228 m² et de 9,5 % de pente, un dispositif original simple a été mis en place sous une forêt semi-décidue sur un sol à cacao (sol ferrallitique moyennement désaturé, remanié nodal sur granite) pour étudier la pédogénèse actuelle (appauvrissement, lessivage oblique et lixiviation) sous climat tropical humide (pluie = 1750 mm; t° annuelle : 26°C; humidité : ± 85 %).

Les résultats des campagnes 1967 et 1968 montrent que l'érosion est de l'ordre de 550 kg/ha. an, le ruissellement ± 1 % et le drainage oblique inférieur à 1 %. Si l'érosion en nappe est faible elle est cependant pernicieuse car elle entraîne préférentiellement les matières organiques et les particules fines (0 à 50 microns) détruisant ainsi le complexe absorbant. L'analyse d'une trentaine de pluviogrammes a permis d'établir une courbe liant la hauteur de pluie à son érosivité (index R de WISCHMEIER): par approches successives on a estimé R à 850 (unités américaines) pour une année moyenne (même ordre de grandeur que les + fortes valeurs trouvées aux USA) et on a établi une courbe moyenne de R cumulé au cours de l'année (valable uniquement pour la région de Divo).

Une estimation du bilan hydrique (décade par décade a été tentée au départ de la formule (Pluie = Ruiss. + Drainage + Evapotranspiration Réelle + Stock d'eau) où ETR a été définie comme la plus grande fraction de ETP compatible avec l'eau susceptible de s'évaporer (Pluie - Ruiss + Stock d'eau du sol). On a trouvé que ETR est de l'ordre de 63 % et donc le drainage oblique environ 36 %. Le drainage vertical a donc une importance fondamentale dans l'évolution de ces sols (lessivage des colloïdes et lixiviation des bases): nous vous efforcerons de compléter notre dispositif par une mesure directe du drainage vertical sur le sol en place non remanié.

Des nombreux résultats d'analyse de terre et d'eau, il ressort que l'érosion et le drainage oblique n'entraînent qu'une faible lixiviation des éléments fertilisants (par rapport au drainage vertical) soit 1 à 7 kg de CaO; 0,7 à 1,5 kg de MgO; 1,5 à 2,5 kg de K₂O; 26 à 54 kg de Carbone; 3 à 6,5 kg d'azote; 0,7 à 1,2 kg de P₂O₅ ; une trentaine de kg de Fe₂O₃ et une soixantaine de kg d'alumine et de silice(SiO₂).

Les bases et l'azote migreraient presque exclusivement en solution dans les eaux de ruissellement et de drainage; le carbone et la silice migreraient principalement sous forme soluble tandis que le fer et l'alumine resteraient sous forme solide. Les teneurs en silice dans les eaux sont 5 à 10 fois supérieures à celles du fer et de l'alumine ce qui cadre bien avec les phénomènes de ferrallitisation des sols de la région.

S U M M A R Y

On a plot of 9,5 % slope and 228 m² of surface an original but simple equipment was built to study actual pedogenesis (erosion, leaching and clay impoverishment) in subequatorial conditions: semi-deciduous forest; rainfall = 1750 mm; annual t° = 26° Centigrade; humidity = 85 %). The soil is often used for cacao plantation: in the French classification (Mr. AUBERT) it is a reworked mildly desaturated ferrallitic soil on granit-gneiss.

The data of 1967 and 1968 show that soil-losses are about 550 kg/ha.year, runoff 1 % and oblique drainage 1 % of the annual rainfall.

Sheet erosion is slight quantitatively but dangerous qualitatively because it brings out preferentially organic matter, clay and silt (0 to 50 microns) destroying the basis exchange capacity.

After analyses of about 30 rainrecords we obtain a curvilinear relation of rainfall height to its erosivity (index R of WISCHMEIER) valuable for this area: by successive approaches "R-index" was estimated at 860 (US-unity) for an average year of rainfall (1750 mm), 560 for a very dry year (1242 mm in 1967) and 1030 for a very rainy year (1955 mm in 1968). The average curve of cumulated "R-index" during the year was estimated for an average rainy year valuable only for this area.

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

$$(\text{Rainfall} = \text{Runoff} + \text{drainage} + \text{Actual-E-T} + \text{soil Humidity})$$

where A.E.T. = actual evapotranspiration is defined as the most important part of potential evapotranspiration (PET) which is available to evaporate (Rainfall - Runoff + Soil Humidity). We find that AET is about 63 % and therefore the vertical drainage

about 36 % of annual rainfall. Then, vertical drainage is very important for pedogenesis of these soils (colloid leaching and basis washing) and we shall try to measure this directly in non-disturbed soils .

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 under forest : 1 to 7 kg/ha. of CaO ; 0,7 to 1,5 kg of MgO; 1,5 to 2,5 kg of K₂O ; 26 to 54 kg of Carbon ; 3 to 6,5 kg of Nitrogen, 0,7 to 1,2 kg of P₂O₅ , about 30 kg of Fe₂O₃ and 60 kg of Al₂O₃ and SiO₂ . This is quite negligible in comparison with the lixiviation probably due to estimated vertical drainage.

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

The silicium concentration of runoff and drainage water is five to tentimes higher than these of iron and aluminium which is normal in "ferrallitic pedogenesis" area.

Remerciements

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

Nous remercions d'autre part la Direction de l'IFCC 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 sous la surveillance attentive des chercheurs de l'IFCC de la Station de Divo ; qu'ils veuillent trouver ici toute notre reconnaissance.

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 Mr. NALOVIC, Chef du laboratoire d'analyse du Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé, Mr. GOUZY qui lui a succédé en juillet 1968. Mmes PERRAUD et GAVINELLI et Mr 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 Mr. de Boissezon qui nous a si souvent prodigué ses conseils judicieux et en particulier lors de la correction du manuscrit.

ANNEXE I

Description détaillée du profil de la case de mesure de l'érosion et du drainage oblique installée sous forêt à moins de 500 mètres des bureaux de l'IFCC à BRABODOUGOU près de Divo.

Localisation

- Station IFCC près du village de BRABODOUGOU à 5° 48' de latitude Nord et 5° 18' de longitude Ouest : Sous-préfecture de Divo.

Topographie

- Pente de 9,5 %; 2/3 bas de la pente à une cinquantaine de mètres de la rupture de pente et du bas fond paysage mollement ondulé.

Erosion

En nappe et peu active actuellement sous forêt.

Végétation

Vieille forêt secondaire, deux, humide, semidécidue-Forêt mésophile à Celtis et Triplochiton scleroxylon

Description

1 à 0 cm. Litière peu épaisse mais continue

0 à 1 cm. Horizon gris foncé (10 YR 4/6) très humifère, presque uniquement composé d'agrégats humifères polyédriques émoussés fin, bien développés, très cohérents à l'état sec, provenant de l'activité de la micro-faune (vers de terre, termites, etc). Horizon ferme à l'état sec et très poreux.

1- 10 cm. Horizon brun clair (7,5 YR ; 6/4), humifère, sableux (sable grossier), structure à débrit polyédrique moyen, moyennement développé.

Horizon sec, poreux, friable. Un chevelu radicaire abondant se développe dans ces deux premiers horizons. Passage tranché.

10- 40 cm. Horizon jaune rouge (5 YR ; 6/6), encore un peu humifère ; nappe de gravillons ferrugineux (53 %) petits (Diam. 1 cm) et arrondis, mêlés à quelques éclats de quartz de petite taille et enrobés dans une matrice sablo-argileuse. Horizon sec et compact où on peut encore trouver quelques fines racines.

Limite inférieure festonnée entre 30 et 40 cm. Transition graduelle.

40- 75 cm. Horizon jaune rouge (5 YR : 6/6) avec des tâches rouges + indurées, encore un peu humifère, argileux ; structure à débrît polyédrique moyen peu développé.

Horizon plus frais, compact (résiste à la sonde) comportant peu de racine. Passage graduel.

75- 115 cm. Horizon jaune rouge (5 YR : 6/6) avec des tâches rouges + indurées argileux ; débrît polyédrique moyen peu développé. Horizon frais, très compact et comportant peu de racines. Passage graduel.

115(145 cm. Horizon tacheté rouge (7,5 YR 4/6) sur fond brun jaune, argilo-limoneux ; débrît polyédrique moyen peu développé. Horizon très compact et racines très rares. Passage graduel.

A45- 320 cm. Horizon tacheté rouge (5 YR : 7/4) avec quelques tâches blanches qui envahissent de plus en plus le sol-Texture limono-argileuse ; structure polyédrique grossière. Horizon très compact et très cohérent ; pas de racine.

A partir de 250 cm les tâches blanches occupent la majorité du sol (2,5 YR 6/6) et la texture devient de plus en plus limoneuse : c'est la zone d'altération du granite.

Tableau 23 - Résultats analytiques du profils de la case de mesure de l'érosion et du drainage oblique de la Station IFCC près de Divo (BRABODOUGOU).

Profondeur	0 - 1	1-10	20-30	50-65	80-100	125-135	175-200	240-260	300-320
Bases échangeables									
Ca mé %	11,07	1,95	0,91	1,11	0,28	0,13	0,08	0,10	0,10
Mg "	2,90	1,60	0,68	0,65	0,66	0,65	0,33	0,18	0,17
K "	0,30	0,03	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Na "	0,05	0,04	0,06	0,03	0,04	0,08	0,04	0,06	0,17
S mé %	14,32	3,62	1,69	1,82	0,99	0,88	0,47	0,36	0,48
T "	21,80	4,09	4,15	5,24	4,73	4,38	3,85	4,67	4,23
V %	65,6	88,5	40,7	34,7	20,9	20,0	12,2	7,7	11,3
pH	5,1	6,6	5,9	5,1	5,2	5,3	5,4	5,2	5,6
Bases totales									
Ca mé %	14,25	2,72	1,28	1,26	0,53	0,21	0,86	0,53	0,49
Mg "	5,02	4,32	2,84	2,58	1,68	2,02	1,28	2,04	2,08
K "	0,86	0,59	0,58	0,30	0,31	0,28	0,16	0,43	0,33
Na "	0,43	0,52	0,55	0,37	0,32	0,37	0,15	0,37	0,37
Somme "	20,56	8,15	5,25	4,51	2,84	2,88	2,45	3,37	3,27
P ₂ O ₅ total %	0,73	0,29	0,54	0,32	0,22	0,92	0,31	0,27	0,48
C "	69,22	6,04	4,36						
M.O. "	119,4	10,4	7,5						
N "	3,49	0,57	0,42						
C/N	19,9	10,5	10,4						
C humifié %	8,05	16,72	25,69						
Triacide									
SiO ₂ total %	10,15	10,13	15,87	25,86	27,08	28,51	29,15	32,25	29,66
Al ₂ O ₃ "	9,03	9,48	14,54	22,95	23,71	24,94	25,30	27,51	25,85
Fe ₂ O ₃ "	2,42	2,82	5,80	8,90	10,10	10,15	9,40	5,72	9,32
Fe ₂ O ₃ libre %	1,53	1,76	3,59	5,41	6,18	6,39	5,83	3,26	5,83
TiO ₂ total %	0,59	0,62	0,68	0,82	0,80	0,85	0,71	0,94	0,78
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	1,91	1,81	1,85	1,91	1,94	1,94	1,95	1,99	1,95
Granulométrie									
Argile	24,5	26,0	34,7	50,0	43,5	40,9	33,3	44,0	32,3
Limon fin	5,3	3,7	3,4	8,4	8,4	12,4	15,1	22,1	25,3
Limon grossier	1,4	1,4	1,3	1,9	1,4	2,3	1,6	0,8	0,9
Sable fin	12,3	13,2	9,4	11,3	11,1	12,2	10,7	9,0	12,1
Sable grossier	53,7	52,4	50,1	26,9	34,1	28,2	36,6	21,1	25,9
Refus		4,4	53,3	6,9	6,9				
Perméabilité K cm/h.	49,00	1,64	1,05	5,56	4,79	3,05	2,49	1,76	1,25
Instabilité Structurale : Is	0,10	5,58	2,77	2,83	2,27	2,57	2,78	5,11	4,37
pF 4,2	21,13	8,71	12,68	21,37	20,08	13,18	14,24	19,02	15,39
pF 3,0	21,19	11,54	15,80	25,39	25,39	24,77	25,90	31,22	29,88
pF 2,5	23,92	12,69	19,30	27,74	27,40	29,50	30,53	34,92	35,68
pF 2,0	24,63	29,74	32,15	34,66	37,67	38,59	39,25	44,37	46,26

ANNEXE II - BIBLIOGRAPHIE GENERALE
=====

- a) Généralités : Botanique, Climatologie, Pédologie.
 - b) Erosion
 - c) Drainage oblique
 - d) Bilan hydrique et l'eau du sol
 - e) Bilan chimique.
-

BIBLIOGRAPHIE

A) Généralités : botanique, climatologie, pédologie.

- 1 - AUBERT (G.) et SEGALIN (P.) 1966. - Projet de classification des sols ferrallitiques.
Cahier ORSTOM série Pédologie Vol. 4 n° 4, p. 97-112.
- 2 - 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.
- 3 - DUCHAUFOUR (Ph.) 1965. - Précis de pédologie.
Masson Paris 1965, pp. 481.
- 4 - 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.
- 5 - GAISER (R.N.) 1952. - Root channels and roots in forest soils".
Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 16, p. 62-65.
- 6 - GUILLAUMET (J.L.) 1960. - La végétation de la Côte d'Ivoire".
Rapport multigr. ORSTOM 116pp., 118 réf. 6 cartes, 6 tabl.
- 7 - 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.
- 8 - MANGENOT (G.) 1955. - Etude sur les forêts des plaines et des plateaux de Côte d'Ivoire".
Etudes Eburnéennes n° 4, p. 123-128.
- 9 - ROUGERIE (G.) 1960. - Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire".
Mém. I.F.A.N. n° 58, DAKAR, 542 p.

- 10 - RUELLAN (A.) et DELETANG (J.) 1967. - "Les phénomènes d'échange de cations et d'anions dans les sols".
Doc. Technique ORSTOM, Paris 123 p.
- 11 - SEGALEN (P.) 1966. - Le processus de ferrallitisation et ses limites".
Cah. ORSTOM série Pédologie Vol. 4 n°4 p. 15-21, 11 réf.
- 12 - SEGALEN (P.) 1969. - "Le remaniement des sols et la mise en place de la "stone line" en Afrique".
Cah. ORSTOM sér. Pédol. Vol. VII n°1 p. 113-127, 31 réf.
5 fig., 13 photos.

B) Erosion

- 13 - ADAMS (J.E.) 1966. - Influence of mulches on runoff, érosion and soil moisture depletion".
Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 30, 110-114.
- 14 - AREND (J.L.) and HORTON (R.E.) 1942. - "Some effects of rain intensity, erosion and sedimentation on infiltration capacity".
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 7, p. 82-89.
- 15 - ANONYME 1966. - "L'équation universelle de perte de sols de Wischmeier".
Rapport multigr. CTFT, Madagascar 15 p. 1 tabl. 6 réf.
- 16 - AUBREVILLE (A.) 1959. - Erosion sous forêt et en pays déforesté dans la zone tropicale humide.
Bois et forêts des tropiques n° 68 p. 3-14.
- 17 - BARNETT (A.P.), ROGERS (J.S.) 1966. - Soil physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall.
Trans. A.S.A.E. 9 (1) p. 123-125, 128.
- 18 - BENNETT, (H.H.) 1939. - Soil conservation.
Mac Grow Hill Book Co. 1939 New-York.
- 19 - COLMAN (E.A.) 1953. - "Vegetation and watershed management".
The Ronald Press 412 pp.

- 20 - CORMARY (Y.) et MASSON (J.) 1964. - Etude de conservation des eaux et du sol au Centre du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier.
Cahiers de Pédologie de l'ORSTOM Vol. II n°3 Paris 1964 pp. 3-26.
- 21 - DUMAS (J.) 1965. - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques".
Cahier ORSTOM de Pédologie n° 3 p. 307-335, 15 réf.
- 22 - FEODOROFF (A.) 1965. - "Mécanismes de l'érosion par la pluie".
Revue Géogr. Phys. Géol. Dyn. (Paris) avril-juin 1965 VII, 2 p. 149-163.
- 23 - FOURNIER (F.) 1956. - Les formes et types d'érosion du sol par l'eau en Afrique Occidentale Française.
Paris, Acad. Agric. 1956.
- 24 - FOURNIER (F.) 1958. - Les facteurs de l'érosion du sol en zone tropicale. Conclusions sur la conservation du sol .
I.U.G.G., Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, publ. n° 43, p. 88.
- 25 - FOURNIER (F.) 1960. - Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations.
Presses Universitaires de France 198 p.
- 26 - FOURNIER (F.) 1967. - La recherche en érosion et conservation des sols dans le continent africain.
Sols Africains XII n° 1 p. 5-52.
- 27 - HORTON (R.E.) 1939. - Analysis of runoff-plot experiments with varying infiltration capacity .
Trans. Am. Geophys. Union 20 : 693-711.
- 28 - HOLY (M.) 1965. - Investigation of the relation between runoff and soil erosion in an experimental area.
Publ. int. Ass. Scient. Hydrol. 66, Symp. Budapest 116-121.

- 29 - HUDSON (N.W.) and JACKSON (D.C.) 1959. - "Results achieved in the measurement of erosion and runoff in Southern Rhodesia".
3ème Conf. Interafricaine des sols Dalaba 1959 p. 575-583.
- 30 - LOWDERMILK (W.C.) 1930. - Influence of forest litter on runoff, percolation and erosion.
J. forestry 28 474-491.
- 31 - MAC INTYRE (D.S.) 1958. - Soil splash and the formation of surface **crusts** by raindrop impact.
Soil Science 85 p. 261-267.
- 32 - MEYER (L.D.) and MANNERING (J.V.) 1961. - The effects of minimum tillage for corn and subsequent cultivation on infiltration and erosion.
Agr. Eng. 42 p. 72-73.
- 33 - MIDDLETON (H.E.) 1930. - Properties of soils ~~which~~ influence soil erosion.
U.S. Dept. Agr. Techn. Bull. n° 178.
- 34 - OSBORN, (B.) 1954. - "Effectiveness of Cover in reducing soil splash by raindrop impact".
Journ. of Soil and Water Conservation, vol. 9, pp. 70-76.
- 35 - OSBORN (J.F.), PELISHEK (R.E.), KRAMMES (J.S.) et al. 1969. - "Soil wettability as a factor in erodibility".
Soil Sc. Soc. Amer. Proc. 28 p. 294-295.
- 36 - ROOSE (E.J.) 1967. - "Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures".
Rapport multigr. ORSTOM Centre d'Adiopodoumé 18 p. 21 réf.
- 37 - ROOSE (E.) 1967. - Dix années de mesures de l'érosion et du ruissellement au Sénégal.
(Station IRAT de Séfa - Moyenne Casamance)
Agron. Trop. 1967 p. 123-152.

- 38 - SWANSON (N.P.) 1965. - "Rotating-boom rainfall simulator".
Trans. Amer. Soc. Agric. Engineers, 8 p. 71-72. St Joseph,
Michigan.
- 39 - WISCHMEIER (W.H.) and SMITH (D.D.) 1958. - Rainfall energy
and its relationship to soil-loss.
Trans. Amer. Géo. Union, 1958, 39, pp. 285-291, 13 réf.
- 40 - WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) and UHLAND (R.E.) 1958. -
"Evaluation of factors in the soil-loss equation".
Agricultural Eng. 39 p. 458-462, 474.
- 41 - 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.
- 42 - WISCHMEIER (W.H.) 1962. - Rainfall erosion potential. Geogra-
phie and location differences of distribution.
Agricultural Engineering 43 p. 212-215. 8 réf.
- 43 - WISCHMEIER (W.H.) and SMITH (D.D.) 1960. - A universal soil-
loss estimating equation to guide conservation farm
planning.
7th Intern. Congr. Soil Science, 1960 Vol. I pp. 418-425.
- 44 - WEBBER (L.R.) 1964. - Soil physical properties and erosion
control.
J. Soil Water. Conserv., 19, 1.
- 45 - ZINGS (A.W.) 1940. - "Degree and length of land slope as it
effects soil loss in runoff".
Agr. Eng. 21 (2), pp. 59-64.

C) Drainage oblique

- 46 - BURYKIN (A.M.) 1957. - "Seepage of water from soils in moun-
tainous regions of the humid subtropics."
Soviet. Soil. Sci. Pochvovedenie n° 12, p. 90-97.

- 47 - 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, 11 Pp.
- 48 - HOOVER (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"
F.A.O. Rome Etude des forêts et des produits forestiers n° 15 341 pp
- 49 - 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.
- 50 - HURSH (C.R.) and FLETCHER (P.W.) 1942. - 'The soil profile as a natural reservoir'.
Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 7, p. 480-486.
- 51 - HURSH (C.R.) 1944. - 'Chairman's report to sub-committee on subsurface flow .
Trans. Amer. Geophys. Union. Part V. p. 743-746.
- 52 - JAMISON (V.C.) and THORNTON (J.F.) 1961. - 'Water intake rates of a claypan soil from hydrograph analyses'.
J. of Géophysical Research, 66, 6, p. 1855-60, 1 fig., 6 tabl., 10 réf.
- 53 - JAMISON (V.C.), PETERS (D.B.) 1967. - 'Slope length of Claypan soil affects runoff'.
Water Resources Research vol. 3 n°2 p. 471-480 ; 6 fig., 3 tabl., 8 réf.
- 54 - KELLER (J.), ALFARO (J.F.) 1966. - "Effect of water application rate on leaching".
Soil Sci. (Baltimore) août 1966, 102, 2, 107-114.
- 55 - KIRKHAM (D.) 1947. - "Studies on hillside seepage in the lowan drift area".
Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 12 p. 73-80.

- 56 - MINSHALL (N.E.) ; JAMISON (V.C.) 1965. - 'Interflow in Claypan soils'.
Water Resources Research vol. 1 n°3 p. 381-390, 4 fig.,
3 tabl., 2 réf.
- 57 - ROESSEL (B.W.P.) 1951. - "Hydrologic problems concerning the runoff in headwater regions".
Trans Amer. Geophys. Union 31, p. 431-442.
- 58 - 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.
- 59 - ROOSE (E.J.) et GODEFROY (J.) 1967. - 'Erosion, ruissellement et drainage oblique sur une bananeraie de basse Côte d'Ivoire'.
I Milieu, dispositif et résultats en 1966'.
Rapport ORSTOM multigr., 72 p., 14 tabl., 6 fig. 86 réf.
- 60 - ROOSE (E.J.) 1967. - "Erosion, ruissellement et lessivage oblique sous une plantation d'hévéa en basse Côte d'Ivoire".
- I Milieu, dispositif et résultats en 1966.
Rapport IRCA - ORSTOM Abidjan 46 p., 45 réf., 7 Tabl. 5 fig.
- 61 - ROOSE (E.J.) 1968. - "Erosion en nappe et lessivage oblique dans quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire".
Communication à la Sixième Conf. Biennale de la WASA/ASOA Abidjan, du 8 au 13 avril 1968 15 p. 11 réf., 3 tableaux.
- 62 - SCHIFF (L.) and DREIBELBIS (F.R.) 1949. - Movement of water within the soil and surface runoff with reference to land use and soil properties.
Trans. Amer. Geophys. Un. 30, p. 401-411.
- 63 - SWARTZENDRUBER (D.) 1960. - 'Water flow through a soil profile as affected by the least permeable layer'.
J. Geophys. Research n° 65, p. 4037-4042.
- 64 - 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.

- 65 - 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
13 pp.
- 66 - 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.
- 67 - 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 CS-29 6 pp.
- 68 - WHIPKEY (R.Z.) 1965. - Subsurface stormflow from forested slopes.
Bull. Ass. Inter. d'Hydrologie Scient. juin 1965, p. 74-87.

D) Eléments du bilan hydrique et l'eau dans le sol.

- 69 - BERNARD (E.A.) 1953. - "L'évapotranspiration annuelle de la forêt équatoriale congolaise et son influence sur la pluviosité".
Comptes rendus Congrès Union Intern. des Instituts de recherches forestières, 11 p. 201-204.
- 70 - BODEUX (A.) 1965. - Le bilan d'eau dans le bassin hydrographique de la Karuzi au Burundi.
Office de la Coop. au Dév. du Minist. des Affaires Etrangères de Belgique 102 p. 156 réf.
- 71 - BOYER (J.) 1964. - Influence de la couverture du sol sur le bilan hydrique d'une jeune plantation en Côte d'Ivoire.
Café cacao, thé Paris Janv.-Mars 1964 8-1, 22-31 p.
- 72 - CHAHAL (R.S.) 1964. - Effect of temperature and trapped Air on the energy status of water in Porous Media/
Soil Science Vol. 98 n° 2 p. 107-112.

- 73 - COURAU (M.) 1966. - Modalités de l'infiltration de l'eau dans des milieux de granulométries variées et de porosité constante.
C.R. Acad. Sci. Paris août 1966 263-268
- 74 - COURAU (M.) 1969. - Etude expérimentale de la circulation de l'eau saturante dans des milieux poreux artificiels.
Annales Agron. 20 n° 1, p. 5-14, 3 réf.
- 75 - DUBREUIL (P.) 1967. - Détermination des paramètres du sol influant sur le cycle hydrologique dans les bassins représentatifs et expérimentaux. Protocoles de mesures.
Rapport multigr. ORSTOM 18 p. 6 réf.
- 76 - DULEY (F.L.) 1939. - Surface factor affecting the rate of intake of water by soils.
Soil Sci. Amer. Proc. n° 4 p. 60-70.
- 77 - FEODOROFF (A.) 1964. - Remarques sur le mécanisme de l'infiltration de l'eau non saturante dans un sol initialement sec.
C.R. Acad. Sci. (Paris), 9/12/64, 259, 23, 4320-4322. 4 réf.
- 78 - FEODOROFF (A.) 1965. - Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante.
Thèse Ann. Agro. (Paris) 1965, 16, 2 et 3.
- 79 - HALLAIRE (M.) 1958. - Le rôle de la végétation dans l'épuisement des réserves en eau du sol.
I.U.G.G., Association internationale d'hydrologie scientifique, publ. n° 44, p. 412.
- 80 - HALLAIRE (M.) 1954. - "L'évapotranspiration réelle, mesure et interprétation dans les conditions naturelles".
La météorologie (Paris), série n° 4, n° 36, pp. 379-401, octobre-décembre.

- 81 - HOOVER (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".
F.A.O. Etude des forêts et des produits forestiers n° 15
Rome 1962 pp. 341.
- 82 - HOLTAN (H.N.) 1965. - A model for computing watershed retention from soil parameters (abaques pour le calcul de la rétention en eau des bassins-versants à partir de paramètres pédologiques).
J. Soil Wat. Conserv. 20 n° 3 p. 91-94
- 83 - HANSEN (V.E.) 1955. - "Infiltration and soilwater movement during irrigation".
Soil Sci. 79, p 93-105.
- 84 - HORTON (J.H.) and HAWKINS (R.H.) 1965. - "Flow path of rain from the soil surface to the water table".
Soil Sci. Vol. 100 n° 6 1965, p. 377-383, 16 réf.
- 85 - HUGHES (J.C.) 1949. - The influence of forest on climate and water supply.
Forestry Abstracts 11. 2 et 3.
- 86 - HURSH (C.R.) and HOOVER (M.D.) 1941. - "Soil profile characteristics pertinent to hydrologic studies in the Southern Appalachians".
Proc. Soil. Sci. Soc. Amer., 6 : 414-422.
- 87 - ISERENTANT (R.) 1967. - Sur la relation entre le potentiel hydrique du sol et des feuilles chez Theobroma cacao L.
C.R. Acad. Agric. (Paris), Novembre 67 53, 15, p. 1167-70.
- 88 - KITTREDGE (J.) 1962. - "L'influence de la forêt sur le climat et les autres facteurs du milieu". p. 95-146.
Extrait de "Influences exercées par la forêt sur son milieu".
F.A.O. Etude des forêts et produits forestiers n° 15
Rome 1962 341 pp.

- 89 - KUNTZE (H.) 1966. - Die messung des geschlossenen und offenen kapillarsaumes in naturlich gelagerten boden.
La mesure des capillaires ouverts et fermés dans les sols en place.
Z. Pfl. Ernähr. Dung. Bodenk. (Weinheim) 1966, 113, 2, 97-106.
- 90 - LIAKOPOULOS (A;C.) 1965. - "Retention and distribution of moisture in soil after infiltration has ceased".
Bull. AIHS (Gentbrugge) Juin 1965, 2, p. 58-59.
- 91 - LUTZ (J.F.), PINTO (R.A.), GARCIA-LAGOS (R.), HILTON (H.G.) 1966. - Effect of phosphorus on some physical properties of soils
II - Water retention.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (Madison), Juillet-août 1966, 30, 4, 433-437.
- 92 - MILLETT (M.R.O.) 1944. - Evaporation and rainfall inside and outside a forest".
Canberra, Commonwelath Forestry Bureau Leaflet 57 16 p.
- 93 - 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.
- 94 - 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.
- 95 - PHILIP (J.R.) 1957. - The theory of infiltration : 4.
Soil Sci. n° 84 p. 257-264.
- 96 - POWERS (W.L.) 1934. - Soil water movement as affected by confined air".
J. Agr. Research 49, p. 1125-1133.

- 97 - RICH, (L.R.) 1959. - "Hydrolic research using lysimeter of undisturbed soil blocks".
I.U.G.G., Association Internationale d'Hydrologie Scientifique. Colloque de Hannoversch. Münden, 8-14 septembre 1959, t. II, p. 139.
- 98 - RIQUIER (J.) 1963. - "Formules d'évapotranspiration".
Cahier ORSTOM sér. Pédol. 1963 n° 4 p. 33-57.
- 99 - RODIER (J.) 1959. - "Quelques données sur l'écoulement dans les forêts équatoriales".
I.U.G.G., Association Internationale d'Hydrologie scientifique. Colloque de Hannoversch. Münden, t. I, Vol: I, p. 153-155.
- 100- SANSON (H.W.) 1953. - "The maximum possible rainfall in East Africa".
East Africa High Commission, Meteorol. Sept, Technical memorandum, n° 3.
- 101- SCHOELLER (H.) 1962. - "Les eaux souterraines".
Masson 120 Bd St Germain Paris 6ème 641 pp.
- 102- SEGNER (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.
- 103- SMITH (W.O.), OLSEN (H.W.), BAGNOLD (R.A.), RICE (J.C.) 1966.-
Certain flows of air and water in sands during infiltration.
Soil Sci. (Baltimore) juin 1966, 101, 6, 441-449.
- 104- WICHT (C.L.) 1941. - "An approach to the study of rainfall interception by forest canopils".
J.S. Afr. For. Ass., 6 p. 54-70.
- 105- WILSON (L.G.) and LUTHIN (J.N.) 1963. - "Effect of air flow ahead of the wetting front on infiltration".
Soil Sci., 96, p. 136-143.

- 106- YOSHITO YAMAOKA 1958. - "The total transpiration from a forest".
Trans. American Geophysical Union, 39 (2), pp. 266-272.
- 107- YOSHITO YAMAOKA 1958. - "Experimental studies on the relation between transpiration rate and meteorological elements".
Trans. American Geophysical Union, 39 (2).

E) Bilan chimique

- 108- ACQUAYE (D.), TINSLEY (J.). - Soluble silica in soils.
Experimental pedology, Butterworth (London) pp. 126-138,
5 fig., 38 réf.
- 109- AHMED (I.V.) 1964. - "Placement of fertilizer capsules for corn in plots".
Pakist. J. Soil Sci., 1 n°1, p. 50-56.
- 110- ATTIWILL (P.M.) 1966. - "Composition chimique de l'eau de pluie en relation avec le cycle des éléments nutritifs dans une forêt d'eucalyptus adultes".
Plant and Soil (La Haye), juin 1966, 24, 3, 390-406.
- 111- BARROWS (H.L.) and KILMER (V.J.) 1963. - Plant nutrient losses from soil by water erosion.
Advances in Agron. 15 : 303-316.
- 112- BARTOLOMEW (W.V.), MEYER (G.) and LAUDELOUT (H.) 1953. - Mineral nutrient immobilisation under forest and grass fallow in the Yangambi region with some preliminary result on the decomposition of plant material on the forest floor.
Publication INEAC Série Scientifique n° 57 27 pp.
- 113- BASTISSE (E.M.) 1967. - "Dispersion du fer sous l'action de la silice agissant comme vecteur".
C.R. Acad. Sci. (Paris), février 67, 264, 7, 894-896.
- 114- BERNHARD (F.) 1967. - "Production et décomposition de la litière en forêt du Banco et étude floristique de la strate arborescente en forêt de Yapo (Côte d'Ivoire)".
Rapport ORSTOM multigr. déc. 1967 27pp.

- 115- BLANCHAR (R.W.) and CALDWELL (A.C.) 1966. - Phosphate ammonium moisture relationships in soils.
1. Ion concentrations in static fertilizer zones and effects on plants.
 2. Ions concentrations in leached fertilizer zones and effects on plants.
- Proc. Soil Sci., Soc. Amer., 30, p. 39-48.
- 116- BOBKO (R.V.) 1943. - Erosion as an unaccounted part of nutrient balance in soil.
- Pedology n° 3 : p. 41-48.
- 117- BROADBENT (F.E.), HILL (G.N.) and TYLER (K.B.) 1958. - Transformation and movement of urea in soils.
- Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22 p. 303-307, 1958.
- 118- 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.
- 119- DABIN (B.) 1963. - Appréciation des besoins en phosphore dans les sols tropicaux. Les formes du phosphore dans les sols de Côte d'Ivoire".
- Cahier ORSTOM pédologie 1963 n° 3 p. 27-32.
- 120- DHAR (B.K.) and SEN (M.K.) 1965. - Mineralization of a urea-formaldehyde compound in some Indian soils.
- Technology, India 2, p. 162-165.
- 121- DOMMARGUES (Y.) 1963. - Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales .
- Rev. Bois et Forêts des Tropiques, 87, 24pp.
- 122- ERIKSSON (E.) 1952. - Composition of atmospheric precipitation .
- Tellus n° 3 p. 215-232.
- 123- GHILDYAL (B.P.) 1963. - Influence of tropical seasons on carbon and nitrogen transformations, nitrite and nitrate formers and bacterial plate count.
- Soil Sci. and Plant. Nutr. (Tokyo) 1963, 9, 2 p. 28-34.

- 124- 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
p. 1-6 ; 15 réf., 6 tabl.
- 125- GODEFROY (J.), ROOSE (E.J.), MULLER (M.) 1969. - "Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bannaeraie de basse Côte d'Ivoire : bilan sur trois années".
Rapport multigr. IFAC 13 p + 18 tableaux (A paraître dans Fruits et Agrumes tropicaux).
- 126- 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.
- 127- HARDING (R.B.) and al. 1963. - "Leaching and gaseous losses of nitrogen from some nontilled California soils".
Agron. J. 55 p. 515-518.
- 128- HERMAN (A.) 1955. - "Configuration chimique des eaux souterraines".
Bull. Centre Belge des eaux Etudes et documentation n° 27
p. 37-45.
- 129- HOPKINS (B.) 1966. - "Végétation of the Olokemeji forest reserve, Nigeria.
IV. "The litter on soil with special reference to the seasonal change".
J. of Ecology, 54, p. 687-703.
- 130- INGHAM (G.) 1948. - The mineral content of air and rain and its importance to agriculture".
J. Agric. Sci. n° 40 p. 55-61.
- 131- JONES (E.) 1961. - "Contribution of rain water to the nutrient economy of soil in Northern Nigeria".
Nature (London) 188, p. 432.

- 132- KANEHIRO (Y.), NAGASAKO (L.K.) and HADANO (H.F.) 1960. -
Leaching loss of nitrogen fertilizers.
Hawaiian Farm Sci. n° 9, p. 6-7.
- 133- KAURICHEV (I.S.), KOMAROVA (N.A.), SHRYNNIKOVA (I.N.),
SHILOVA (Y.E.) 1964. - "Methods of investigating the
chemical composition of the liquid soil phase (soil solu-
tion).
Soviet. Soil Sci. (Washington) p. 541-550, 2 fig. 4 tabl.,
bibl. (27 réf.).
- 134- KRAUSE (H.H.) 1965. - Effect of pH on leaching losses of
potassium applied to forest nursery soil.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. n° 29, p. 613-615.
- 135- LAUDELOUT (H.) et MEYER (G.) 1954. - "Les cycles d'éléments
minéraux et de matières organiques en forêt équatoriale
Congolaise".
5ème Congrès Intern. Science du Sol. Léopoldville Vol. II
267-272.
- 136- MADGE (D.S.) 1965. - "Leaf fall and litter disappearance
in a tropical forest".
Pedo-biologia : 5, p. 273-288.
- 137- MADGWICK (H.A.) and OVINGTON (J.D.) 1959. - "The chemical
composition of precipitation in adjacent forest and
open plots".
Forestry 32, p. 14-22.
- 138- MALO (B.A.) and PURVIS (E.R.) 1964. - "Soil absorption of
atmospheric ammonia".
Soil Science n° 97, p. 242-247.
- 139- MANGIN (J.pH.), LECOLLE (J.), MATHIEU (Ph.), MONNET (C.),
PINTA (M.) SIRCOULON (J.) 1966. - "Géochimie des eaux
naturelles ; le transport en solution par un fleuve de
Côte d'Ivoire".
C.R. Acad. Sci., Paris tome 262 du 23/5/66 Série D,
p. 2204-2206.

- 140- MARTIN (M.) 1958. - "Relation entre la résistivité des eaux et leur composition chimique".
Rev. Inst. Franç. du pétrole et ann. des combustibles liquides Vol. 13, p. 187-196.
- 141- MASSEY (H.F.) and JACKSON (M.L.) 1952. - "Selective erosion of soil fertility constituents".
Soil Sci. Proc. Vol. 16, n° 4.
- 142- MEHLICH (A.) and REED (J.F.) 1946. - "The influence of degree of saturation, potassium level and calcium additions on removal calcium, magnesium and potassium".
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. n° 10, p. 87-93.
- 143- MINA (V.N.) 1965. - Leaching of certain substances by precipitations from woody plants and its importance in the biological cycle".
Soviet Soil Science juin 1965, n° 6, p. 609-617.
- 144- MOE (P.G.), MANNERING (J.V.) and JOHNSON (C.B.) 1968. -
"A comparison of nitrogen losses from urea and ammonium nitrate in surface runoff water".
Soil Science vol.105, n° 6, p. 428-433, 9 réf., 3 tabl., 3 fig.
- 145- 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 tableaux.
- 146- NOMMIK (H.) and NILSSON (K.O.) 1963. - "Nitrification and movement of anhydrous ammonia in soil".
Acta Agr. Scand. 13, p. 205-219.
- 147 -NOMMIK (H.) 1966. - "Particle-size effect on the rate of nitrification of nitrogen fertilizer materials, with special reference to ammonium fixing soils".
Plant and Soil Vol. 24 n° 2, p. 181-200, 30 réf.

- 148- NEAL (O.R.) 1944. - Removal of nutrients from the soil by crop and erosion.
J. Amer. Soc. Agron. 36 : 601-607.
- 149- NYE (P.H.) 1961. - "Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest".
Plant and Soil Vol. 13, n° 4, p. 333-346.
- 150- SMITH (F.W.) 1964. - "Fertilizer-water-use relationships".
Proc. (40th) a. Meet.Coun. Fertil. Applic. p. 48-57.
- 151- WAGNER (G.H.) 1965.-"Changes in nitrate - N in field plot profiles as measured by the porous cup technique".
Soil Sci., n° 100, p. 397-402.
- 152- WATSON (A.), WONG PHUI WENG, NARA SANON (R.) 1964. - "Effects of cover plantson 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. Rubl. Res. Inst. Malaya 18 (4), p. 161-174.
- 153- WIKLANDER (L.) 1965. - The composition and ecological importance of the soil solution .
Grundförbättring, 18, p. 71-88.
- 154- YAALON (D.H.) 1964. - "The concentration of ammonia and nitrate in rain water over Israël in relation to environmental factors".
Tellus 16, p. 200-204.
-