

THESES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ D'ABIDJAN

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

par

Eric Roose

Ingénieur Agronome de l'Université de Louvain
Maître de Recherches en Pédologie à l'O.R.S.T.O.M.

Première thèse

**Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement
sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire**

Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical.

Deuxième thèse

Proposition donnée par la Faculté

Soutenues le 7 Juin 1973 devant la commission d'examen

MM

F. LELONG

Président et rapporteur

R. Didier de Saint Amand

J.P. Bard

Y. Chatelin

} Examineurs

FACULTE DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITE D'ABIDJAN

DOYEN

M. BAUDET Jean

PROFESSEURS

MM. BAKTAVATSALOU
KAMMACHER Paul
BOGUI Vincent
TRICOCHE Robert
ZANCHETTA Jean Victor
BRAUN Jean Antoine
D'AUZAC Jean Claude
LELONG François

MAITRES DE CONFERENCES

MM. FEDIERE Jean
LOROUGNON Guédé
DIDIER DE ST AMAND
CHEZEAU Jean Michel
LEVIEUX Jean
VIDAL Christian
ADOU Jean-Jonas
Mme EHOLIE Rose
M. BARD Jean Pierre

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

MM. COLIN Félix
TOURE Saliou
LAPASSET Jacques

SECRETARE Principal

M. BADER André
Attaché Principal d'Administration
Universitaire

S O M M A I R E

	PAGES
AVANT-PROPOS	
R E S U M E	
- <u>INTRODUCTION.</u>	1
- <u>CHAPITRE 1 - LE MILIEU.</u>	5
11. Situation géographique et végétation naturelle.	5
12. Le climat.	5
13. Le sol (description détaillée et fiche analytique).	8
- <u>CHAPITRE 2 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE.</u>	14
21. Description des cases d'érosion.	14
22. Les manipulations.	15
23. Précision de la méthode.	16
- <u>CHAPITRE 3 - LES RESULTATS.</u>	20
31. Influence du couvert végétal et des techniques culturales.	21
31.1. Le couvert.	21
31.1.1. sa dynamique,	
31.1.2. son architecture,	
31.1.3. la méthode biologique de lutte antiérosive.	
31.2. Les techniques culturales.	30
31.2.1. le labour profond,	
31.2.2. le travail superficiel,	
31.2.3. le buttage et billonnage non isohypse,	
31.2.4. le billonnage isohypse cloisonné.	
31.3. Conclusions.	35
32. Quelques techniques antiérosives.	37
32.1. les bandes d'arrêt.	37
32.2. le mulching artificiel (Curasol).	40
32.3. Conclusions.	43

	pages
33. Influence du gradient de la pente.	44
34. Importance du précédent cultural et des autres sources de variabilité.	50
34.1. Campagne 1966 : un seul traitement sur toutes les parcelles.	50
34.2. Campagne 1967 à 1969 : rotation triennale et maïs en continu.	54
34.3. Conclusions.	
35. La pluie, cause primaire de l'érosion.	59
35.1. la hauteur des pluies unitaires et l'humidité préalable du sol.	59
35.2. la hauteur des pluies cumulées (mensuelle ou annuelle).	62
35.3. l'intensité des pluies et leur durée.	64
35.4. Conclusions.	66
<u>- CHAPITRE 4 - INTERPRETATION DES RESULTATS : LES COEFFICIENTS DE WISCHMEIER.</u>	68
41. L'équation de prédiction de l'érosion.	68
42. L'agressivité climatique (R).	71
43. La susceptibilité des sols à l'érosion hydrique (K).	77
44. Influence de la pente (SL).	84
45. Le couvert et les façons culturales (C).	90
46. Les pratiques antiérosives (P).	93
47. Conclusions.	98
<u>- CHAPITRE 5 - ESSAI DE BILAN DES PERTES PAR EROSION SUPERFICIELLE.</u>	100
51. Evolution du sol en place (0-10 cm).	101
51.1. difficultés de la méthode.	
51.2. résultats et leur interprétation globale.	
51.3. discussion.	
52. Essai de schéma de bilan hydrique.	108
53. Pertes chimiques et colloïdales dues aux phénomènes d'érosion.	113
54. Conclusions sur l'évolution des sols soumis à l'érosion.	120
<u>- CHAPITRE 6 - CONCLUSIONS GENERALES.</u>	122
BIBLIOGRAPHIE.	
RESUME DE L'UTILISATION DES PARCELLES DEPUIS 1956.	

- AVANT PROPOS -

Les travaux qui font l'objet de ce mémoire ont été réalisés au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé par le service de Pédologie et le Laboratoire Central d'Analyses.

Je tiens d'abord à rendre hommage à mes collègues pédologues de l'ORSTOM, DABIN, LENEUF et PERRAUD qui ont mis en place les parcelles d'érosion et poursuivi les essais de 1956 à 1963 ainsi qu'aux chefs de laboratoire, Messieurs NALOVIC puis GOUZY, responsables de la mise au point et de la réalisation des analyses d'eau, de suspension et de terre.

Je suis profondément reconnaissant à la Direction de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer de m'avoir confié un programme d'étude de l'érosion qui apparaît si important pour l'avenir à long terme de l'agriculture des régions tropicales.

En particulier, j'exprime ma gratitude à Monsieur le Professeur CAMUS, Directeur Général de l'Office, à Monsieur AUBERT, Président du Comité Technique de Pédologie et mon Professeur de pédologie à Paris, à Monsieur FOURNIER mon directeur scientifique qui m'a patiemment initié aux problèmes passionnants de la conservation des sols au Bureau Interafricain des Sols et à Monsieur RODIER, mon parrain scientifique, Président du Comité Technique d'Hydrologie, qui m'a régulièrement donné le point de vue des hydrologues sur les problèmes de précipitation, de ruissellement et de bilan hydrique en général.

J'exprime aussi ma vive gratitude aux membres du Jury devant lequel j'ai soutenu cette thèse et qui ont accepté d'étudier en détail les problèmes assez spécialisés qui y sont exposés. Je remercie tout spécialement Monsieur LELONG, Professeur en géologie à la Faculté des Sciences d'Abidjan, qui a bien voulu en être le rapporteur après avoir suivi mes travaux pendant quatre ans. Je remercie aussi Messieurs DIDIER DE SAINT-AMAND, Directeur de l'ENSA, BARD, Professeur de géologie à la Faculté des Sciences d'Abidjan et CHATELIN, Directeur de recherche en pédologie à l'ORSTOM d'avoir pris à coeur leurs rôles d'examineurs.

En plus des membres du Jury, Messieurs AUBERT, FOURNIER, FAUCK, AUDRY et COMBEAU de l'ORSTOM ont eu le dévouement d'assurer la correction et la critique du texte primitif.

Signalons ensuite la masse des mesures sur le terrain, des calculs et des résultats analytiques accumulés depuis 17 années : j'aurais été bien incapable de les rassembler, de les dépouiller et de les interpréter sans l'aide de l'équipe des techniciens de pédologie qui ont assuré les rudes travaux de terrain et de laboratoire.

Je remercie tout particulièrement Messieurs HENRY DES TUREAUX, compagnon de mes travaux de 1967 à 1971 et ASSELINE qui, depuis octobre 1972, en me déchargeant avec beaucoup de compétence des problèmes techniques, m'a permis d'approfondir l'interprétation de mes résultats.

Je suis très reconnaissant aussi aux techniciens africains qui m'ont assisté, chacun à son niveau, en particulier Messieurs DIALLO SOUNOUNA, KOUAME Marcel, SAGOU Josué, KINDO Hamidou, KOUANDA Hamidou, KOUASSI Augustin, Marcel LAGOU, KOFFI Léon, DEME Hamade, INZA Dosso et à toute l'équipe des techniciens du laboratoire d'analyse qui ont réalisé de si nombreuses déterminations.

Enfin, je ne saurais oublier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, par leurs encouragements, leurs critiques ou leurs conseils, m'ont aidé à poursuivre mes essais de bilan et d'étude de l'évolution actuelle des sols. Je pense en particulier à Messieurs BOUCHARDEAU, LUC, MAIGNIEN et TONNIER, Directeurs successifs du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, à Messieurs de BOISSEZON, ancien chef du service de Pédologie à Adiopodoumé,

CHARREAU agropédologue de l'IRAT et aux nombreux visiteurs dont les remarques pertinentes m'ont amené à creuser un sujet dont les implications théoriques et pratiques ne leur ont pas échappé.

Je souhaite vivement que ce mémoire, aboutissement de l'effort de tant de personnes donne une vue synthétique des problèmes posés par l'érosion hydrique en basse Côte d'Ivoire, qu'on y puise des exemples pour sensibiliser les élèves et les étudiants ivoiriens au devoir de protéger le capital foncier de leur pays et que le paysannat et ses représentants au sein du Gouvernement tirent profit des conclusions pratiques qui en découlent.

DIX SEPT ANNEES DE MESURES EXPERIMENTALES DE L'EROSION ET
DU RUISSELLEMENT SUR UN SOL FERRALLITIQUE SABLEUX DE
BASSE COTE D'IVOIRE.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EROSION HYDRIQUE EN MILIEU
INTERTROPICAL.

par E. ROOSE

Maître de Recherches en Pédologie à l'ORSTOM

=====

=====

Résumé du mémoire présenté à Abidjan le 7 Juin 1973

Sous l'influence de la pression démographique et de l'extension des cultures d'exportation, le temps de jachère accordé au sol en Afrique de l'Ouest s'est fort réduit. Dès lors les dangers d'érosion se sont considérablement accrus en certaines zones denses. En effet, lorsqu'on dénude le sol, l'érosion croît de 0,2 t/ha/an sous forêt et sous savane non brûlée à 120 t/ha/an sur des pentes de 7 % et 600 t/ha/an sur des pentes de 25 % de basse Côte d'Ivoire. Dans le même temps le ruissellement augmente de moins de 1 % à 30 ou 40 % des précipitations annuelles. C'est ce qu'on appelle l'érosion accélérée par les cultures.

Pour faire face à ce problème préoccupant concernant le patrimoine foncier africain l'ORSTOM et les Instituts Français de Recherche Appliquée ont mis en place, sous l'inspiration de F. FOURNIER, tout un réseau de parcelles d'étude expérimentales de l'érosion et du ruissellement pour en évaluer les causes et les moyens de lutte. Près de vingt ans plus tard, ce mémoire voudrait présenter une synthèse des résultats obtenus par l'ORSTOM au Centre d'Adiopodoumé près d'Abidjan ainsi qu'une comparaison avec ceux des stations voisines.

I - LE MILIEU.

La station d'Adiopodoumé (5°20 N ; 4°08 W) se situe à une vingtaine de kilomètres d'Abidjan en basse Côte d'Ivoire sous un climat subéquatorial à deux saisons des pluies, caractérisé par des températures variant peu autour de la moyenne annuelle (26,2° C) et des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 2.100 mm dont la moitié peut tomber en 2 mois consécutifs. Les pluies sont particulièrement importantes et violentes : on peut s'attendre à une averse exceptionnelle de plus de 200 mm tous les 4 ans et de 150 mm tous les ans. Les intensités instantanées atteignent exceptionnellement 200 à 240 mm/heure. Les intensités maximales dépassent rarement 100 à 150 mm/heure durant 15 minutes, 80 à 100 mm/heure durant 30 minutes, 60 mm/heure durant une heure et 30 mm/heure durant 3 heures.

Le sol de la station d'Adiopodoumé est un sol ferrallitique très désaturé, riche en sables grossiers, à profil homogène et très perméable ($K = 10$ à 120 cm/heure).

II - LE DISPOSITIF.

Il comprend neuf parcelles d'érosion de 15 mètres de long, 6 mètres de large, 4,5 - 7 et 23 % de pente dans une large clairière en bordure de plateau. Chaque case d'érosion est composée d'une parcelle de 90 m² isolée de l'extérieur par des tôles fichées en terre, au bas de laquelle un canal récepteur dirige les eaux et les terres érodées vers un système de stockage formé d'un piège à sédiments et de deux cuves de 2 m³ reliées par un partiteur à 7 tubes. Cette méthode dont il ne faut pas espérer une précision à plus de 10 % près, donne des ordres de grandeur relatifs à divers facteurs de l'érosion et divers traitements comparés côte à côte ou sur des dispositifs semblables en d'autres stations.

III - LES RESULTATS A ADIOPODOUME.

- La pluie est l'agent causal primaire des phénomènes d'érosion par son énergie cinétique qui fait intervenir à la fois la hauteur et l'intensité des précipitations pendant un certain temps. Le ruissellement est l'agent transporteur des particules arrachées mais peut devenir à son tour abrasif lorsque la pente augmente (plus de 15 %) et que les écoulements s'organisent en un système de rigoles hiérarchisées.

- Le couvert végétal est le facteur qui modifie le plus l'expression de l'agressivité des pluies. La vitesse avec laquelle la végétation recouvre le sol et secondairement son architecture (hauteur, forme entonnoir ou parapluie, enracinement superficiel ou pivotant) jouent un rôle prépondérant.

- Lorsque le couvert est incomplet (cas de la plupart des cultures) certaines façons culturales (labour profond, paillage, enfouissement de matières organiques, travail suivant les courbes de niveau) peuvent réduire temporairement l'érosion. Un bon travail du sol augmente sa macroporosité mais réduit sa cohésion : il diminue durant 3 ou 4 semaines les phénomènes d'érosion mais les augmente à long terme à moins que l'accroissement du couvert végétal qui en découle ne vienne compenser l'augmentation de la détachabilité du sol.

- Les techniques antiérosives telles que les bandes d'arrêt ou le mulching naturel ou artificiel (Curasol) peuvent aider à résoudre certains problèmes de conservation de l'eau et du sol : ils réduisent les pertes en terre de 40 à 95 % des témoins. Parmi ces techniques les méthodes biologiques paraissent beaucoup plus efficaces que les méthodes mécaniques pourtant beaucoup plus développées dans les manuels de conservation du sol.

- Lorsque le gradient augmente, l'érosion croît de façon exponentielle mais le ruissellement diminue sur sol nu.

La variabilité de réponse des parcelles expérimentales provient plus du dispositif lui-même (irrégularités de forme de la pente, partiteur) que du précédent cultural dont l'influence s'est avérée négligeable dans les essais étudiés, où le niveau de production fut toujours assez extensif.

IV - INTERPRETATION D'APRES LA FORMULE DE PREVISION DE

L'EROSION DE WISCHMEIER.

WISCHMEIER et SMITH (1962) ont développé une équation permettant de prévoir l'érosion à partir de coefficients représentant l'agressivité climatique (R), la susceptibilité du sol à l'érosion (K), la pente (SL), la couverture végétale et les façons culturales (C) ainsi que les techniques antiérosives (P). Bien que limitée et encore imparfaite, c'est actuellement la meilleure formule qui lie l'érosion sur un champ cultivé à l'ensemble des facteurs causaux et conditionnants. C'est pourquoi on s'est efforcé de préciser la valeur de ces coefficients et de vérifier son applicabilité dans les conditions écologiques de la Côte d'Ivoire.

- L'indice d'agressivité climatique annuel moyen est très élevé dans la zone subéquatoriale : il dépasse 1200 unités dans la région d'Abidjan dont 800 pour les mois de mai à juillet. Grâce à une relation existant entre cet indice et la hauteur annuelle des pluies, on a établi une première esquisse au 1/4.000.000 de cet indice d'agressivité climatique en Côte d'Ivoire.

- Le sol ferrallitique sableux étudié est très résistant ($K = 0,10$) à l'érosion. L'utilisation du nomographe de WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS (1972) permet d'étendre ces conclusions à un bon nombre de sols ferrallitiques ($K = 0,10$ à $0,18$) et dans une moindre mesure aux sols ferrugineux tropicaux ($K = 0,20$ à $0,30$).

Contrairement à l'opinion généralement exprimée par toute une génération d'agronomes tropicaux, les phénomènes d'érosion catastrophiques observés en Afrique de l'Ouest ne sont pas dus à une fragilité particulière des sols mais à l'agressivité des précipitations nettement plus élevée que dans les plaines tempérées.

- L'augmentation du gradient de la pente entraîne une croissance rapide des pertes en terre selon une équation proche de l'équation du second degré de WISCHMEIER. Cependant, c'est le point faible de l'équation car il n'existe qu'une équation

pour tous les types de sol or l'influence de la pente sur l'érosion est très différente sur les sols sableux et les sols argileux et à fortiori sur les sols à argile gonflante.

- Le facteur C qui représente à la fois les influences de la couverture végétale et des façons culturales varie de 1 sur jachère nue à 0,001 lorsque le couvert est complet (forêt, pâturage établi, mulch, plante de couverture établie, etc...). Pour les principales plantes vivrières de Côte d'Ivoire (maïs, arachide, manioc, igname) il varie de 0,9 à 0,3 en fonction des façons culturales et du niveau de fertilisation. Ce facteur C rend fort bien compte de l'influence fondamentale du couvert et de l'adaptation des façons culturales aux conditions écologiques régionales.

- Les techniques antiérosives (P) biologiques sont bien plus efficaces et moins onéreuses que les méthodes mécaniques généralement mal adaptées aux zones tropicales humides.

En résumé, cette équation de prévision de l'érosion semble parfaitement valable dans les conditions écologiques de la Côte d'Ivoire et pourrait être utilisée dès aujourd'hui pour l'aménagement du territoire.

A côté de l'aspect pratique de cette formule il faut noter son aptitude à analyser l'action de chacun des facteurs dont la résultante détermine l'érosion telle qu'elle se présente sur le terrain.

V - ESSAI DE BILAN DES PERTES PAR LES PHENOMENES D'EROSION.

Il semble important de compléter ces données quantitatives (mm de ruissellement et tonnes/ha/an de terre érodée) par une étude de l'évolution des caractères physiques et chimiques des sols cultivés et soumis à l'érosion, surtout en zone tropicale forestière où la fertilité du sol se trouve concentrée dans l'horizon superficiel.

Que ce soit par l'analyse répétée du sol en place soumis à différents traitements plus ou moins protecteurs ou par la méthode des bilans hydriques et chimiques de tout ce qui sort de la parcelle (méthode plus précise et plus rapide) on constate

que l'érosion en nappe est sélective vis-à-vis des colloïdes (appauvrissement en argile et matières organiques) et des éléments nutritifs pour les plantes (lixiviation des bases et de l'azote). Cette sélectivité est d'autant plus forte que le sol est bien protégé par le couvert végétal et que la pente est faible.

Lorsque l'énergie cinétique de la pluie et du ruissellement augmentent (pente forte et faible couvert) on assiste alors à un décapage complet et l'érosion prend la forme "en rigole". En pratique, les deux tendances évolutives sont présentes dans la plupart des cas mais leur vitesse diffère.

Ainsi, le point de vue pédologique qui analyse la qualité des éléments exportés par l'érosion complète celui du conservateur des eaux et du sol qui considère d'avantage l'aspect quantitatif.

VI - CONCLUSIONS.

Un esprit nouveau doit orienter les recherches dans le domaine de la conservation du sol et de l'eau.

La croissance démographique nous pousse à envisager désormais les problèmes d'érosion non plus sous l'angle de la protection du milieu naturel contre une exploitation dévastatrice (Défense et Restauration des Sols) mais sous l'angle agronomique d'une exploitation rationnelle et continue du milieu transformé par les techniques modernes de fertilisation, d'irrigation et de travail du sol.

S U M M A R Y

Under the influence of the demographic pressure and the extension of export cultivation, the duration of fallow was considerably reduced in West Africa. From there on, the dangers of erosion were further increased in certain crowded belts. In fact, when the soil is denuded, the erosion increases in Low Ivory Coast from 0,2 t/ha/year under forest and under unburned savanna to 120 t/ha/year on slopes of 7% and 600 t/ha/year on slopes of 25 %. At the same time the runoff increases from less than 1% to 30 or 40 % of the annual rainfall. It is called accelerated erosion.

To face this problem concerning the patrimony of african land, ORSTOM and the French Institutes of Applied Research, have placed a serie of runoff plots to evaluate the causes and the ways of correcting the situation. Twenty years after, this thesis would present a synthesis of the results obtained by ORSTOM at the Center of Adiopodoume, near Abidjan and a comparison with those of the neigh boursing centers.

1. ENVIRONMENT.

The center of Adiopodoumé (5° 20' N; 4° 08' W) is located twenty km. from Abidjan in Low Ivory Coast. The climate is sub-equatorial with two rainyseasons, characterized by average temperatures varying slightly around the annual average (26,2° C) and an average of annual precipitations of 2.100 mm, which one half falls in two consecutive months. The rainfall are particularly important and heavy : one can expect an exceptional rainfall of more than 200 mm. each 4 years and of more than 150 mm each year. The instantaneous intensities reach exceptionaly 200 to 240 mm/hour. The highest intensities exceeds rarely 100 to 150 mm/hour during 15 minutes, 80 to 100 mm /hour during 30 minutes, 60 mm / hour during one hour and 30 mm/hour during 3 hours.

The soil is a ferrallitic soil highly desatureted, rich in rough sands, with homogeneous and very permeable profile (K = 10 to 120 cm/hour).

II. THE APPARATUS.

It includes nine rainfall plots of 15 m. long, 6 m. wide, 4,5% - 7% and 23 % of slope in a large clearing, bordering a plateau. Each runoff plots consists of a plot of 90 m² isolated from the outside by sheet-metal stuck into the soil. At the foot of this plot a chanel conducts water and soil losses to a system of stockage formed by a sediments trap and by two tanks of 2 m³ connected by a 7 slot divisor. This method, from which one cannot expect a p̄recision of more than 10 %, gives size scale concerning several factors of erosion and several treatments compared with each other or on similar device in other areas.

III. RESULTS AT ADIOPODOUME

- Rainfall is the primary cause of the erosion phenomenon because of it's kinetic energy which intervence at the same time the height and the intensity of the rainfall during a certain period of time. The runoff is the main agent for the transportation of the particles.pulled off, but it can become, abrasive when the slope increases (more than 15 %) and that the overflows organizes itself into a system of hierarchised rills.

- The canopy is the main factor which modifies the severity of the rainfall. The rapidity of which the vegetable recovers the soil and secondarily it's architecture (height, it's funnel form or umbrella form, superficial or pivoting unrooting) play a leading part.

- When the cover is incomplete (which mostly occurs) certain kinds of cultural technics (deep tillage, mulching, hiding of organic matter, working following levels curves) may reduce temporarily the erosion. A good working of the soil increases it's macroporosity but reduces it's cohesion : it diminishes during 3 or 4 weeks the erosion phenomenon but increases them at long term unless the growth of the canopy, which results, compensates the increase of the soil detachability.

- The erosion-control practices as buffer strip-cropping or mulching natural or artificial (Curasol) can help to solve some problems of water and soil conservation : they reduce soil losses from 40 to 75 % of the check plots. Among those technics biological methods seem to be much more efficient than mechanical methods, however those are much more developped in soil conservation manuals.

- When the steepness of the slope increases, the erosion grows in exponential matter but the runoff diminishes on bare soil. The variability of reply of the experimental plots comes more from the device itself (irregularities in the form of the slope, multi-slot divisor) than from the preceding crops. The influence of this was negligible in the experiments studied where the production level was always rather extensive.

IV. INTERPRETATION ACCORDING TO WISCHMEIER'S EQUATION.

Wischmeier and Smith (1960) developed an equation which predicts soil losses from the coefficient of the climatic aggressivity (R), the soil susceptibility to erosion (K), the slope (SL), the canopy and the cultural technics (C) and the erosion-control practices (P). Although this equation is limited and imperfect, it is actually the best equation which connects the erosion on a cropland to the causal and conditioning factors. Therefore we have tried to specify the value of those coefficients and to verify its applicability to the ecological conditions of Ivory Coast.

- The mean annual rainfall erosion index is very high in the subequatorial area : it oversteps 1.200 units in the area of Abidjan (800 for the months from May to July). Owing to a relation existing between this index and the annual height of rainfall, we have established a first draft on 1/4.000.000 of this rainfall erosion index in Ivory Coast.

- The sandy ferrallitic soil studied is very resistant to erosion ($K = 0,10$). The use of the chart of Wischmeier, Johnson and Cross (1972) allows us to extend those conclusions to many ferrallitic soils ($k = 0,10$ to $0,18$) and, on a lesser scale, to the tropical ferruginous soils ($K = 0,20$ to $0,30$). On the contrary to the opinion generally expressed by a generation of tropical agronomists, the catastrophic phenomenon of erosion observed in West Africa are not due to a particular weakness of soils but is due to the rainfall severity much more higher than in temperate belts.

- The increase of the steepness slope produces a rapid increase of soil losses according to an equation which is near from the Wischmeier quadratic equation. Although, this is the weak point of the equation because there only exists one draft for all kinds of soils, and the influence of the slope on erosion is very different on sandy and on clay soils and especially on swelling clay soils.

- The "C" factor which presents on the same time the influences of the canopy and of the cultural technics varies from 1 on bare fallow to 0,001 when the canopy is complete (forest, established sod, mulch, covercrop, etc ...). For the main food crops in Ivory Coast (Maïs, peanut, cassava, yam) it varies from 0,9 to 0,3 in terms of the cultural technics and the level of fertilisation. This "C" factor is a good witness of the fundamental influence of the cover and of the adaptation of the cultural technics to the local ecological conditions.

- The biological erosion-control technics (P) are much more efficient and less expensive than the mechanical technics generally unadapted to humid tropical areas.

To resume, this equation for calculating field soil loss seems to be valuable in the ecological conditions of Ivory Coast and could be used today for the territory management. Besides the practical aspect of this equation, we must notice its capability to analyse the role of each factor which the consequence determines the erosion as it is on the land.

V. LOSSES BY EROSION

It seems to be important to complete this quantitative data (mm. of runoff and t/ha/year of eroded soil) by a study of the evolution of physical and chemical characteristics on cultivated and eroded soils, especially in tropical forest area where the soil fertility is concentrated in the superficial horizon.

By repeated analysis of the soil which is subjected to several treatments more or less protective or by the hydrological and chemical balance methods of all what comes out from the plots (methods more accurate and rapid), we ascertain that sheet erosion is selective for colloids (impoverishment in clay and organic matters) and nutrient elements for plants (lixiviation of basis and nitrogen). This selectivity is heavier when the soil is well protected by the canopy and when the slope is weak.

When the kinetic energy of the rainfall and of the runoff increases (steep slope and weak canopy) we observe a complete cleaning and it becomes rill erosion. Practically, both of the two evolutive tendencies are present in most of the cases but their rapidity are different.

So, the pedological point of view which analyses the quality of the exported elements by erosion completes those of the water and soil conservator which considers more the quantitative aspect.

VI. CONCLUSION

A new spirit must guide the research in water and soil conservation. The demographic growth brings us to consider from hereon the problems of erosion, not only from the point of view of protecting the natural resources against devastating exploitation (defense and restoration of soils) but from the agronomical point of view of a rational and continual exploitation of the transformed area by modern techniques of fertilization, irrigation and tilling of the soil.

INTRODUCTION.

Depuis les temps reculés des premiers agriculteurs, les peuples ont supplié les dieux de leur envoyer la pluie et les dieux se sont bien vengés, car s'ils ont envoyé sur terre l'eau des nuages, source de toute vie, ils y ont caché une énergie redoutable, capable de détruire la terre de nos pères et d'entraîner bien des malheurs.

On parle des méfaits de l'érosion depuis la plus haute antiquité et rares sont les civilisations qui n'ont pas rencontré cet obstacle sur la route de leur développement. Qu'il s'agisse des orientaux en Chine, à Bali, à Ceylan, des Incas d'Amérique ou encore des Grecs et des Romains, tous ont laissé des traces des méthodes qu'ils ont inventées pour lutter contre l'érosion. Mais leurs entreprises ont connu des succès divers : qu'il nous suffise de regarder les paysages décharnés qui hantent le bassin méditerranéen, calcaires dénudés, squelettes blanchis des terres qui furent jadis le grenier à blé du monde occidental.

Plus proche de nous, vers les années 1930, c'est aux Etats-Unis d'Amérique que le drame éclate lorsqu'après les chercheurs d'or, ce sont des colons qui veulent faire fortune dans l'Ouest de la Grande Plaine américaine. La culture inconsidérée du coton et du maïs détruisent la résistance du sol en quelques années. On voit apparaître des tornades de poussière qui dépouillent les champs de leurs particules fines et ensevelissent habitations et moyens de production sous des couches de limon. On estime que 20 % des terres arables américaines ont été anéanties par l'érosion à cette époque.

Quinze ans plus tard, c'est en Afrique que circulent des rumeurs inquiétantes : les pluies y seraient particulièrement intenses et agressives et les sols spécialement fragiles. Et ces immensités peu peuplées, de se présenter comme un supplice de Tantale aux yeux des continents surpeuplés : la végétation y est luxuriante mais dès qu'on défriche et qu'on cherche à mettre le sol en valeur, il se détruit sous l'effet du

climat. Des auteurs connus rapportent des faits dramatiques : on parle de désertification, de pétrification de l'Afrique, on écrit des livres sur l'"Afrique, terre qui meurt".

En tous cas, les agronomes sont désemparés, car les méthodes agricoles mises au point en Europe ou aux U.S.A. s'avèrent souvent catastrophiques en Afrique. Plusieurs grosses sociétés agricoles tombent d'ailleurs en faillite après la guerre. De grands projets de mécanisation de l'agriculture ont échoué au bout de quelques années parce qu'on n'avait tenu aucun compte de l'agressivité des pluies tropicales. Les agronomes ont rejeté la faute sur les sols tropicaux qui ont depuis la réputation bien établie d'être fragiles.

Tant que la population reste peu dense, les dangers de destruction du capital foncier sont faibles car les traditions africaines prévoient de longues jachères entrecoupées de courtes périodes de culture. Mais grâce aux réalisations de la médecine, la population s'accroît rapidement. A cause de la pression démographique, de la concentration des populations le long des axes routiers pour les besoins de l'Administration et de l'extension des cultures d'exportation, il faut, aujourd'hui, trouver une solution à l'intensification de la production agricole surtout aux environs des villes. On peut y voir deux phénomènes parallèles : un accroissement des surfaces cultivées et la mécanisation des principales façons culturales.

C'est alors qu'apparaissent les phénomènes d'érosion accélérée. L'érosion superficielle^(Note 1) qui est de l'ordre de 0,1 à 0,2 t/ha/an sous forêt passe à 138 et 570 t/ha/an sur des pentes dénudées de 7 et 23 % dans la région d'Abidjan. Dans le même temps le ruissellement augmente de 1 % sous forêt à 30 ou 40 % des précipitations annuelles.

Note 1

Dans ce mémoire, le terme "érosion" est pris dans le sens précis de migration sous l'effet des eaux de pluie des éléments constitutifs du sol à la surface de celui-ci, à l'exclusion des migrations par les eaux de drainage.

En 1954, l'ORSTOM, en collaboration avec les instituts de recherche appliquée, a mis en place, sous l'impulsion de Mr. le Professeur FOURNIER, tout un réseau de parcelles expérimentales destinées à mettre en lumière l'ampleur des dangers de l'érosion, ses causes et les facteurs qui en modifient l'expression.

A Adiopodoumé, c'est en avril 1956 que furent installées les six premières cases d'érosion par les pédologues DABIN et LENEUF (1957). Une septième parcelle fut montée en 1957 et deux autres en 1970. Par la suite les expérimentations furent confiées aux pédologues PERRAUD (1960-63) puis ROOSE (1964-73).

Pour répondre d'urgence aux problèmes posés par la mise en valeur de la Côte d'Ivoire, les mesures d'érosion ont été effectuées sur des couverts très variés jusqu'en 1964 :

- forêt secondaire très touffue et sol nu ;
- cultures vivrières régionales (manioc, igname, arachide, maïs, etc...) ;
- diverses plantes de couverture ou de pâturage (légumineuses et graminées) ;
- cultures industrielles arbustives (café, palmier, cacao) ou herbacées (ananas).

Les années 1964-65 furent consacrées à l'étude de l'efficacité des bandes antiérosives et 1966 à un test d'homogénéité de réaction à l'érosion des parcelles.

Durant les trois années suivantes on y entreprit un bilan des pertes chimiques par érosion ainsi que l'évaluation des coefficients de l'équation de prévision de l'érosion (SMITH et WISCHMEIER, 1958) et en particulier ceux qui concernent l'agressivité climatique, la susceptibilité du sol à l'érosion hydrique, le gradient de pente et la couverture végétale (rotation maïs - arachide - sol nu).

En 1970 a commencé un nouveau programme sur 4 ans de mesure des phénomènes d'érosion sous trois plantes fourragères (régénération du sol). On continue en outre la détermination des coefficients de WISCHMEIER et on teste la protection antié-

rosive par un film plastique souple (Curasol) pulvérisé sur le sol après labour.

L'objet de ce mémoire n'est pas de faire le tour de la question, mais de faire le point des résultats acquis au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé où des expérimentations sur les phénomènes d'érosion se déroulent depuis 17 ans, sur un sol ferrallitique très désaturé sur sables tertiaires. Il vise à mettre en lumière la cause et l'importance relative des facteurs qui interviennent localement dans l'expression des phénomènes d'érosion en basse Côte d'Ivoire. Il doit permettre aux planificateurs de mesurer les risques d'érosion et de mettre en oeuvre les méthodes antiérosives adéquates pour permettre de tirer le meilleur profit des territoires qu'ils doivent aménager sans détruire le capital sol.

L'intérêt de cette étude sur les sols sableux de basse Côte d'Ivoire ne peut échapper à personne puisque ces sols s'étendent à proximité des grands ports, tant en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Togo et au Dahomey. Ils sont très utilisés pour les cultures vivrières et industrielles. De plus, leur horizon arable, riche en sable grossier, ressemble à celui des sols ferrallitiques sur granite et bon nombre des conclusions de cette étude sont extrapolables aux sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire.

CHAPITRE 1 - LE MILIEU.

1.1. Situation géographique et végétation naturelle.

(voir fig. 1.1.)

Les parcelles expérimentales de mesure de l'érosion ont été installées en 1956 au Centre ORSTOM d'Adiopodoumé (5° 20' lat. N. ; 4° 8' long. W ; 30 mètres alt.), à une vingtaine de kilomètres au N.W. d'Abidjan en basse Côte d'Ivoire. La végétation naturelle était une forêt sempervirente, psammo-hygrophile à *Thurraanthus africana* (AUBREVILLE, 1938) ; elle a été remplacée petit à petit par une forêt secondaire riche en palmiers à huile à sous-bois très dense.

1.2. Le climat. (tableau 1.1.)

Généralités.

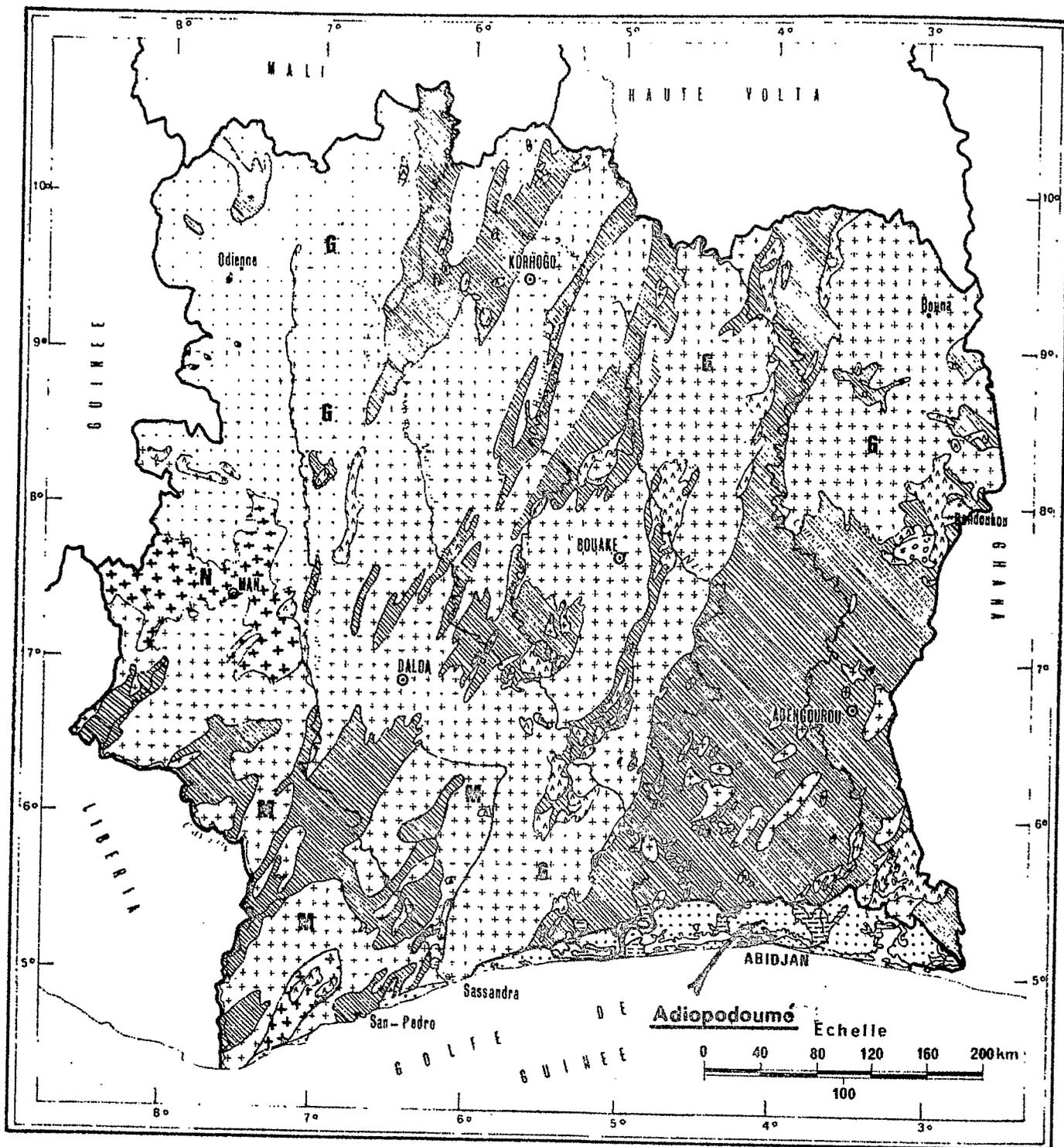
De type subéquatorial à quatre saisons, le climat de cette région a été qualifié de guinéen forestier par AUBREVILLE. Il est caractérisé par :

- des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 2100 mm réparties très irrégulièrement en deux saisons des pluies centrées sur juin (la plus importante) et fin octobre alternant avec deux saisons sèches (voir fig. 1.2.) ;

- des températures variant peu autour de la moyenne annuelle de 26,2° C ;

- une humidité relative oscillant le plus souvent entre 80 et 90.%.

L'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne (Turc) s'élève à 1220 mm (GOSSE, ELDIN : 1973) : elle dépasse la pluviosité moyenne durant six mois de l'année.



- | | | | |
|--|-----------------------------------|--|------------------------------------|
| | Granites | | Grès |
| | Migmatites | | Sables tertiaires |
| | Granite à hypersthène | | Sables quaternaires |
| | Roches métamorphiques schisteuses | | Alluvions récentes |
| | Roches basiques | | Limite nord du bassin sédimentaire |

Dressée par A. Perraud et P. de la Souchère d'après la carte géologique à 1:1000-000 (Bagarre et Tagini)

FIG. 11 Carte des roches mères de la Côte d'Ivoire.

Pluviosité.

Les cases d'érosion étant situées à environ 2 km au Nord du poste d'observation météorologique, il était intéressant de comparer les précipitations mesurées à des époques semblables. (voir tableau 1.1.).

Alors qu'on constate souvent des écarts considérables lors d'une pluie isolée (en particulier les orages de début de saison des pluies), ces variations localisées tendent à disparaître au bout de l'année et n'atteignent plus que 2,11 % pour les moyennes des précipitations enregistrées de 1956 à 1972.

On se basera donc sur les moyennes climatiques enregistrées à la station météo mais on analysera en détail les précipitations aux parcelles d'érosion.

Le tableau 1.2. rapportant les précipitations mensuelles moyennes aux cases d'érosion de 1956 à 72 montre qu'il y a dans l'année des mois plus arrosés que d'autres en particulier mai (262 mm) juin (673 mm) juillet (340 mm) et dans une moindre mesure (130 mm) avril et septembre-octobre. Cependant, si on parcourt l'ensemble du tableau on peut constater des précipitations mensuelles de plus de 150 mm pour tous les mois de l'année (y compris durant les saisons sèches) à l'exception de janvier. De plus la somme des précipitations des deux mois adjacents les plus pluvieux varie de 700 mm à 1700 mm et les hauteurs annuelles de 1400 à 2800 mm.

Les précipitations annuelles (et mensuelles) varient donc considérablement d'une année à l'autre et sont généralement concentrées pour plus de 50 % de leur hauteur en un ou deux mois de l'année.

Le tableau 1.3. nous rapporte la répartition des hauteurs des pluies unitaires en fonction des mois de l'année de 1956 à 72. La loi de distribution des pluies n'est pas normale puisque 60 % des pluies ont moins de 10 mm de hauteur. Cependant on sait que les plus gros dégâts d'érosion ont lieu durant les pluies exceptionnelles (10 pluies de plus de 100 mm et 2 de plus de 150 mm en 7 ans) : celles-ci sont situées en mai, juin et juillet.

FIG. 1.2. PRECIPITATIONS, TEMPERATURE ET E.T.P. (TURC).

- Moyennes mensuelles à Adiopodoumé -
d'après Gosse (G.). Eldin (M.); 1972.

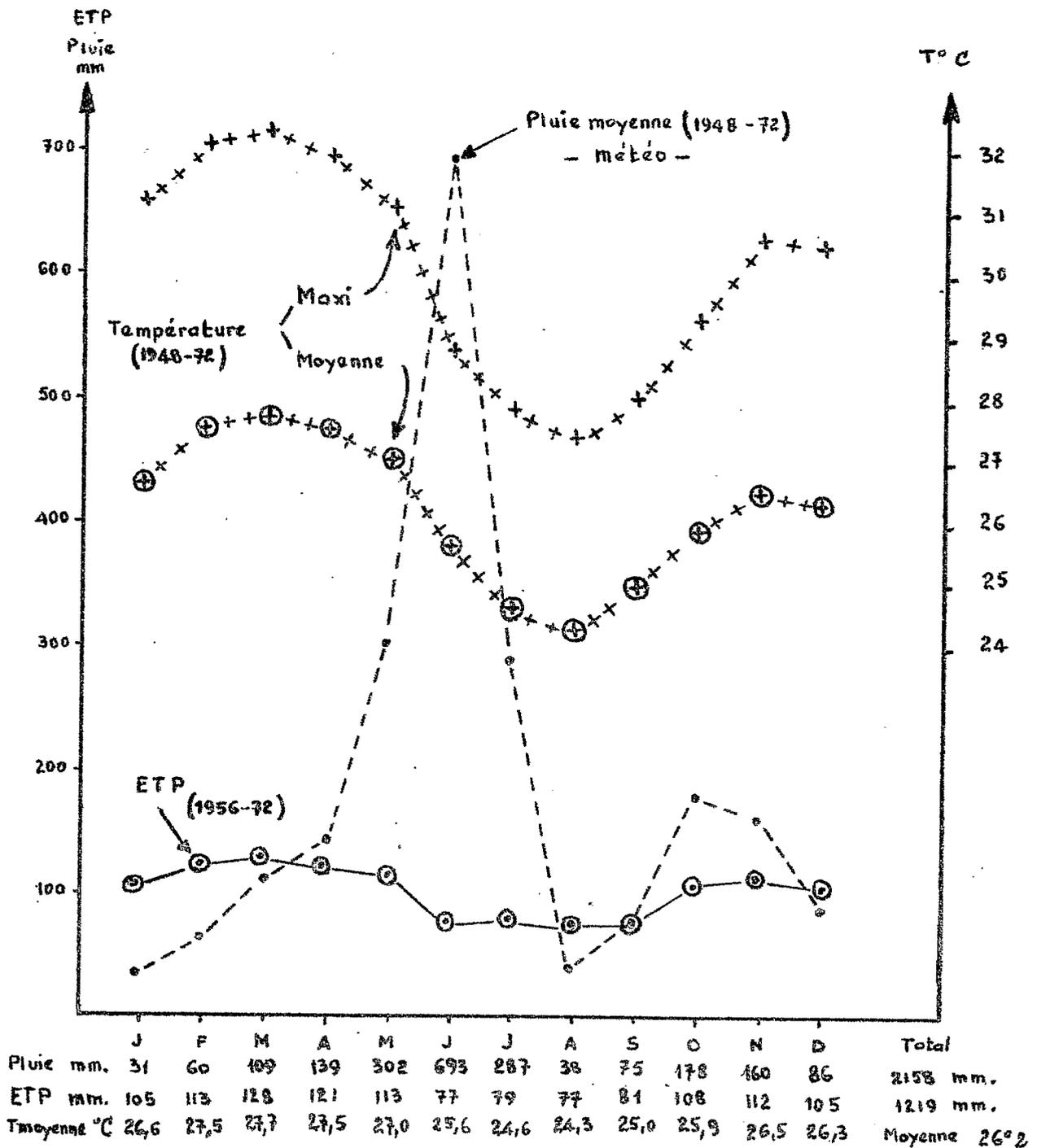


TABLEAU 1.1. - Données climatiques du Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé

		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total	Moyenne
Précipitations :	H en mm	31,0	60,3	109,1	239,1	301,8	692,7	287,3	38,1	74,5	178,2	159,5	86,0	2.157,6	
	1948-1972														
(1)	: nombre de jours	3	4	8	10	15	22	13	8	12	15	13	8	181	
Température	Maximale	31,2	32,1	32,3	31,9	31,1	28,8	27,8	27,4	28,0	29,3	30,6	30,5		30,0
	1948-1972														
	Minimale	22,0	22,8	23,1	23,2	22,9	22,4	21,7	21,2	21,8	22,5	22,4	22,1		22,3
(1)	Moyenne = $\frac{M + m}{2}$	26,6	27,5	27,7	27,5	27,0	25,6	24,6	24,3	25,0	25,9	26,5	26,3		26,2
Insolation (Campbell)	heures	161,1	176,3	195,7	182,3	171,8	84,0	87,2	74,3	84,4	157,1	182,4	165,5	1.722,1	
	1948-1972														
(1)															
Evapotranspiration Potentielle	mm														
	TURC	105	113	128	121	113	77	79	77	81	108	112	105	1.219	
(1)	Paspalum	94	113	132	128	121	82	74	70	78	103	103	93	1.191	
Comparaison Postes météo et P ₂															
Précipitations	- poste météo 1956/72	38,3	46,0	95,4	136,9	271,5	700,7	327,0	36,9	56,2	127,3	139,0	85,1	2.060,3	
(mm)	- poste érosion (P ₂)	37,2	52,3	94,0	134,8	261,9	673,0	339,4	37,6	59,6	126,5	130,0	85,1	2.031,4	

(1) GOSSE (G.) et ELDIN (M.) ; 1973

Données agroclimatologiques recueillies à la Station ORSTOM d'Adiopodoumé 1948-1972.

Multigr. ORSTOM - Abidjan - 23 p.

TABLEAU 1.2-PRECIPITATIONS MENSUELLES DE 1956 à 1972 .

Adiopodoume , cases d'érosion .

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	AOÛT	SEPT.	Oct	NOV.	Déc.	Totaux annuels
1956	5,9	23,2	149,5	78,0	363,8	719,0	451,6	16,5	57,0	91,0	201,4	242,7	2424,6
57	63,5	0,9	82,2	90,1	274,9	925,4	341,3	24,3	83,8	185,8	187,3	123,6	2583,1
58	89,4	55,0	77,1	267,5	487,3	658,2	11,0	10,9	15,3	97,1	84,3	101,6	1954,7
59	2,5	73,5	52,0	255,2	418,3	732,3	367,8	27,6	74,3	133,8	156,6	48,3	2342,2
60	48,7	48,1	86,4	196,0	225,1	738,8	11,6	13,2	20,5	289,7	127,9	61,7	1897,7
61	100,2	66,9	56,9	160,6	232,5	711,6	564,4	18,9	89,9	77,6	114,3	95,0	2288,8
62	19,0	14,5	158,1	197,6	181,3	1.221,6	499,4	27,3	4,3	219,1	198,4	32,3	2772,9
63	107,5	19,1	100,2	93,3	210,8	525,2	787,1	99,3	108,4	133,1	205,7	44,0	2433,7
64	27,5	46,1	54,3	63,0	328,1	737,5	18,8	18,5	53,7	4,6	29,0	266,9	1648,0
65	1,8	86,4	148,3	211,2	176,8	687,3	702,2	35,0	77,2	73,5	88,9	10,6	2299,2
66	16,0	32,0	89,0	57,7	161,5	370,0	441,5	20,5	47,3	116,5	103,2	14,0	1469,2
67	4,0	29,0	91,1	59,0	194,0	807,5	212,0	15,0	62,5	11,0	73,0	87,0	1645,1
68	27,5	157,0	64,5	68,5	779,5	416,0	401,0	230,5	178,5	143,5	103,0	114,0	2083,5
69	23,5	9,5	90,0	190,0	133,5	701,0	379,5	13,0	20,0	206,0	159,0	26,0	1951,0
70	29,5	86,5	115,5	115,2	447,5	294,5	140,0	9,5	57,7	159,5	128,3	31,0	1614,7
71	28,0	8,0	85,0	96,5	162,0	678,0	280,0	37,5	47,0	56,5	150,0	63,0	1691,5
72	8,0	130,0	107,5	92,5	275,0	517,5	159,8	22,5	15,0	151,5	100,0	55,0	1634,3
Moyenne	37,2	52,3	94,0	134,8	261,9	673,0	339,4	37,6	59,6	126,5	130,0	85,1	2031,4

TABLEAU 1.3. - Nombre de pluies par classe de hauteur en fonction des mois de l'année.
- Adiopodoumé, Cases d'érosion - Campagnes 1956-1972 -

Classes de hauteur (mm)	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAUX	MOYENNE
0-10	32	34	62	80	105	108	121	121	121	125	110	75	1074	63,2
11-20	6	18	22	19	34	64	27	10	9	18	40	14	281	16,5
21-40	6	11	20	25	50	65	30	3	11	28	23	15	287	16,9
41-60	2	4	8	6	19	26	17	0	1	6	5	5	99	5,8
61-100	2	/	/	8	7	34	11	0	1	1	2	1	67	3,9
101-150	/	/	/	/	3	19	12	1	/	/	/	1	36	2,1
151-200	/	/	/	/	/	8	4	/	/	/	/	/	12	0,7
Jours de pluie totaux	48	67	112	138	218	324	222	115	143	178	180	111	1856	
Moyenne	2,8	3,9	6,6	8,1	12,8	19,1	13,1	6,8	8,4	10,5	10,6	6,5		109,2

Soit en moyenne dans l'année 1 jour de pluie sur 3,34

TABEAU 1.4. Répartition des classes d'intensité des pluies au cours des années 1966 à 1972. Dépouillement de sept années d'enregistrement pluviographique (Station ORSTOM d'Adiopodoumé, cases érosion).
 Nombre de minutes pendant lesquelles on a enregistré chaque intensité pour les pluies de plus de 10 mm.

Intensité mm/h	0 à 19	20 à 39	40 à 59	60 à 79	80 à 99	100 à 119	120 à 139	140 à 159	160 à 179	180 à 199	200 à 219	220 à 239	240 à 260	≥ 260 mm/h
Janvier	281'	63'	10'	18'	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Février	1993'	148'	47'	35'	/	26'	5'	10'	/	/	/	/	/	/
Mars	2621'	174'	78'	31'	42'	23'	/	5'	/	/	/	/	/	/
Avril	4838'	211'	178'	35'	41'	5'	/	/	/	/	/	/	/	/
Mai	11657'	457'	240'	122'	54'	/	7'	/	/	/	/	/	/	/
Juin	28064'	1610'	602'	349'	73'	36'	8'	10	3'	/	/	/	/	/
Juillet	17096'	872'	340'	95'	33'	17'	7'	/	/	/	/	/	/	/
Août	1808'	87'	13'	17'	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Septembre	2514'	142'	33'	9'	5'	8'	/	/	/	/	/	/	/	/
Octobre	5653'	196'	111'	59'	17'	2'	2'	5'	7'	/	2'	/	/	/
Novembre	2893'	236'	155'	72'	39'	/	7'	1'	/	/	/	5'	/	/
Décembre	1785'	100'	125'	19'	11'	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Total minutes	81203'	4296'	1932'	861'	315'	117'	36'	31'	10'	0	2'	5'	0	0
% du total	91,44	4,84	2,18	0,97	0,35	0,13	0,04	0,03	0,01	0	0	0,01	0	0

Total des minutes dépouillées

88808'

TABLEAU 1.5. Quelques exemples de relation intensité maximum — durée.

— Adiopodoumé, Cases d'érosion; 1966-1969 —

date	hauteur Pluie mm.	Intensité maximale (mm./heure) en						
		5'	10'	20'	30'	45'	60'	180'
12/5/66	34	84	66	54	43	19	14	7
25/5	48	60	54	53	46	41	40	16
14/6	92	108	75	56	41	28	21	13
1/7	30	120	108	75	52	37	29	10
19/7	197	132	96	74	73	60	54	45
28/10	43	198	126	65	44	31	26	14
30/5/67	32	84	72	58	40	28	24	8
7/6	65	192	129	95	68	49	38	14
10/6	94	132	129	101	97	78	62	24
14-15/6	160	90	66	52	44	34	27	14
17/6	71	72	66	56	56	49	44	23
25/6	112	60	60	48	43	39	36	22
27/6	102	54	54	44	44	40	38	20
19/2/68	58	120	108	95	79	60	48	18
17/3	36	126	87	59	47	38	33	12
20/5	38	120	87	66	54	45	37	12
9/6	69	108	72	57	51	37	34	15
24/6	85	108	99	69	56	46	46	25
9/7	113	72	69	54	45	40	39	20
20/11	47	84	72	64	58	50	40	16
30/12	41	84	72	48	46	37	32	12
14/4/69	53	96	66	60	56	49	40	17
28/4	36	96	78	65	50	42	35	12
20/5	37	78	54	47	41	33	25	11
7/6	83	96	84	72	56	49	44	26
8/6	49	138	126	102	76	54	43	16
16/6	59	120	102	81	64	50	42	20
24/6	41	72	72	57	47	35	30	12
11/7	147	144	111	107	101	79	64	32
20/10	41	84	54	48	39	29	26	10
10/11	22	114	87	56	42	29	22	7

TABLEAU 1.5. Quelques exemples de relation intensité maximum—durée.
(suite)

— Adiopodoumé, Cases d'érosion; 1970-1972 —

date	hauteur Pluie mm.	Intensité maximale (mm./heure) en						
		5'	10'	20'	30'	45'	60'	180'
21/2/70	45	228	159	120	77	52	44	15
5/3	47	96	96	84	70	54	44	16
14/4	32	78	72	60	52	40	31	11
6/5	71	120	105	84	71	67	60	24
23/5	58	120	108	90	78	57	43	16
26/5	61	96	75	63	53	41	33	17
28/5	142	216	192	177	162	155	122	45
19/6	82	108	84	72	59	54	47	27
28/6	60	96	78	63	53	51	43	19
29/3/71	31	108	90	84	60	41	31	10
15/5	24	60	54	39	36	27	21	8
27-28/6	146	108	96	72	59	59	47	20
3/7	142	84	84	56	47	45	45	17
14/7	45	108	96	78	65	49	39	15
22/7	35	60	54	51	42	32	29	10
19/11	26	108	90	53	51	34	26	9
8/12	44	84	66	48	47	39	31	12
9/2/72	44	156	144	107	81	57	43	14
18/3	31	132	114	71	59	41	31	10
3/4	31	72	66	57	52	37	29	10
26/4	25	108	90	63	45	31	23	8
25/5 n°1	55	72	60	57	57	56	48	17
25/5 n°2	44	132	111	90	75	51	39	13
7/6	84	96	84	67	66	52	52	24
12/6	57	60	60	52	52	44	39	28
26/6	134	120	90	66	58	47	41	25
18/7	57	84	75	61	52	38	35	17
18/10	61	84	54	45	42	32	28	14
24/12	36	60	52	51	48	43	33	11

A côté de l'humidité du sol (que l'on pourrait caractériser par les précipitations mensuelles) et de la hauteur des pluies unitaires, joue un facteur d'intensité des précipitations.

Au tableau 1.4. on a additionné les portions de courbe d'enregistrement d'égale classe d'intensité mois par mois de 1966 à 72.

Là aussi on constate que la loi de répartition n'est pas normale puisque plus de 91,4 % des minutes dépouillées ont des intensités inférieures à 19 mm/heure. Cependant, on peut observer des intensités de plus de 120 mm/heure durant tous les mois de l'année à l'exception de décembre-janvier et août-septembre. Tout à fait exceptionnellement on a pu enregistrer des intensités instantanées de l'ordre de 200 à 240 mm/heures (ex. le 23/11/72 pluie de 29 mm durant laquelle il est tombé 19 mm en 5 minutes).

Aux tableaux 1.5. on a rapporté les intensités maximales des pluies les plus violentes (1966-72) enregistrées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé en fonction du temps pendant lequel ces intensités perdurent.

TABLEAU 1.6. - Intensité maximale (mm/heure) en fonction de leur durée - Adiopodoumé P₂ 1966/1972.

Int. max. mm/heure Adiopodoumé P ₂ - 1966/1972	I 5'	I 10'	I 20'	I 30'	I 60'	I 180'
I max. fréquent chaque année	120-150	100-130	75-100	60-80	40-60	15-30
I max. exceptionnel	200-240	150-200	120-175	100-150	70-120	45
fréquence en 7 ans	2	4	2	3	1	1
BRUNET-MORET Abidjan						
récurrence						
1 an	144	126	-	92	66	30
inconnue	228	204	-	130	102	42

Tableau 1.6.

On voit que si les pluies peuvent atteindre exceptionnellement des intensités de l'ordre de 180 mm/heure pendant 10 à 20 minutes, les intensités maximales dépassent rarement 80 mm/h durant une demi-heure, 60 mm/h. durant une heure et 30 mm/h. pendant 3 heures. Les plus fortes pointes d'intensités (I 5 à I 20) sont souvent observées lors des orages de début de saison des pluies tandis que les intensités les plus soutenues (I 60 ou I 180) adviennent lors des pluies de mousson les plus importantes (100 à 200 mm. en juin-juillet).

Ces résultats, tant les hauteurs des pluies exceptionnelles que les intensités maximales en fonction du temps, sont très voisins de ceux qui ont été obtenus par BRUNET-MORET (1967) pour le poste Abidjan Aéro (ASECNA : 1956-1966).

1.3. Le sol.

Les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé sont installées sur un sol ferrallitique très sableux (voir ROOSE, CHEROUX, 1966).

Le profil décrit (voir la description complète conformément au glossaire en annexe 1.3.) est situé dans un relief à modelé largement ondulé, en bordure d'un plateau, légèrement en amont des parcelles et sous une forêt sempervirente secondarisée riche en palmiers à huile et à sous-bois dense à *Tomatococus* et *Gingiberacées*.

Sous une mince litière de feuilles et brindilles le sol présente d'abord un horizon peu épais (5 à 10 cm) (A1) brun gris très foncé, humifère, très riche en sables grossiers quartzeux, à structure particulière associée à des grumeaux humifères : il est très meuble et maintenu en place par un chevelu radiculaire très abondant.

Puis vient un horizon A3 (70 cm) brun foncé de pénétration de la matière organique, sablo-argileux déjà beaucoup plus cohérent, à structure massive, encore très poreux, parcouru par des racines fines et moyennes et de nombreuses galeries, cavités et charbons de bois témoignant d'une grande activité de la faune (vers de terre, termites, myriapodes, rats) et de l'homme jusqu'à 70 cm de profondeur.

Enfin de 70 à plus de 300 cm on observe un horizon brun jaune non humifère, argilo-sableux, de structure massive, cohérent mais encore très poreux, un peu collant à l'état humide, traversé de racines fines et moyennes et de nombreuses galeries et cavités mais sans charbon de bois.

Le pH est très acide surtout en surface (3,6 à 5,5) ; les teneurs en bases échangeables (S inférieur à 1 mé/100 gr) et totales (inférieures à 7 mé/100 gr) sont médiocres sauf dans le mince horizon de surface ; le taux de saturation est inférieur à 10 %. Les teneurs en phosphore total (0,7 à 1 ‰) et en azote total (2 à 0,6 ‰) sont bonnes en surface à moyennes en profondeur. On constate une bonne activité de la micro-et mésofaune : le rapport C/N est peu élevé (12 en surface à 6 en profondeur). Les teneurs en matières organiques diminuent brutalement de 4,6 % en surface à 1 % vers 30 cm puis plus progressivement à 0,5 vers 120 cm.

Ce sol présente donc un bon milieu physique pour le développement des racines (homogène, poreux, profond, sans gravillon) mais il est très pauvre chimiquement et dépourvu de réserve minérale en dehors du mince horizon humifère. De plus, il a une fâcheuse tendance à se colmater en surface, à former des croûtes dès que le sol est nu et de ce fait, il est sensible à l'érosion lorsqu'on le soumet aux cultures annuelles (tout au moins tant que le couvert n'est pas installé).

Il est appauvri en argile jusqu'à 70 cm mais particulièrement dans le mince horizon de surface et fortement lixivié en bases.

Les parcelles étant défrichées depuis 1956 ont perdu une bonne partie de l'horizon humifère (en fonction de l'intensité d'érosion à laquelle on les a soumises) lequel a été mélangé à l'horizon sous-jacent par les labours successifs à la houe. En l'absence de travaux culturaux on voit apparaître en surface outre diverses formes d'érosion (rigoles, microfalaises, microdemoiselles coiffées, etc...) un mulch de sable grossier beige qui peut atteindre un centimètre qui témoigne de l'action d'appauvrissement des pluies par érosion sélective des particules fines.

Selon la dernière classification française (AUBERT, SEGALEN ; 1966) il s'agit d'un sol ferrallitique très désaturé appauvri modal sur sables tertiaires, faciès tronqué sur pentes moyennes (4,5 et 7 %) à forte (23 %).

Ce type de sol est représentatif de ceux que l'on trouve sur les sables tertiaires qui s'étendent en un mince croissant de 400 km de long et un maximum de 40 km de large entre Sassandra et le Ghana (soit environ 8000 km²).

Les "terres de barres" du Togo et du Dahomey lui sont très semblables mais elles évoluent actuellement sous un climat beaucoup plus sec qu'en Côte d'Ivoire.

Tableau 1.7. FICHE ANALYTIQUE

Profil Adiopodoumé: forêt en amont des cases d'érosion prélevé en février 1972 -

	1	2	3	4	5	6	7	8		
Granulométrie en 10 ⁻²	Profondeur minimale en cm	0	10	20	30	40	60	80	100	
	Profondeur maximale	5	20	30	40	60	80	100	130	
	Refus	0	0	0						
	Argile	6,6	10,3	/	17,6	/	21,8	/	24,0	
	Limon fin 2 à 20 µ	2,4	2,7	/	2,6	/	2,9	/	2,9	
	Limon grossier 20 à 50 µ	4,9	2,7	/	2,7	/	2,4	/	2,7	
Matières organiques en 10 ⁻³	Sable fin 50 à 200 µ	22,3	24,1	/	22,5	/	18,5	/	20,0	
	Sable grossier	61,3	58,1	/	51,4	/	53,0	/	51,8	
	Carbone	26,6	9,3	/	6,4	/	5,6	/	2,6	
	Azote	2,29	0,99	/	0,67	/	0,57	/	0,39	
	Acides humiques	3,27	0,95	/	0,45	/	0,23	/	0,11	
	Acides fulviques	3,53	1,56	/	1,75	/	1,33	/	0,83	
Acidité	Mat. Org. en 10 ³	45,6	16,0	/	11,1	/	9,6	/	4,4	
	C/N	11,6	9,3	/	9,6	/	9,8	/	6,6	
	Taux C. humifiés %	25,7	27,2	/	34,4	/	27,8	/	36,6	
	Ac. fulv. / Ac. hum.	1,07	1,62	/	3,91	/	5,92	/	7,54	
	pH eau 1/2.5	4,50	4,15	/	4,65	/	4,85	/	5,0	
	pH chlorure de potassium	3,65	3,85	/	4,10	/	4,30	/	4,40	
Cations échangeables en mé	Calcium Ca ⁺⁺	0,68	0,05	/	0,02	/	0,04	/	0,02	
	Magnésium Mg ⁺⁺	0,49	0,16	/	0,18	/	0,43	/	0,21	
	Potassium K ⁺	0,20	0,10	/	0,08	/	0,20	/	0,07	
	Sodium Na ⁺	0,66	0,02	/	0,04	/	0,06	/	0,02	
	Capacité d'échange	4,03	3,84	/	6,25	/	3,34	/	2,37	
	S. bases éch. mo	1,73	0,33	/	0,32	/	0,73	/	0,32	
Acide phosphorique en 10 ⁻³	Taux de saturation %	42,9	1,6	/	5,1	/	21,9	/	13,5	
	Phosphore total	0,66	0,66	/	0,96	/	0,75	/	1,06	
Eléments totaux (triacide) en 10 ⁻²	Phosphore assim. Olsen	0,07	0,04	/	0,03	/	0,05	/	0,06	
	Perte au feu	6,0	3,4	/	4,1	/	4,1	/	5,0	
	Résidu	83,6	84,9	/	77,9	/	76,5	/	68,1	
	Silice SiO ₂	5,1	4,5	/	5,2	/	7,4	/	10,5	
	Alumine Al ₂ O ₃	3,5	4,7	/	6,8	/	7,0	/	9,9	
	Fer Fe ₂ O ₃	2,2	2,5	/	3,7	/	4,1	/	5,2	
	Titane TiO ₂	0,38	0,43	/	0,56	/	0,60	/	0,85	
	Manganèse MnO ₂	-	-	/	-	/	-	/	-	
	Fer libre Fe ₂ O ₃	1,3	1,8	/	2,5	/	3,0	/	2,4	
	en mé	Calcium Ca ⁺⁺	2,20	1,00	/	1,00	/	1,50	/	1,25
		Magnésium Mg ⁺⁺	2,90	2,35	/	3,30	/	1,70	/	3,35
		Potassium K ⁺	2,35	2,21	/	2,78	/	2,72	/	2,94
		Sodium Na ⁺	1,62	1,46	/	1,45	/	1,16	/	1,14
		Somme des bases tot.	9,07	7,02	/	8,53	/	6,08	/	8,68
Fe 203 libre/Argile				/		/		/		
Structure et caractéristiques hydriques	SiO ₂ /Al ₂ O ₃			/		/		/		
	SiO ₂ /R 2O ₃			/		/		/		
	agregats %	12,6	6,4	/	0,9	/	0,6	/	0,7	
	instabilité structurale	0,1	0,6	/	1,7	/	2,2	/	2,1	
	Perméabilité Dénis cm/h.	40,2	46,4	/	13,7	/	9,0	/	6,2	
	pF 4,2	8,7	5,0	/	7,1	/	7,7	/	7,3	
	capacité au champ	10,7	13,0	/	13,5	/	13,1	/	13,6	
	saturation	32,8	34,1	/	28,7	/	27,7	/	27,6	
	densité réelle	2,47	2,39	/	2,53	/	2,53	/	2,53	
	densité apparente	2,39	1,67	/	1,49	/	1,49	/	1,45	
	porosité totale	59,9	43,4	/	40,9	/	41,1	/	42,7	
	porosité utile	35,5	34	/	30	/	27	/	26	
macroporosité	24	24	/	17	/	14	/	12		
microporosité	11	13	/	13	/	13	/	14		

- ANNEXE 1.3. -

DESCRIPTION DU PROFIL DES CASES D'EROSION D'ADIPODOUME
SELON LE GLOSSAIRE ORSTOM 1969.

- L'environnement.

- Profil ADIOP-EF. décrit le 8/3/73 par temps sec

4' 8" W, 5°20' N, 30 mètres d'altitude.

Profil en bordure d'un plateau sur sables tertiaires; pente 6 %
Modelé largement ondulé, sans microrelief.

Forêt secondarisée sempervirente riche en palmiers et sous-bois
à Tomatococcus et Gingiberacées.

Sol homogène sans éléments grossiers, ni croûte, ni efflores-
cence, sur les sables tertiaires.

Sol sec sur 120 cm, frais en dessous - nappe phréatique vers
25 mètres de profondeur.

Drainage excessif en surface, bon en profondeur.

Pas de trace d'érosion. Nombreux charbons de bois jusqu'à 70 cm.

- Description des horizons

2-0 cm mince litière de feuilles, brindilles déjà explo-
rées par les racines.

A₀₀

0 à 6-8 cm horizon sec, brun grisâtre très foncé (10 YR 3/2,
humide) (10 YR 4/2 en sec), matière organique
A₁ (environ 4,5 %) directement décelable (**grumeaux**
d'origine animale) - riche en grains de quartz
blanchis - sableux à sable grossier quartzueux.
Structure particulière dominante associée à des
grumeaux de 1 à 3 cm liés au système racinaire -
horizon bouillant très poreux - agrégats à pores fins
et peu nombreux, tubulaires sans orientation pré-
férentielle, ni fente, ni revêtement.

Horizon non cimenté, non plastique, non collant,
très friable et très fragile.

Nombreuses racines de toutes tailles à direction
horizontale dominante : chevelu racinaire en sur-
face très dense.

Activité de la faune très forte : turricules, co-
prolithes, galeries et cavités nombreuses, charbon
de bois, pH eau = 3,7.

Transition nette et ondulée (sables blanchis,
couleur et argile).

- de 6-7 à 70 cm
A₃
- Horizon sec, brun foncé (10 YR, 3/3, humide et 10 YR 4/4, sec) de pénétration de la matière organique, nombreuses taches brun jaune (10 YR*, 4*/4*) et brun gris très foncé (10 YR*, 5*/2*) associées aux racines (pourries) et à l'activité de la faune (galeries remplies de matériaux provenant des horizons sus et sous-jacents), taches arrondies ou allongées de 1 à 3 cm de diamètre à limites peu nettes, peu contrastées, aussi cohérentes. Matière organique non décelable (environ 1%) - texture sablo-argileuse (17% d'argile; 70% de sable) à sable grossier quartzeux ferruginisé. Structure massive nette à éclat anguleux (3 à 5 cm).
- Horizon cohérent sans fente, très poreux: éclats à pores très nombreux fins et larges, tubulaires et intergranulaires sans orientation dominantes. Quelques revêtements organo-argileux peu épais dans les cavités et les canalicules (termitières ou anciennes racines). Matériau à consistance rigide peu cimenté, non plastique, non collant et friable, Racines fines et moyennes à direction oblique, pénétrant les agrégats. Forte activité de la faune (vers de terre, termites, myriapodes). Charbon de bois abondants - pH 4,5 - transition graduelle et régulière (couleur et teneur en argile).
- de 70 à 300cm
et au-delà
B₂
- Horizon frais, brun jaune (10 YR, 4/6, humide; 10 YR 5/6 à sec) tâches humifères brun gris foncé (10 YR*, 3/2*) associées aux racines (pourries) et anciennes galeries, arrondies ou allongées de 1 à 2 cm de diamètre à limites peu nettes, peu contrastées, aussi cohérentes. Apparemment non organique (teneur en matières organiques = 0,5%). Texture sablo-argileuse (25% d'argile et 70% de sables) à sables grossiers quartzeux ferruginisés - Structure massive nette à éclats anguleux grossiers (5 à 10 cm) ;
- Horizon cohérent, très poreux, éclat à pores nombreux fins et larges tubulaires et intergranulaires sans orientation dominante. Rares revêtements organo-argileux associés aux cavités et canalicules Matériau à consistance rigide, non cimenté, non plastique, peu collant, friable, et peu fragile. Racines fines et moyennes, pénétrant les agrégats, à direction oblique ou verticale. Forte activité de la faune (termites, rats). Pas de charbon de bois. pH = 5 - Transition non observée.

Conclusions.

Dans la classification française (AUBERT et SEGALEN ; 1966) il est classé

sol ferrallitique
fortement désaturé
appauvri modal,
fortement pédoturbé par la faune jusqu'à 70 cm.
sur sables tertiaires

Ce sol présente un excellent milieu physique homogène et bien aéré permettant la pénétration à grande profondeur (5 à 10 mètres) des racines. Cependant, du point de vue chimique, il est particulièrement pauvre et sa fertilité est étroitement liée au taux de matières organiques.

CHAPITRE 2 - DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET METHODOLOGIE.

2.1. Description des cases d'érosion.

(voir photos A 1-2 et 3)

La méthode des cases d'érosion consiste à isoler une petite parcelle expérimentale au moyen de tôles fichées en terre afin de matérialiser un bassin versant de surface connue et de mesurer tout ce qui en sort : les eaux de ruissellements ainsi que les particules fines et grossières qu'elles entraînent à la faveur des précipitations atmosphériques. (FOURNIER ; 1954).

A Adiopodoumé (voir DABIN, LENEUF ; 1957), on a isolé 6 (1956), 7 (1957) puis 9 (1970) parcelles de 15 mètres de long et 6 mètres de large (90 m^2) en bordure d'un plateau sur sables tertiaires. Les pentes choisies s'élèvent à 4,5 % - 7 % et 23,3%.

En aval de ces petits bassins versants un canal en béton recueille les terres érodées et les eaux de ruissellement pour les diriger vers une première cuve ($0,25 \text{ m}^3$) où se déposent les particules grossières (sables et agrégats = "les terres de fond"). Cette première cuve (= piège à sédiments) manque dans le système mis en place en 1956/57 (parcelles 1 à 7) et les "terres de fond" se déposent alors dans une seconde cuve qui peut stocker un peu moins de 2 m^3 d'eau. Un partiteur à sept fentes (Note 2), protégé par un double jeu de grillages (pour calmer les flots et retenir les grosses particules organiques flottantes) conduit les eaux et les particules fines en suspension dans une troisième cuve de stockage (2 m^3). Grâce au partiteur, ce dispositif permet de stocker $0,25 + 2 + 14 \text{ m}^3$ soit 180 millimètres. Même si le coefficient de ruissellement atteignait 60% on pourrait donc mesurer le ruissellement produit par une pluie exceptionnelle de 300 mm. de hauteur, chiffre encore jamais atteint à notre connaissance en moins de 48 heures. Tout le dispositif (cuves et canaux) est recouvert d'un toit de tôles en vue d'éviter les erreurs par rebondissement des gouttes (effet splash). Un pluviomètre et un pluviographe à augets donnent les hauteurs et les intensités instantanées des précipitations.

Note 2.1.- Les partiteurs en aluminium à 7 fentes ont été volés en 1965 et remplacés par sept tubes en plastique de 45 mm de diamètre. Ce sont ces derniers qui ont été tarés en février 1973.

A - Détails des cases d'Erosion d'Adiopodoumé



1956

(cl. ORSTOM - Phot. DABIN)



1973

(cl. ORSTOM - Phot. G. PETIOT)



1973

(cl. ORSTOM - Phot. G. PETIOT)

2.2. Les manipulations.

Les précipitations sont mesurées dans un pluviomètre Standard dit "association" muni d'une bague réceptrice de 400 cm² fixée à 1,5 m du sol (P₃) et enregistrées par un pluviographe (P₂) à augets basculant tous les 0,5 mm (CERF) et à mouvement journalier. De plus, on contrôle la fidélité du rapport d'enregistrement en mesurant les eaux de pluie passant à travers le pluviographe (= P₂ seau).

Le ruissellement est la fraction des eaux de pluie qui, ne s'étant pas infiltrée dans le sol, s'écoule au bas de la parcelle expérimentale. Il s'exprime en millimètres ou en % de la hauteur de la pluie.

On l'évalue à partir des mesures de hauteur d'eau dans chacune des cuves à la verticale du milieu des cuves.

L'érosion totale comprend les pertes en suspensions et en terre de fond : elle s'exprime en kg/ha ou en t/ha.

Les particules fines en suspensions ont été évaluées soit au départ d'un échantillon unique de 250 cm³ prélevé au milieu du volume d'eau dans chaque cuve après agitation vigoureuse des eaux, soit au départ d'un échantillon unique intégré de 250 cm³ par cuve composé d'un mélange homogène d'échantillons multiples prélevés systématiquement au cours de la vidange des cuves (tous les 5 seaux par exemple) (depuis 1968).

Ces échantillons sont évaporés à l'étuve (105° C) dans des béchers tarés puis refroidis dans un dessiccateur avant d'être pesés à 0,1 mgr près. La turbidité (ou charge en particules fines des eaux) s'exprime en mgr/litre ou en gr/m³. Dans les essais sur cases d'érosion à Adiopodoumé elle a varié de 50 à 100 mgr/litre pour les parcelles très bien couvertes à 1000 à 10000 mgr/l pour des parcelles nues fort pentues soumises à des pluies très brutales. Les pertes en suspension (kg/ha) s'obtiennent en multipliant le volume ruisselé (en litre/ha) par la turbidité; elles varient de quelques kg à 10 tonnes/ha/an. (coeff. R % = 50 ; P = 2000 m t = 1000 gr/m³).

Les particules grossières (sables, agrégats, etc...) correspondant aux terres de fond (ou "charriage de fond" des sédimentologues) se présentent sous forme de boue (mélange très hétérogène de solide et de liquide) au fond des cuves 1 et 2.

Ces boues sont rassemblées dans des seaux et pesées sur le terrain (à 100 gr près) le jour même. De chaque seau on prélève un échantillon intégré à l'aide d'un tube puis, après avoir malaxé à la main l'ensemble des échantillons on en prélève environ 100 grammes dans une boîte à tare.

Au laboratoire on détermine alors le % de terre sèche par rapport à la terre humide.

Les pertes en terre de fond s'obtiennent en multipliant les terres humides (en kg/ha) par le % de terre sèche.

L'érosion totale est la somme des pertes en suspension et en terre de fond.

En principe, toutes les mesures sont effectuées après chaque pluie mais il arrive que, pour des raisons pratiques, on cumule deux pluies unitaires. (Note 2.2.)

2.3. Précision de la méthode.

2.3.1. Précipitations.

Les écarts observés entre le pluviomètre Standard (P₃), l'enregistrement du pluviographe et la lecture au seau de pluviographe dépassent rarement 3 %. Quant aux variations sur la surface de la clairière où sont installées les parcelles d'érosion, elles ont été mesurées durant un an et jugées négligeables (quelques dixièmes de millimètres également). Cependant lors des fortes intensités le pluviographe enregistre nécessairement des quantités moindres à cause du temps d'inertie des augets basculants : l'erreur est donc variable en fonction des intensités mais toujours peu élevée.

2.3.2. Le ruissellement.

La lecture de hauteur d'eau dans les cuves se fait à la règle graduée au centimètre près : erreur maximum de 1,5 mm car 1 cm = 20 litres x 7 fentes = 140 litres au maximum lors des plus fortes pluies. Il faudrait aussi tenir compte du volume de terre érodée qui augmente le volume ruisselé apparent. Supposons une

Note 2.2. - Par définition (WISCHMEIER, 1958) une pluie unitaire est distincte de sa voisine par une période de plus de 6 heures durant laquelle il pleut moins de 1 millimètre. Elle diffère donc des précipitations journalières des météorologistes qui relèvent les pluies de 8 h. du matin à 8 h. le lendemain.

érosion totale de 100 t/ha/an et une densité réelle de 2,5 de la terre cela correspond à une erreur par excès de 4 mm pour le ruissellement : erreur également négligeable.

Par contre, les erreurs dues aux partiteurs peuvent être importantes (voir courbes de tarage fig. 3.4.2.). Nous n'avons aucune indication sur la précision des partiteurs en aluminium à fentes mais les partiteurs à tuyaux placés en 1965 ont été tarés en février 73 par ASSELINE. Il en ressort que la réponse est variable en fonction du débit d'arrivée d'eau et que pour des débits de l'ordre de 50 litres par minute (les plus probables lors des fortes pluies) l'erreur est de l'ordre de 5 à 12 % par défaut (parcelles 1-4-5 et 6) ou 15 % par excès (parcelle 2) sauf pour P7 qui ne donne que 70 % du 1/7 du débit d'arrivée. Rappelons que ces erreurs dues aux partiteurs n'interviennent que lors des plus fortes pluies lorsque la première cuve déborde ce qui n'arrive que 5 à 10 fois par an sur une trentaine de pluies agressives : on peut donc évaluer ici l'erreur à ± 5 % sur le ruissellement annuel.

2.3.3. La turbidité.

La précision des mesures de la charge solide fine en suspension dans l'eau de ruissellement est assez aléatoire car celle-ci varie à chaque instant à cause de la sédimentation continue des particules et de l'intensité variable et très difficile à standardiser de l'agitation des eaux dans la cuve que l'on vide. De plus, il n'existe pas de discontinuité nette entre les suspensions et la boue des terres de fond (tous deux sont constituées de terre et d'eau) : il y a donc un moment où les suspensions deviennent très chargées et les boues très liquides si bien qu'on hésite à attribuer ces volumes aux suspensions fines ou aux terres de fond. Une amélioration aurait pu être trouvée en laissant sédimenter les boues très liquides pendant 2 ou 3 jours avant de les peser mais cela s'est avéré difficile à Adiopodoumé à cause de la grande fréquence des fortes pluies en mai-juin-juillet. Donc, si on distingue facilement les eaux turbides des parcelles nues à forte pente de celles des parcelles bien couvertes, il ne faut pas en demander beaucoup plus. Ceci n'entraîne cependant pas d'erreur absolue très importante car les pertes en suspension

n'interviennent que pour quelque kg/ha/an à 10 tonnes/ha/an ce qui est peu significatif par rapport aux ordres de variation constatés entre différents traitements (sur pente 23,3 %, l'érosion forêt = 100 kg/ha/an, sol nu = 600 t/ha/an).

2.3.4. Les terres de fond.

La pesée des terres de fond sur le terrain se fait avec une balance peu précise (± 100 gr) mais l'erreur relative (100 gr par rapport à 25/30 kg) ne dépasse pas 0,5 % ; donc elle est négligeable. Une autre source de variation est l'échantillonnage et la détermination du % de terre sèche par rapport à la terre humide. Dès que la boue est déposée dans un récipient il se crée un gradient d'humidité (l'eau étant plus légère remonte en surface). Pour remédier à cet inconvénient on prélève depuis 1968 un échantillon par seau au moyen d'un tube qu'on descend jusqu'au fond du seau (intégration du gradient). Le malaxage de ces échantillons intégrés et les pesées humides et sèches étant faits avec grand soin au laboratoire n'entraîne probablement que de très faibles erreurs. On constate en tous cas que le taux de terre sèche par rapport à la terre humide varie peu (de 0,75 à 0,82 au maximum) dans les conditions expérimentales d'Adiopodoumé, les terres les plus humides provenant des parcelles les plus érodées.

En conclusion, les erreurs de mesure expérimentale cumulées sont telles sur les parcelles d'érosion qu'on ne doit pas chercher à interpréter autrement les variations de moins de 10 %. Par ailleurs il faut souligner les inconvénients majeurs de la méthode :

- l'isolement artificiel d'une parcelle qui, dans la nature, était soumise à la fois à des dépôts en aval et des apports venant d'amont
- et la multiplicité des variables qui interviennent en même temps.

Cette méthode a cependant le grand mérite de donner des ordres de grandeur concernant les effets de tel ou tel facteur, des méthodes de lutte et des dangers à craindre dans les circonstances locales. Encore faut-il répéter les mesures dans le temps (très grandes variations de l'agressivité climatique annuelle) et dans l'espace (réponse particulière de chaque parcelle en fonction de son histoire, ses antécédents cultureux et surtout de la précision de ses dispositifs de partition et de la forme de la pente). D'où l'intérêt de comparer les traitements par couples (qu'on inverse une année après l'autre si on craint des variations inter-parcelles).

CHAPITRE 3 - LES RESULTATS.

Si on compte 40 pluies agressives en moyenne par an, sept parcelles pendant 17 ans et 5 résultats (Note 3.1.) par pluie on atteint 23.800 résultats. Il n'est pas possible de les présenter tous dans ce mémoire : ils ont été exposés et discutés dans les rapports annuels de campagne (voir liste bibliographique). Il ne s'agit pas non plus d'une synthèse bibliographique des travaux parus sur l'érosion. On tentera par contre d'exposer les lignes directrices qui se dégagent des 17 années d'expérimentation à Adiopodoumé et on choisira quelques exemples typiques pour illustrer l'action des principaux facteurs qui modifient l'expression des causes de l'érosion à savoir la couverture végétale, la pente, les façons culturales les précédents culturaux et certaines techniques antiérosives.

Ensuite, on analysera la cause primaire de l'érosion : la pluie et ses caractéristiques.

Rappelons que de 1956 à 59 les observations ont été effectuées par DABIN et LENEUF : de 1960 à 63 par PERRAUD. Ne disposant pas toujours des précisions désirables en ce qui concerne l'état de la végétation et les façons culturales (surtout 1958 et 62-63) nous rapportons ici leurs résultats sous toute réserve et sans pouvoir les analyser aussi finement que les essais que nous avons suivis nous-même.

De plus, jusqu'en 1964, la règle des répétitions dans le temps et dans l'espace n'a pu être respectée. En effet, lorsque ces études d'érosion commencèrent en Côte d'Ivoire, elles furent confiées à des pédologues déjà fort occupés par les problèmes d'extension et de fertilisation des cultures : il leur fallait fournir le plus rapidement possible des ordres de grandeur et des réponses immédiates à de nombreux problèmes de conservation de l'eau et du sol posés par la mise en valeur accélérée du territoire ivoirien.

Il ne faut donc pas s'attendre à une grande précision des résultats mais plutôt y puiser des ordres de grandeur suffisamment parlant par eux-même.

Note 3.1. - Les cinq résultats de base sont : la hauteur de pluie, (mm) l'indice d'agressivité de la pluie, le ruissellement (mm), la turbidité ou charge en particules fines en suspension dans les eaux de ruissellement (gr/m^3) et l'érosion totale (kg/ha).

§ 31. L'influence du couvert végétal et des techniques culturales.

Généralités.

L'agent causal de l'érosion hydrique c'est la pluie ou, plus précisément, l'énergie qu'elle dégage en tombant sur le sol et l'excédent d'eau que ne peut absorber la porosité du sol et qui ruisselle.

Un couvert quelconque sera donc d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une proportion plus importante du sol durant les périodes les plus agressives de l'année et qu'il maintient une bonne porosité. Cependant il est très difficile d'évoquer l'action protectrice d'un couvert végétal sans préciser les techniques culturales (au sens le plus large) utilisées pour l'obtenir. C'est pourquoi nous avons regroupés tous les résultats expérimentaux d'Adiopo-doumé obtenus depuis 1956 dans le tableau 31.1. en vue de fixer les ordres de grandeur des observations en fonction des principaux types de couverts végétaux testés et des techniques culturales qui leur sont associées.

31.1. Le couvert végétal.

De l'ensemble du tableau 31.1. se détachent trois groupes de couverts végétaux.

- 1 / Les couverts qui sont complets toute l'année (forêt, jachère naturelle, prairie de 2e année, culture arbustive avec plante de couverture ou paillage). L'érosion est toujours négligeable (0,01 à 1,5 t/ha) et le ruissellement très faible ($R \% = 0,5$ à 5% en moyenne, 10 à 25 % au max.)
- 2 / Les sols nus ou pratiquement nus durant les mois les plus agressifs (mai à juillet). L'érosion est d'autant plus considérable que la pente est forte (60-138-570 t/ha/an si la pente passe de 4,5- 7 à 20/23 %) et le ruissellement est très important (R moyen = 25 à 40 %, $R_{MAX.} = 87 \%.$)
- 3 / Les couverts incomplets au moins durant une partie de l'année : les cultures vivrières (manioc, igname, arachide, maïs) ou industrielles (ananas) et les plantes fourragères implantées tardivement où à croissance lente.

TABLEAU 31.1. - Erosion et ruissellement à Adiopodoumé en fonction du couvert végétal, des techniques culturales et de la pente.
- 1956 à 1972 -

Couvert végétal et façons culturales		Erosion annuelle t./ha extrêmes	moyennes	Ruiss. annuel moyen %	Ruiss. max. %		
Forêt secondaire (pente 23,3 %)		0,01 à 0,2	0,1	0,7	6 [‡]	(12) [‡]	
Sol nu [‡]	pente {	4,5	34 à 74	57	37	71 (98)	
		7	69 à 150	125	33	66 (87)	
		20-23,3	266 à 622	520	25	65 (73)	
Plante de couverture ou fourragère: (p = 7%) [‡]							
1ère année	{	- plantation hâtive, fort développement dès la 1ère année		0,1 à 1,9	0,5	4	25 (29)
		Pennisetum purpureum, Guatemala grass, Panicum maximum, Cynodon dactylon, Setaria		"	"	"	"
		- Plantation tardive, faible densité, faible développement 1ère année		23 à 89	40	20	62 (87)
		Crotalaria, Flemingia congesta		"	"	"	"
		Mimosa invisa, Panicum maximum, Digitaria umfolozi, Centrosema. Titonia diversifolia, Stylosanthes		"	"	"	"
2ème année	Toutes les plantes de couverture - 2ème année.		0,05 à 0,7	0,3	1	8 (12)	
Jachère naturelle (pente 4,5 %)		-	0,6	8	64		
Caféier, palmier à huile ou cacaoyer (p=7%) [‡]							
- avec une bonne plante de couverture		0,01 à 0,5	0,3	2	8	(16)	
- plante de couverture peu développée		5 à 143	-	30	60	(87)	
- Bananier avec paillis (p = 7 %)		0,04 à 0,05	0,04	0,5	4		
- Ananas	{	-1ère année	- à plat 7 %	8 à 15	12	14	51
			- butté 4,5 %	"	1,5	9	5
		-2ème année	0,1 à 0,3	0,2	3	12	
Manioc et igname (p = 7 %)							
- butté 1er an		22 à 93	32	22	53	(82)	
- butté 2e an		"	2	7	24		
Maïs 20 x 100 cm (p = 7 %)		(35) à 131	92	30	75	(86)	
billonné dans le sens de la pente		"	"	"	"	"	
Arachide 20 x 40 cm (p = 7 %)		59 à 120	82	27	73	(87)	
à plat		"	"	"	"	"	

‡ Le premier chiffre est maximum probable chaque année par pluie unitaire ;
le 2e () = évènement exceptionnel 1/10 ans.

Les phénomènes d'érosion sont intermédiaires mais toujours très dépendant de la précocité et de la densité de plantation, de la pente et des techniques culturales.

On remarquera immédiatement que les cultures vivrières sont parmi les plantes les moins protectrices du sol : l'érosion sous manioc ou igname s'élève de 22 à 93 t/ha/an tandis sous maïs et arachide elle monte de 35 à 131 t/ha. Ceci provient du fait qu'on n'a utilisé aucune technique antiérosive, que les dates de plantation furent tardives et les densités assez faibles vu la pauvreté du sol. En tous cas le couvert n'a atteint 90 % de la surface cultivée qu'après 2 à 5 mois c'est-à-dire après le gros des pluies.

Il n'en va pas de même dans les champs familiaux où on plante souvent après quelques bonnes averses en février/mars et presque toujours en associant plusieurs cultures dont les couverts se complètent et se succèdent dans le temps. En culture intensive cependant on ne peut prendre le risque de devoir recommencer jusqu'à 4 fois les semis si des périodes sèches succèdent aux premiers orages : les plantations se font donc nécessairement relativement tard mais une fertilisation adéquate permettrait d'augmenter les densités.

31.1.1. Dynamique du couvert végétal. (voir fig. C1 à C4)

Du tableau 31.1. il ressort donc que l'érosion et dans une moindre mesure le ruissellement, dépendent pour une large part de la proportion du sol non couverte par la végétation avant les grosses pluies. Il ne s'agit pas seulement de la masse de matière verte produite sur un champ mais plus précisément de la projection verticale ou légèrement oblique du couvert sur le sol (l'angle de chute des grosses pluies est généralement inférieur à 25° sauf lors de certaines tornades où elle peut atteindre 45°) et de l'architecture des plantes (hauteur du feuillage et disposition en gouttière concentrant ou dispersant les gouttes : voir maïs ou ananas et manioc).

Or il existe très peu d'études générales sur la dynamique du couvert et aucune technique, à notre connaissance, valable pour tous les types de végétaux cultivés à part celles

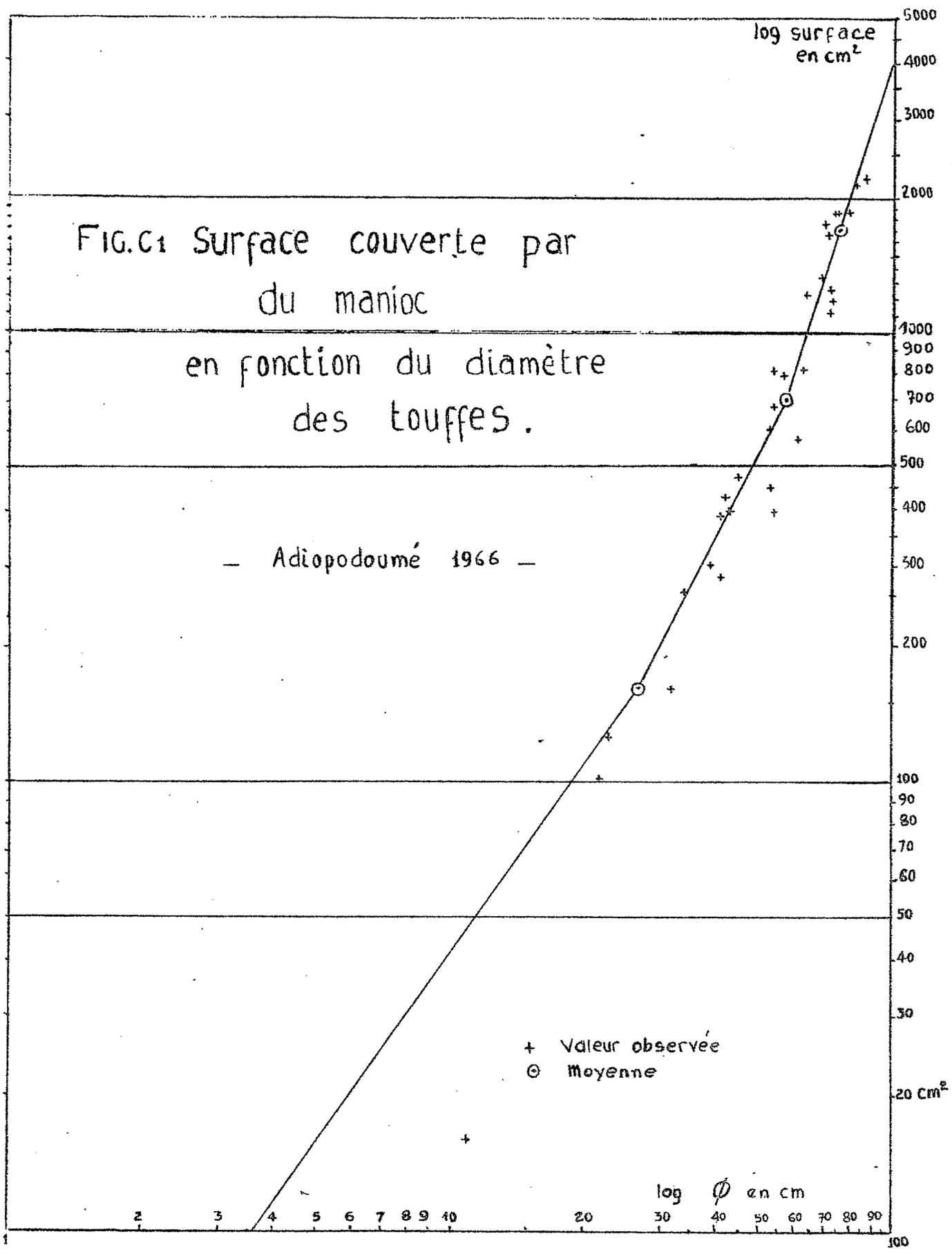


Fig. C2 Evolution du couvert végétal du manioc au cours de l'année.

- Adiopodoumé 1966 -

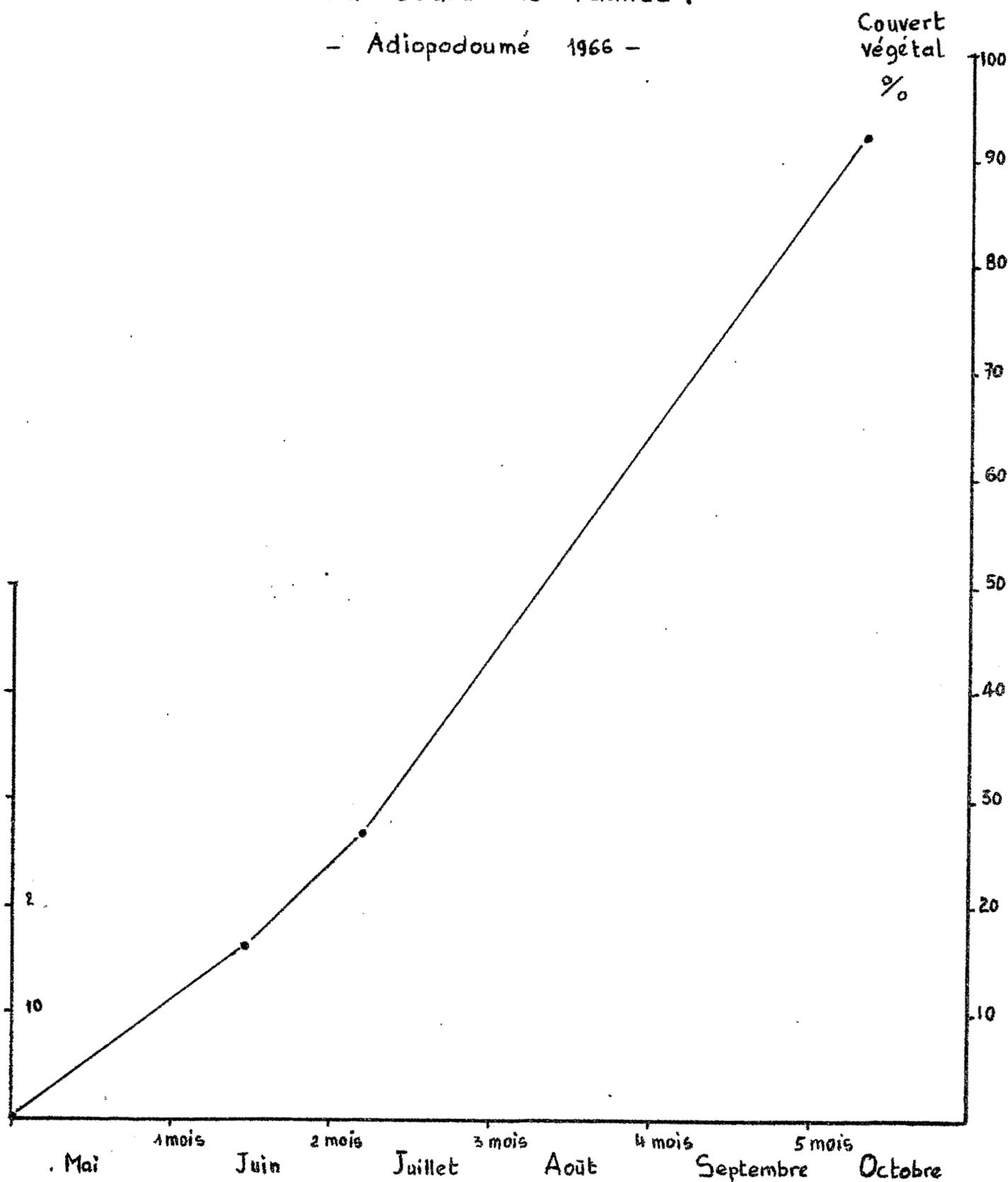


Fig.C3. EVOLUTION DU COUVERT VEGETAL (MAÏS ET ARACHIDE).

— CASES D'ÉROSION - ADIOPODOUMÉ - 1969 —

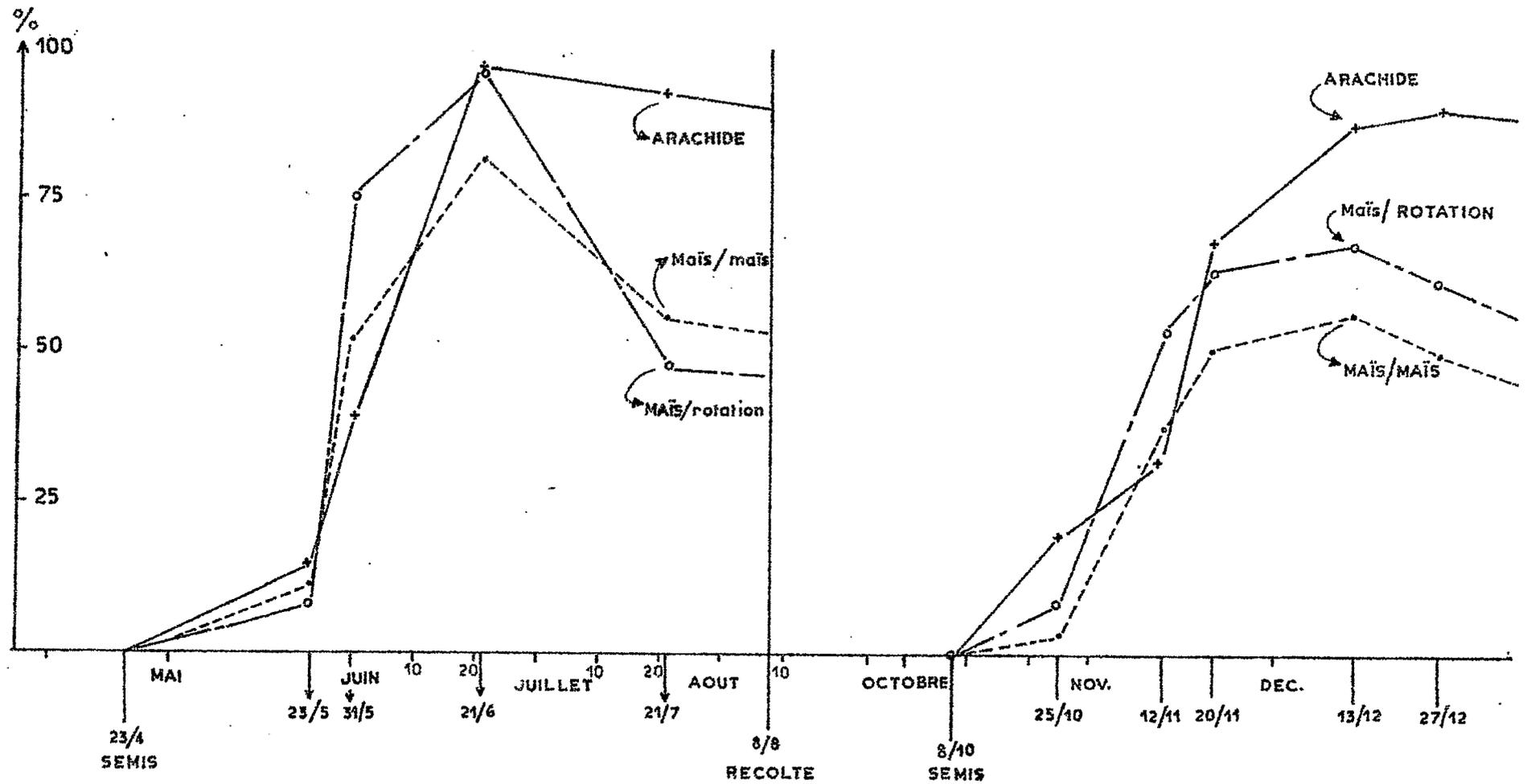
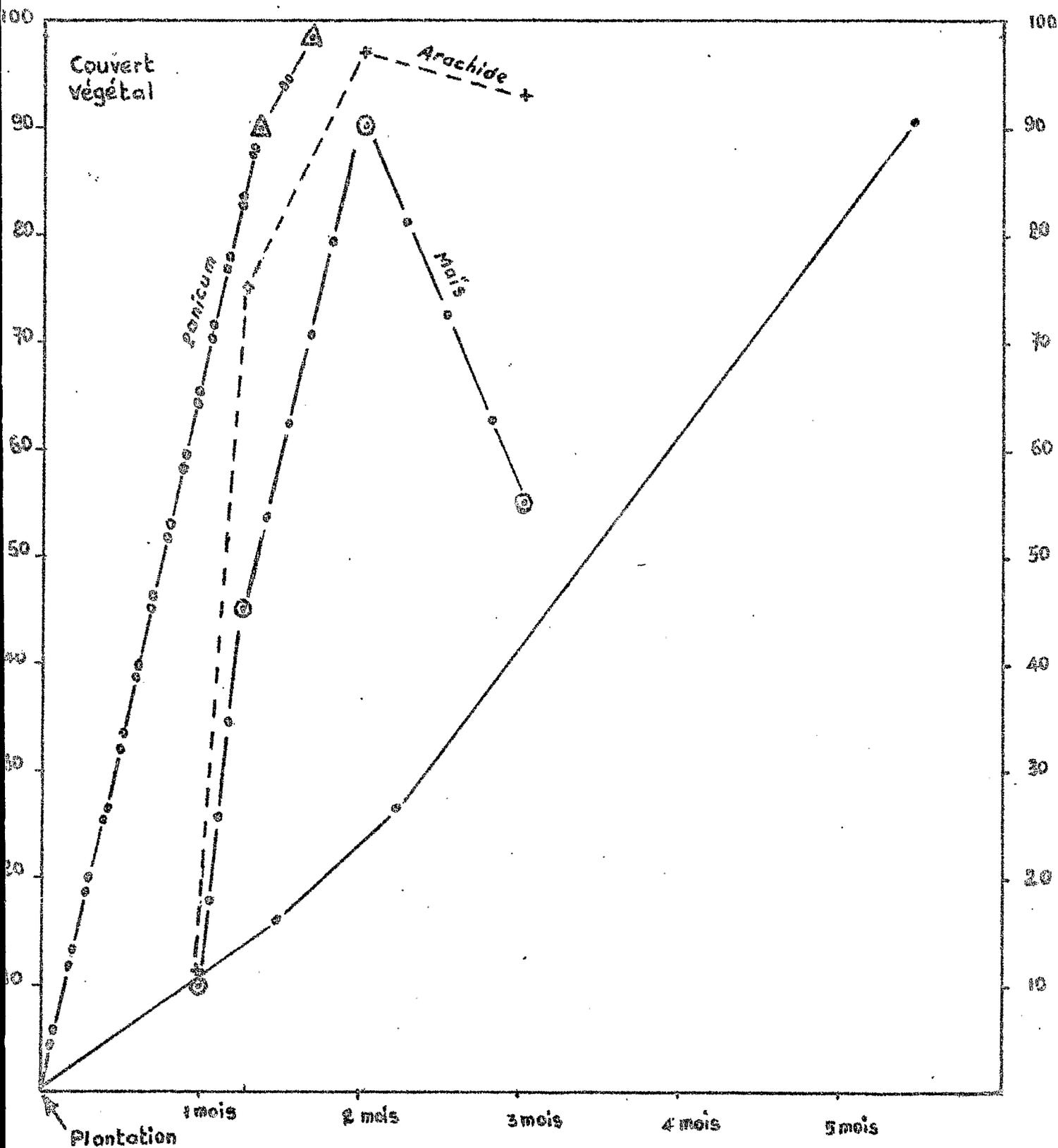


Fig. 24. Evolution du couvert végétal de différentes cultures au cours de l'année.

— Adiopodoumé, cases d'érosion 1966 à 1972 —



qui évaluent l'ensoleillement en-dessous du couvert (MARYNEN, De SLOVER, 1963). Malheureusement ces techniques sont inapplicables durant les mois pluvieux (ceux qui nous intéressent évidemment en 1er chef) car il y est trop rare d'observer des heures ensoleillées entre 11 et 14 heures.

Il a donc fallu chercher des méthodes adaptées à chaque cas précis.

L'arachide est le type même de plante basse qui se développe en rosettes à feuillage dense et dont la surface réellement couverte est très voisine de celle d'un cercle de diamètre correspondant à la moyenne des diamètres maximum et minimum de la touffe. A partir du semis on mesure donc le diamètre moyen de chaque touffe et on calcule la fréquence par classe de diamètre, leur surface puis la surface couverte totale.

Lorsque le feuillage des plants commence à se recouvrir et former des lignes continues, on mesure la largeur des interlignes et finalement on n'évalue plus que les espaces non recouverts (évaluation de formes géométriques simples).

Le maïs est une plante qui croît en hauteur comme une canne, à feuilles longiformes, qui se recouvrent plus ou moins d'un étage à l'autre et qui meurent vers le bas alors qu'elles se développent vers le haut.

Après le semis on a compté le nombre de plantules et mesuré la surface moyenne couverte par une dizaine de plantules.

Après 1 mois on a compté le nombre de feuilles petites, moyennes et grandes et on a évalué leur surface avec précision sur une dizaine d'échantillons de chaque taille.

On a soustrait empiriquement 10 % de la surface pour tenir compte du recouvrement. Il reste le problème de l'interception par les tiges lorsque la pluie tombe obliquement (rare aux parcelles d'Adiopodoumé qui sont protégées du vent par un rideau forestier) et surtout celui des tiges cassées qui traînent par terre et forment des barrages dans les interlignes.

Le manioc croît d'abord en cercle non complètement rempli autour de l'axe de la bouture jusqu'à atteindre 1 à 2 m de hauteur. Ensuite il se dépouille d'une bonne partie de ses feuilles durant la saison sèche et forme des ramifications qui s'enchevêtrent lors des orages ; après 8 à 10 mois la voûte foliaire se trouve

à 1,5 ou 2 mètres du sol sans être parfaitement complète.

Etant donnée l'hétérogénéité du couvert du manioc à l'intérieur d'un même champ il est indispensable de sélectionner un grand échantillon représentatif qui à Adiopodoumé (1966) comprenait les parcelles toutes entières (90 m²). On a donc mesuré le diamètre maximum de chaque touffe depuis la plantation puis on a photographié verticalement 32 touffes de manioc de 11 à 88 cm de diamètre.

Au laboratoire, on a projeté les négatifs et dessiné sur des feuilles blanches le contour des feuilles et des tiges ainsi que celui du cercle circonscrit à la touffe. On a ensuite établi la surface couverte pour chaque diamètre de touffe à partir des pesées du papier représentant la projection du cercle circonscrit et la projection des feuilles et tiges. (voir fig. C1 et C2).

Graminées et plantes de couverture.

Leur couvert étant souvent homogène à la surface d'un champ, on peut procéder à des sondages sur de petites surfaces à l'aide des techniques connues sous le nom de "points quadrats" et qui utilisent des cadres suspendus le long desquels on laisse glisser des aiguilles : chaque choc d'aiguille sur une feuille compte pour une unité couverte et le rapport chocs sur couvert / chocs sur sol nu représente le pourcentage de couverture (FILLONNEAU, 1972).

On n'a pas eu l'occasion de tester cette méthode aux parcelles d'érosion mais on a estimé le diamètre des touffes de *Panicum maximum* et les vides entre les rangs de *Stylosanthes guyanensis*.

TABLEAU 31.2. - Couvert végétal en fonction du temps de croissance.

Culture	"	"	Couvert % après le semis			
			1 mois	2 mois	3 mois	15 mois
Maïs	"	1969	" 9-12/27-45*	80-93/55-68*	45-55/45-57*	-
Arachide	"	1969	" 15/30	97/85	93/90	-
Manioc	"	1966	" 12	25	45	85
Panicum maximum	"	1970-72	" 90	100	100	100
Cynodon aethiopicus	"	1970-72	" 80	95	95	95
Stylosanthes guyanensis	"	1970-72	" 60	90	95	95

* Les chiffres sont dédoublés pour le maïs et l'arachide car leur réaction n'est pas la même au 1er et au 2e cycle de culture en fonction des conditions climatiques (Pluie et ETP).

Les résultats exposés au tableau 31.2. et figures C1 à C4 sont critiquables à la fois à cause du peu de répétitions dans le temps et à cause de la diversité des méthodes et de leur précision. Malgré ces réserves, les différences de vitesse de recouvrement du sol après la plantation sont évidentes : les plantes fourragères (surtout Panicum, Cynodon et les graminées en général) recouvrent beaucoup plus vite le sol que le maïs (peu fertilisé), l'arachide et surtout le manioc.

Le maïs (semé à 40 x 100 cm) demande 2 mois pour atteindre son maximum (60 à 90 %) après quoi ses feuilles inférieures se dessèchent et le couvert redescend à 50 %.

L'arachide (semée à 20 x 40 cm) croît un peu moins vite durant les six premières semaines mais dépasse ensuite le maïs pour atteindre 90 à 95 % de couvert après 2 mois. La diminution de couverture due à la chute des feuilles en période sèche ne dépasse pas 5 %.

Le manioc est très lent : au bout de 2 mois il ne recouvre que le 1/4 de la surface et à peine la moitié au bout de 3 mois. Il lui faut 5 à 6 mois pour protéger entièrement le terrain.

Le Panicum planté par éclat de souche (2 à 3 boutures à la fois) et fertilisé recouvre les 9/10 du terrain en 4 à 5 semaines. En 6 semaines il couvre entièrement le sol jusqu'à la fauche ; après ~~une~~ fauche, 3 à 4 semaines suffisent pour assurer à nouveau une protection parfaite contre l'érosion.

FILLONNEAU (1972) a mesuré par la méthode des points quadrats la vitesse de recouvrement du sol par le Panicum après une fauche. Il trouve que la surface couverte par les touffes après la fauche augmente de 8 à 20 % d'après l'âge de la plantation.

N° Fauche	Age plantation	Surface couverte après		
		3 jours	10 jours	17 jours
1	48 jours	18 %	53 %	75 %
4	194 jours	12 %	33 %	60 %

Si on prolonge la courbe de recouvrement du sol par le Panicum après une fauche on trouve qu'il faut 25 à 28 jours pour que le sol soit entièrement couvert.

Le Cynodon aethiopicus est très rapide également : en 1 mois il a envahi tout l'espace disponible par ses **stolons ram-**pants mais la couverture est peu épaisse : elle n'est complète qu'au bout de 8 semaines.

Le Stylosanthes guyanensis (de même que d'autres légumineuses) est moins rapide car avant de couvrir le sol il pousse un pivot qui dépasse 1,5 m de profondeur.

31.1.2. L'influence de l'architecture des plantes n'est pas toujours négligeable. Si on observe de près l'érosion au pied d'un plant de maïs ou d'ananas on peut observer que les eaux se concentrent le long de la tige déchaussent bien souvent les racines et cisailent le billon en provoquant la naissance d'une rigole ou même d'une ravine.

La forme hémisphérique des plants d'arachide, de Stylosanthes et de Manioc provoque au contraire une dispersion des gouttes interceptées par les feuilles : de plus, les nombreuses

tiges d'arachide et de Stylosanthes sont autant de barrages à l'écoulement des eaux qu'elles freinent et leur grosse racine pivotante semble augmenter l'infiltration.

Le Cynodon aethiopicus et les plantes à stolons par leurs tiges et leurs racines nombreuses en surface forment des barrages extrêmement efficaces (voir tableau 31.3) pour retenir les eaux et les terres : l'utilisation du Cynodon pour stabiliser les talus et les exutoires aménagés est bien connue des conservateurs du sol.

Le Panicum maximum et les graminées en touffes provoquent une concentration des écoulements entre les touffes : ce cheminement préférentiel finit par former des rigoles et laisser les touffes "suspendues" quelques centimètres au-dessus du niveau du sol (ruissellement en filets et forte activité de la faune : vers de terre et termites).

TABLEAU 31.3. - Protection antiérosive de trois plantes fourragères après la fauche.
- Adiopodoumé 1970-72 -

	Pluie		" Cynodon aethiopicus "		" Stylosanthes guyanensis "		" Panicum maximum "		Sol nu	
	Hauteur mm	Agressivité R *	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha
3/11/70	41,5	13,8	3,6	47	19,6	10	0	0	39	1.843
4/11/	Fauche									
5/11/	20,0	4,4	2,3	12	16,6	69	13,3	110	53	1.323
7/11/	22,0	7,3	2,6	2	14,9	87	25,0	175	74	1.111
22/ 9/71	Fauche									
27/ 9/	33,5	18,5	1,9	9	15,2	188	3,3	175	32	1.542
15/ 7/72	Fauche									
17/ 7/	65,0	42,3	3,4	10	6,1	16	21,8	335	77	9.710
Total après fauche	1140,5 mm	72,5	2,8%	33	11 %	360	17	795	62	13.686
Couvert végétal après la fauche	le 17/7/72		60 à 80 %		42 %		8 à 14 %		0	

* L'indice d'agressivité climatique R est défini au § 42. Retenons déjà qu'il tient compte à la fois de l'énergie cinétique des pluies et de leur intensité maximale en trente minutes.

Le tableau 31.3. traduit l'importance de la protection antiérosive qu'offrent le bas des tiges et les racines de trois plantes fourragères après leur fauche.

On constate que :

- la protection offerte par l'ensemble des fourrages, même après la fauche, est considérable par rapport à la parcelle nue : on a réduit le ruissellement de $1/3$ à $1/2$ de ce qu'il est sur sol nu (62,4 %) et l'érosion de $1/17$ à $1/415$ de ce qu'on a mesuré sur parcelle nue (13,7 t/ha) après 5 pluies totalisant 140 millimètres.

La protection est donc plus forte contre l'érosion que contre le ruissellement.

- le Cynodon, grâce à ses stolons et ses nombreuses tiges, est plus efficace que le Stylosanthes planté en ligne et surtout que le Panicum en touffe.

- la protection offerte par le bas des tiges et les racines de ces plantes fourragères est fonction du couvert laissé après la fauche. En effet le sol est presque entièrement couvert après la fauche du Cynodon tandis qu'il ne reste que les lignes de Stylosanthes (= 42 %) et les touffes de Panicum (8 à 14 %. 11 semaines après plantation).

On peut noter au tableau 31.1. que, lorsque le couvert végétal est incomplet, la variabilité des résultats est très importante. C'est une chance pour le conservateur des eaux et du sol car cette variabilité ne provient pas seulement de l'hétérogénéité des pluies et des imperfections de la méthode mais surtout de la façon dont les cultures ont été mises en place et menées jusqu'à la récolte. Le conservateur pourra donc jouer sur les techniques culturales agissant par voie biologique ou mécanique.

31.1.3. La première méthode à appliquer pour conserver l'eau et le sol est la méthode biologique qui joue principalement sur le couvert végétal : il s'agit d'intensifier la production en plantant le plus tôt possible, à forte densité, des variétés à forte croissance bien adaptées à l'écologie régionale, dans un sol fertilisé, bien préparé pour recevoir la semence et correctement protégé sur le plan phytosanitaire.

En effet, le tableau 31.1. fait bien ressortir l'importance de la protection du sol pendant la période la plus agressive c'est-à-dire du 15 mai au 15 juillet. Certaines plantes fourragères par exemple offrent une excellente protection ($E = 0,1$ à 2 t/ha ; $R = 5$ %) si elles sont plantées à bonne densité avant le 1er avril:

si par contre elles sont plantées juste avant la période des grosses pluies elles laissent se développer une érosion (23 à 89 t/ha) et un ruissellement (20 %) très importants.

En 1970, on a planté trois plantes fourragères (Panicum, Cynodon et Stylosanthes) le 5 mai sur trois parcelles de 7 % de pente : les pertes en terre de mai à décembre varient de 20 à 87 t/ha et le ruissellement de 16 à 34 % des précipitations (P = 1239 mm). En 1972, les mêmes parcelles ont été plantées à la même densité après une préparation du sol équivalente mais avec 1 mois d'avance (1er avril) : l'érosion varie de 1,2 à 1,9 t/ha et le ruissellement de 5 à 10 % des précipitations pourtant plus élevées (1389 mm).

Autre exemple d'économie en eau et en terre grâce à une implantation plus hâtive d'une meilleure variété. En 1956, on a observé des pertes en terre de 93 t/ha pour une parcelle de manioc local planté en mai sur buttes après défrichement. En 1964-66, l'érosion n'a pas dépassé 20 à 36 t/ha/an sur les sept parcelles plantées en manioc 1 mois plus tôt en une variété à forte croissance (TABOUCA) après enfouissement de fumier.

La technique du paillage est encore plus efficace puisqu'il suffit de recouvrir le sol de 2 cm de débris végétaux quelconque (2 à 5 t/ha/an) pour réduire l'érosion (40 kg/ha/an) et le ruissellement (0,5 %) aux mêmes ordres de grandeur que sous une forêt secondaire de 30 mètres de haut. En grande culture industrielle (banane) il n'est pas toujours rentable et souvent difficile de se procurer du paillage naturel ; il faut alors veiller à maintenir à la surface du sol le plus possible de déchets de culture ce qui demande parfois une adaptation des techniques culturales (= mulching, cher aux américains). Ceci a été réalisé à la SALCI à Ono où on a fort bien réussi un deuxième cycle d'ananas (75 t/ha de fruits) après girobroyage des plants du cycle précédent mais sans enfouissement : d'où un gain de temps de travaux du tracteur et une protection parfaite contre l'érosion. Cependant c'est dans les petites plantations de brousse que cette technique devrait être appliquée le plus facilement et avec beaucoup de succès car il pousse toujours suffisamment de broussailles autour des champs et ce paillage améliore nettement l'alimentation hydrique et chimique des cultures.

En culture arbustive l'implantation d'une bonne plante de couverture résout généralement les problèmes d'érosion (voir café, palmier, cacao et hévéa).

TABLEAU 31.4. - Influence du développement du couvert d'une plante de couverture sous des cultures arbustives sur la protection antiérosive du sol.
Pente 7 % - Adiopodoumé 1961 et 1962 -

Couverture végétale	Développement de la plante de couverture	E t/ha/an	R Moy. %	R Max. %
1961 : Pluies 2289 mm				
P ₁ caféier + couverture Flemingia	bon	0,4	2,6	8
P ₂ Palmier + couverture Centrosema	presque nul	143,2	2,1	87
P ₅ Caféier + couverture Stylosanthes	lent	5,2	1,8	75
1962 : Pluies 2773 mm				
P ₁ Caféier + Flemingia 2d an	complet	0,05	0,7	2
P ₂ Palmier + Centrosema 2d an	moyen	0,08	1,4	4

Enfin l'alternance dans le temps (rotation) et dans l'espace de cultures qui protègent mal le sol (maïs, arachide, tabac, manioc, igname) et de prairie temporaire ou permanente (ou de bandes d'arrêt) permet de réduire l'érosion à l'échelle du bassin versant.

31.2. Le travail du sol.

On peut ensuite penser aux méthodes mécaniques de lutte antiérosive : il s'agit d'augmenter la porosité du sol, sa perméabilité et sa surface d'infiltration (labour, buttage, billonnage) et de freiner ou d'annuler la vitesse du ruissellement (culture et billonnage en courbe de niveau) en vue de favoriser l'infiltration.

31.2.1. Le labour profond.

Des travaux antérieurs (BIROT, GALABERT, ROOSE, ARRIVETS, 1968) ont montré que le travail du sol diminue temporairement le ruissellement et l'érosion mais augmente la détachabilité et donc, à long terme, les risques d'érosion. Qu'il nous suffise de donner ici l'exemple suivant concernant l'effet du travail du sol à la houe.

TABLEAU 31.5. - Effet d'un labour à la houe sur les phénomènes d'érosion sur une pente de 7 %.

Août à décembre 1957 : pluies = 605 mm		E (t/ha)	R %	R % max.
P ₃	Sol nu, tassé, à plat	15,3	27	54
P ₂	Sol nu, labouré sur 15/20 cm à la daba, à plat	26,6	11	48

On constate au tableau 31.5. une augmentation de l'érosion et une diminution du ruissellement sur des parcelles nues. En effet, le labour augmente temporairement la porosité du matériau mais diminue sa cohésion.

Par ailleurs, on peut tirer quelques enseignements de l'observation des réactions de parcelles labourées nues à l'agressivité des pluies avant et après labour suivi d'un planage (pulvérisation des mottes de la surface).

Au tableau 31.6. ont été réunis les résultats des observations des phénomènes d'érosion des pluies encadrant la date de labour (9-4-71) de trois parcelles nues de pente 4,5 - 7 et 20 %.

Le ruissellement s'est arrêté durant 3 semaines où il a plu 87 mm. Il redémarre ensuite brutalement sur faible pente une fois la surface lissée, mais beaucoup plus progressivement sur forte pente. L'action du labour s'est fait ressentir durant 50 jours (170 mm).

L'érosion n'est guère mesurable tant que le ruissellement ne redémarre pas. Il est cependant évident qu'elle joue sur de courtes distances puisque la surface, de motteuse et ouverte au départ, devient lisse et fermée au bout de 4 à 6 semaines (87 mm) par arrachage des particules sur les mottes et sédimentation dans les parties basses.

Sur faible pente (4,5 %), l'érosion redémarre brutalement et reste à son niveau moyen (0,6 à 2,4 t/ha par pluie de 35 mm). Sur forte pente (20 %) les transports solides augmentent progressivement avec le ruissellement. Au bout de 50 jours l'érosion atteint un niveau exceptionnellement élevé (23 t/ha pour 35 mm) puis diminue au bout de deux mois suite au tassement et à l'en-

TABLEAU 31.6. - Evolution du ruissellement (%), de l'érosion (Kg/ha) et de la turbidité (gr/m³) sur des parcelles nues.

Influence d'un labour (à 15 cm) et de la pente.

- Adiopodoumé ; Campagne 1971 -

Pente	P l u i e s		Ruissellement %			Erosion kg/ha			Turbidité gr/m ³		
	Hauteur mm	Erosivité R	4,5 %	7 %	20 %	4,5 %	7 %	20 %	4,5 %	7 %	20 %
30/ 3/1971	31,0	30,5	79,3	64,1	44,2	2.494	4.793	30.824	273	664	1.225
6/ 4/	36,0	17,4	48,7	53,6	12,1	1.003	2.250	4.795	23	47	110
9/ 4/	labour pris-planage de toutes les parcelles pour le 13/ 4/										
10/ 4/	37,0	16,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19/ 4/	5,5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22/ 4/	12,5	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26/ 4/	5,5	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3/ 5/	27,0	12,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4/ 5/	17,0	8,1	37,8	15,5	3,3	946	145	383	0	0	0
10/ 5/	17,5	1,0	31,6	17,6	2,7	543	549	379	4.281	5.502	8.562
15/ 5/	24,0	12,2	37,8	20,3	6,4	878	676	2.316	1.492	1.796	4.320
21/ 5/	23,5	10,8	53,8	30,1	6,3	989	859	2.031	626	2.719	2.467
29/ 5/	35,0	17,3	46,9	34,8	15,2	1.708	3.074	23.278	678	1.483	3.992
									810	784	968

croûtement (E de 0,7 à 4,9 t/ha pour des pluies de l'ordre de 30 mm).

Il semble que les effets du labour sur forte pente se fait sentir plus longtemps que sur faible pente mais à la reprise, l'érosion redevient plus intense en relation avec l'énergie élevée du ruissellement (voir les travaux de ZINGG, 1940).

La turbidité.

C'est la charge solide fine (exprimée en gr/m³) en suspension dans l'eau. L'étude des suspensions et de la turbidité est comprise dans les résultats globaux mais il est intéressant ici d'analyser séparément les composantes de l'érosion qui sont en relation avec le travail du sol.

La turbidité est faible durant la saison sèche (sols encroûtés) ; elle augmente brutalement lors des premières pluies ruisselantes après labour (10 à 100 fois plus fortes) puis décroît lentement à mesure que se reforme une surface lisse et encroûtée.

L'influence du labour est encore sensible 50 jours après le labour.

TABLEAU 31.7. - Durée de l'effet d'un labour suivi d'un planage sur les phénomènes d'érosion.

Date du labour	Arrêt total		Influence modératrice		
	Durée jours	Hauteur pluie mm	Durée	Pluie hauteur en mm	
1968	24/ 4/68	10	66	26	160
	24/ 9/68	9	46	34	190
1969	21/ 4/	21	81	21	121
	8/ 8/	60	77	80	179
1970	30/ 4/	0	-	22	127
1971	13/ 4/	21	87	p = 4,5% 21	87
	"	"	"	p = 20 % 45	187
1972	28/ 3/	29	51	29	51

En résumé (voir tableau 31.7.) un labour à la houe sur 15 à 20 cm surtout s'il laisse la surface motteuse peut absorber des pluies totalisant 45 à 80 mm et son action sur l'érosion et le ruissellement peut se faire sentir durant 3 à 5 semaines (51 à 190 mm) sur parcelle nue.

Ces résultats obtenus sur parcelles nues et sols sableux semblent défavorables à l'usage du labour puisque les bénéfices qu'on en tire ne durent qu'un mois et qu'au bout de l'année, les pertes en terre sont plus importantes que si on avait laissé le sol tassé.

En fait, il ne faut pas oublier l'interaction qui joue entre les effets du labour sur le sol (amélioration de la porosité) et la croissance des plantes (meilleur enracinement = meilleure couverture végétale). En fin de compte, l'avantage du labour ou du non-labour au bout de l'année en ce qui concerne la conservation de l'eau et du sol dépend dans une large mesure du type de sol (perméable ou non), de la pente, de la couverture végétale, de la date relative du labour par rapport aux grosses pluies de l'année ainsi que de la qualité du labour.

Le travail du sol est un mal nécessaire au développement des racines : il faudrait éviter d'en abuser en zone tropicale humide. C'est d'ailleurs un des thèmes principaux de la recherche américaine en conservation des sols que l'influence sur l'érosion et les rendements du "minimum tillage" et du "zéro tillage".

31.2.2. Travail superficiel. (Sarclo-binage).

On peut constater aux tableaux 31.8. et 31.8' que les effets d'un sarclo-binage sur des sols nus sont semblables à ceux d'un labour mais encore plus temporairement profitables. Suite à un grattage superficiel, le sol ne peut absorber qu'une pluie peu agressive de 10 à 30 mm et limiter l'érosion durant un à huit jours ; ensuite l'érosion dépasse celle du témoin.

Quant à la turbidité, elle est nettement plus forte dès les premiers écoulements de ruissellement et diminue pendant 2 à 3 semaines pendant lesquelles le sol s'encroûte.

En fin d'année on constate parfois un ruissellement plus faible (+ 10 %) mais toujours des pertes en terre et des turbidités plus élevées (10 à 30 %).

En conclusion, si le travail superficiel du sol peut rendre des services pour améliorer le bilan hydrique en période relativement sèche, c'est une pratique dangereuse pour la structure du sol qu'il faut éviter en pleine saison des pluies.

TABLEAU 31.8. - Trois exemples de l'influence d'un sarclo-binage (travail à la houe sur 3 à 5 cm) mensuel sur l'érosion, le ruissellement et la turbidité des eaux. - Adiopodoumé, cases d'érosion, 1969 -

Date	Pluie	"Ruissellement %"		"Erosion totale kg/ha"		"Turbidité gr/m ³ "	
		P ₂	P ₃	P ₂	P ₃	P ₂	P ₃
19/ 5/69	36,5 mm	31,0	41,9	2.144	3.631	655	1.106
21/ 5/	0	"Sarclo-binage en P ₃ et rien en P ₂ "					
26/ 5/	30,0 mm	2,2	0	20	0	938	0
5/ 6/	25,5 mm	21,7	19,9	1.665	2.819	2.140	13.855
7/ 6/	83,5 mm	45,0	45,0	12.304	14.151	596	778
23-24/ 6/	131,5 mm	61,7	59,3	8.758	8.304	2.113	1.661
24/ 6/ 12 heures	0	"Sarclo-binage en P ₃ et rien en P ₂ "					
25/ 6/	12,0 mm	42,3	0	523	0	514	0
4-5/ 7/	161,5 mm	65,7	60,8	26.099	22.101	1.027	1.558
10-11/ 7/	147 mm	86,9	77,4	17.518	16.883	1.320	2.267
12/ 7/	33,5 mm	32,4	35,7	2.750	4.662	1.259	1.650
24/10/	25,5 mm	31,3	46,1	2.521	3.355	1.181	2.183
27/10/	0	"Sarclo-binage en P ₃ et rien en P ₂ "					
28/10/	29,5	24,0	11,2	1.072	774	1.478	8.982
10/11/	22,0	27,1	36,2	1.056	2.038	872	3.776
13/11/	25,0	21,2	28,3	720	1.236	883	1.253
Total							
1/5 au 31/7/	1.214 mm	41,8%	45,7%	111,9 t/ha	119,3 t/ha	-	-
Total							
1/8 au 31/12/	424 mm	23,6%	25,1%	22,6 t/ha	27,7 t/ha		

TABLEAU 31.8'. - Exemples de l'influence du sarclo-binage bimensuel en P3 (travail à la houe sur 3 à 5 cm) sur le ruissellement (%), l'érosion (kg/ha) et la turbidité des eaux (gr/m³).

- Adiopodoumé, cases érosion 1968 -

Date	Pluie mm	Ruissellement		Erosion totale		Turbidité	
		%		kg/ha		gr/m ³	
		P1	P3	P1	P3	P1	P3
15/ 5/68	23,5	0,2	11,2	1	994	734	174
20/ 5/	38,0	44,9	51,7	3.620	6.424	956	431
21/ 5/	0	Sarclo-binage en P3 et rien en P1					
24/ 5/	15,0	8,7	0	6	0	460	-
25/ 5/	29,0	14,5	0	221	0	245	-
1-2/ 6/	31,0	22,1	0,4	83	4	191	4.042
6/ 6/	-	Sarclo-binage en P3 et rien en P1					
9/ 6/	68,5	28,7	3,5	4.265	196	248	933
15/ 6/	27,0	18,0	5,7	6	3	133	204
22-23/ 6/	59,0	49,8	33,7	2.510	2.672	164	820
24/ 6/	85,0	78,5	77,1	7.976	11.735	659	1.103
25/ 6/	19,0	57,2	44,3	1.260	1.950	406	957
26/ 6/	-	Sarclo-binage en P3 et rien en P1					
28/ 6/	51,0	59,2	17,4	4.003	1.834	242	1.967
29/ 6/	17,0	26,0	3,9	7	43	167	6.403
1/ 7/	25,0	92,7	53,2	2.207	2.992	793	3.297
5/ 7/	29,0	55,1	29,0	1.256	1.965	484	2.911
6/ 7/	-	Sarclo-binage en P3 et rien en P1					
9/ 7/	114,0	55,8	18,0	4.804	4.014	569	863
14-15/ 7/	65,0	50,0	35,9	1.662	6.313	456	3.569
17/ 7/	31,0	62,3	34,3	726	2.880	542	2.737
21/ 7/	60,0	72,3	60,0	1.832	1.111	303	3.534
23/ 7/	-	Sarclo-binage en P3 et rien en P1					
30-31/ 7/	60,0	27,4	0	125	0	499	0
23/10/68	22,0	15,0	22,1	1.333	3.507	10.172	2.875
25/10/	-	Sarclo-binage en P3 et rien en P1					
28/10/	7,0	17,1	0	234	0	5.631	-
29-30/10/	39,5	20,7	7,3	2.273	1.781	1.981	7.790
8/11/	25,0	41,7	48,8	3.899	4.840	913	957
Total 1/5/68 au 31/7/	997 mm	43,0	25,5	38.114	47.059	491	1.843
Total 1/8 au 31/12/68	769,5 mm	24,1	13,4	21.713	30.626	1.303	2.049

31.2.3. Le buttage et le billonnage.

Ce sont des techniques courantes en Afrique pour assurer le bon développement des racines (igname) mais ce sont des pratiques dangereuses car si, théoriquement, elles augmentent la surface d'infiltration du sol (donc en principe diminuent le ruissellement) elles augmentent également la pente moyenne du terrain et donc l'érosion (qui croît de façon exponentielle avec la pente).

- Effet d'un buttage sur un sol presque nu.

- Pente de 7 % - Adiopodoumé, 1956 -

! Mai à Août 1956 ; pluies = 1.534 mm	! E t/ha	! R Moy. %	! R Max. %
! P ₂ ! Manioc planté tardivement = presque sol nu sur butte	! 89,6	! 26,6	! 48
! P ₃ ! Sol nu à plat	! 79,0	! 28,2	! 52

D'autres essais temporaires (campagnes 1967 à 69) suggèrent une légère baisse du ruissellement et une augmentation de l'érosion et de la turbidité sur un sol billonné recouvert de maïs mais ces phénomènes n'apparaissent pas toujours clairement.

Notons qu'il serait facile de réduire les pertes en terre et en eau des cultures sur buttes et billons en les cloisonnant et/ou en les paillant.

L'effet d'un labour isohypse et surtout d'un billonnage isohypse est difficile à tester sur des parcelles d'érosion d'aussi petite dimension. Cependant il est reconnu par de nombreux auteurs que le travail du sol suivant les courbes de niveau réduit considérablement les risques d'érosion (voir § 44).

TABLEAU 31.9. - Effet d'un billonnage cloisonné isohypse.

! 1956 à 1958	! E t/ha	! R Moy. %	! R Max. %
! Ananas à plat isohypse	! 1er an " 8,6-15,5	! 17	! 51
	! 2e an " 0,2	! 1	! 5
! Ananas billonné cloisonné isohypse	! 1er an " 1,6	! 1	! 2
	! 2e an " 0	! 0,2	! 1

Il ne faut cependant pas oublier que la lame d'eau retenue par des billons isohypses diminue avec la pente et par conséquent que les risques de rupture en chaîne de billons le long des versants augmentent d'autant. Il est donc indispensable de cloisonner les billons (rétention des sables sur place) et de prévoir un écoulement des excès dans des exutoires aménagés.

3.13. Conclusions sur le couvert végétal et les façons culturales.

- Quelles que soient la pente, les techniques culturales et l'agressivité climatique, un couvert végétal complet, (peu importe sa nature botanique pourvu qu'il soit complet) assure une excellente conservation de l'eau et du sol : son influence prime celle de tous les autres facteurs. (voir forêt ou paillage : $E = 0,1 \text{ t/ha}$ et $R \leq 1 \%$). C'est donc aux méthodes biologiques qu'il faut s'adresser en priorité pour l'aménagement rationnel du territoire avant de penser aux techniques culturales et aux aménagements antiérosifs classiques souvent hors de prix, difficiles à entretenir et d'efficacité discutable.

- Si le couvert est incomplet, c'est le gradient de la pente qui influence ensuite le plus le niveau d'érosion ($E_{\text{sol nu}} = 60 - 138 - 570 \text{ t/ha}$ pour des pentes de 4,5 - 7 et 23 %) mais pas nécessairement le ruissellement (R annuel moyen = 37 - 33 - 25 % pour les mêmes pentes).

- Les techniques culturales de type mécanique ne sont bien souvent que des moyens de réduire temporairement les risques d'érosion dans des proportions variables lorsqu'on ne peut les éviter. Dans bien des cas, le travail diminue le ruissellement par rapport à un sol nu tassé mais augmente la détachabilité du sol donc son érodibilité. Cependant son influence sur les rendements des cultures et sur la vitesse de croissance du couvert végétal est telle qu'il peut réduire, en fin de compte, les pertes en terre et en eau de façon non négligeable. Il faut noter par ailleurs, qu'un effort sérieux reste à faire pour

mettre au point des techniques culturales rentables réellement adaptées aux cultures et à l'écologie particulière (climat - sol - plante) de cette région tropicale humide.

Aux Etats-Unis où la mécanisation de l'agriculture a été poussée au maximum il semble qu'on cherche maintenant à réduire le nombre de passage des engins (minimum et zéro tillage) au strict minimum pour limiter la destruction de la microstructure du sol.

En région tropicale sèche, (CHARREAU, NICOU, 1972) où il manque d'eau en début de saison et où les sols sont riches en sables fins et limons (donc battant) et pauvres en matières organiques, le labour profond semble indispensable pour assurer un développement correct du système racinaire des plantes cultivées.

En région tropicale très humide, le mulching (à partir des déchets de culture) résoudrait de façon élégante les problèmes d'érosion mais la question reste posée de savoir si l'enracinement des plantes cultivées pourra être satisfaisant alors que les pluies diluviennes tassent passablement le sol.

§ 32. Quelques techniques antiérosives.

Par techniques antiérosives il faut entendre les techniques mises au point en vue d'arrêter ou de diminuer les phénomènes d'érosion. Nous renvoyons au § 31. l'analyse des façons culturales qui visent d'abord l'alimentation hydrique ou minérale des plantes cultivées (ex. effet du labour sur le développement racinaire et indirectement sur l'érosion grâce à la meilleure croissance du couvert qui en découle).

Il sera question ici de deux méthodes de lutte antiérosive dont l'étude est concevable en petite parcelle expérimentale : les bandes d'arrêt et un mulch synthétique.

32.1. Les bandes d'arrêt.

32.1.1. Méthode.

La méthode des bandes d'arrêt ou encore des bandes antiérosives consiste à alterner des champs cultivés en bandes (20 à 30 mètres) selon les courbes de niveau avec des bandes étroites (2 à 10 mètres) de végétation permanente herbacée (naturelle ou introduite). On peut observer en effet que si un pâturage limite en aval un champ cultivé, le ruissellement et l'érosion provenant de la surface cultivée sont généralement stoppés en quelques mètres par la végétation permanente. Le paysage se transforme alors rapidement en une succession de bandes cultivées (20 à 30 mètres) de faible pente et de ressauts protégés par des herbages permanents.

32.1.2. Essais à Adiopodoumé.

A Adiopodoumé on a testé en 1964 l'aptitude de bandes d'arrêt de 1-2 et 3 mètres de large plantées en *Digitaria umfolozi* (mêlé ou non à du *Flemingia congesta*), à maîtriser l'érosion et le ruissellement provenant d'un champ de manioc sur buttes (80 x 80) de 90 m² sur 6 parcelles de 4,5 à 7 % de pente.

En 1965, on a modifié légèrement la largeur (0-2 et 4 m) des bandes d'arrêt tout en laissant la végétation naturelle s'y développer.

TABLEAU 32.1. - Ruissellement et érosion aux parcelles d'Adiopodoumé : Campagnes 1964 et 1965.

- Effets des bandes antiérosives -

1964 - Pluie = 1.647,3 mm		Manioc sur buttes en quinconce + bandes d'arrêt pente 4,5 à 7 %						Forêt 2aire
Largeur des bandes		1 mètre		2 mètres		3 mètres		-
N° Parcelle		P1	P7	P3	P5	P4	P2	
Végétation sur les bandes		Digitaria	Dig. + Flem.	Digitaria	Dig. + Flem.	Digitaria	Dig. + Flem.	
Ruissellement moyen annuel	%	14,7	13,7	14,1	15,1	16,5	14,8	0,66
Ruissellement maximal	%	44	31	50	51	61	46	5
Erosion	t/ha/an	19,5	3,2	22,3	13,9	39,6	32,1	0,065
Suspension/E. totale	%	7	47	6	10	7	3	100
=====								
1965 - Pluie = 2.299,2 mm		Manioc sur buttes en quinconce + bandes d'arrêt						Forêt 2aire
Largeur des bandes		0 mètre		2 mètres		4 mètres		-
N° Parcelle		P1	P7	P3	P5	P4	P2	
Végétation dominante sur les bandes		-	-	Digitaria	Flemingia	Digitaria	Pue raria	
Ruissellement moyen annuel	%	23,0	10,1	15,0	8,3	9,0	6,2	0,8
Ruissellement maximal	%	62	43	51	30	34	30	9
Erosion	t/ha/an	36,0	1,8	12,1	0,9	2,7	1,8	0,284
Suspension/Erosion totale	%	18	93	38	90	55	44	100

32.1.3. Résultats.

Au tableau 32.1. sont résumés les résultats annuels d'érosion et de ruissellement. On constate que :

- 1/ en 1964, les bandes antiérosives n'étant pas encore bien implantées lorsque sont advenues les grosses pluies (1065 mm en mai et juin), l'érosion et le ruissellement sont d'autant plus importants que les bandes sont larges.
- 2/ en 1965 par contre, année à pluies abondantes mais plus tardives (1390 mm en juin et juillet), les bandes étant envahies par la végétation herbacée ont réduit considérablement l'érosion (100 % pour le témoin, 30 et 9 % pour les bandes de 2 et 4 mètres de large) et dans une moindre mesure le ruissellement (100 %, 63 % et 36 %).
- 3/ cette action conservatrice du sol et de l'eau augmente avec la largeur des bandes : 4 mètres ne semblent pas suffir pour éponger les pluies supérieures à 90 mm.
- 4/ la nature botanique de la couverture végétale des bandes d'arrêt n'est pas indifférente : les légumineuses à système racinaire pivotant et profond semblent augmenter le pouvoir absorbant des bandes par rapport aux petites graminées et adventices diverses.

Plante dominante en 1965	Flemingia, Pueraria et divers	Digitaria, Graminées et divers	Pas de bande d'arrêt
Parcelles	2 et 5	3 et 4	1 et 7
R moyen %	7,3	12	16,5
R maximum %	30	51	63
E t/ha	1,4	7,4	18,9

- 5/ lorsque le ruissellement et l'érosion diminuent, la fraction des particules fines érodées augmente par rapport à l'érosion totale si bien qu'on accélère les phénomènes d'appauvrissement en argile de l'horizon superficiel du sol : on voit apparaître un mulch sableux de quelques millimètres d'épaisseur à la surface du sol.

6 l'influence de la pente est complètement masquée par celle du couvert végétal :

Couvert	Pente	Année	Erosion (t/ha)	Ruissellement %
Forêt	23 %	64	0,065	0,7
		65	0,284	0,8
Manioc + bandes d'arrêt	4,5 à 7 %	64	3,2 à 39,6	13,7 à 16,5
		65	0,9 à 36,0	6,2 à 23,0

7 la variabilité interparcellaire est forte et risque de fausser certains résultats : son étude fait l'objet de la campagne 1966. (voir § 34.)

Nous pouvons cependant retenir les conclusions sur l'efficacité remarquable des bandes antiérosives puisqu'elle a été confirmées (ROOSE, BERTRAND ; 1971) par les essais de Bouaké (IRAT/CI : 1965/66) et ALLOKOTO (CTFT/Niger : 1966-68).

32.1.4. Mécanismes d'action.

Les bandes d'arrêt se comportent comme une éponge vis-à-vis du ruissellement et un peigne vis-à-vis des terres érodées provenant des champs cultivés en amont.

Elles n'empêchent pas directement l'érosion en amont (sauf à long terme en diminuant la pente du champ cultivé) mais tendent à diminuer ses dégâts en aval.

La végétation recouvrant entièrement le sol empêche tout départ de terre et d'eau sur la bande d'arrêt elle-même. L'abondance du chevelu radiculaire en surface et son extension en profondeur y maintiennent une porosité et une perméabilité nettement supérieures à celles du champ voisin. Ceci lui permet d'absorber les eaux de ruissellement provenant des terres cultivées en amont jusqu'à ce que tout l'horizon poreux soit saturé. La bande éponge ainsi les eaux de ruissellement lors des pluies de hauteur moyenne (30 mm) ; au-delà de 90 mm de pluie, la bande étant gorgée ne peut plus absorber l'eau excédentaire. On peut améliorer le pouvoir absorbant des bandes d'arrêt en approfondissant les horizons d'exploitation du sol par les racines (légumineuses à racines pivotantes et grandes graminées).

L'abondance du chevelu radiculaire superficiel et des tiges aériennes (intérêt de bon nombre de graminées) sur la bande enherbée freine l'écoulement des eaux de ruissellement diminue son énergie cinétique, sa capacité de transport et sa compétence (taille maximale des particules transportées) et provoque le dépôt des éléments érodés les plus grossiers. D'où le maintien d'une excellente porosité et la formation d'une petite terrasse (15 cm. de dénivellée en 2 ans).

La forêt intercepte remarquablement l'énergie des gouttes de pluie, retarde l'afflux d'eau au sol et lui conserve une excellente porosité : elle protège le sol et conserve l'eau sous elle-même. Mais elle est mal armée pour arrêter les phénomènes d'érosion provenant de l'amont. En effet un couvert herbacé développant un abondant chevelu radiculaire superficiel et de très nombreuses tiges au niveau du sol est bien mieux adapté qu'un couvert arboré à freiner le ruissellement et intercepter les terres érodées en amont.

32.2. Le mulching.

32.2.1. Problème posé.

Nous avons vu antérieurement § 31.1. (tableau 31.1.) qu'une couverture morte (paillage) pouvait avantageusement remplacer une couverture vivante (culture ou plante de couverture) en ce qui concerne la conservation de l'eau et du sol. En 1960 et 1961 par exemple sur une parcelle (P4) couverte de 2 lignes de bananiers paillés on a mesuré des pertes en terre de 30 à 40 kg/ha et des ruissellements annuels moyens de 0,5 %.

En culture industrielle il n'est pas toujours possible de se procurer la masse de matière verte nécessaire de façon économique. Par contre on peut laisser à la surface du sol le maximum de déchets de cultures pour protéger le sol entre 2 cultures et au début de la 2ème culture. Cette technique, très en vogue aux Etats-Unis, demande cependant une adaptation des techniques et des instruments pour travailler le sol sans déranger le mulch.

D'où l'idée d'essayer un mulch artificiel susceptible d'être installé facilement avec du matériel de pulvérisation existant dans bon nombre d'exploitations industrielles. Il s'agit d'un mulch plastique dénommé Curasol par son producteur (Hoechst)

dérivé d'un acétate de polyvinyl. Il est présenté en fûts de 60 litres sous forme d'un liquide visqueux blanchâtre que l'on dilue dans l'eau (dose 40 à 120 gr/litre/m²).

A Adiopodoumé, nous l'avons répandu sur le sol labouré (et planté) à une dose unique de 60 gr/litre d'eau/m² de sol. Il forme une croûte souple de 1 à 2 mm d'épaisseur qui protège le sol contre l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Nous avons testé ce traitement sur trois couples de parcelles d'érosion soumises ou non à l'épandage du Curasol immédiatement après le labour, le planage (pulvérisation) et la plantation :

- pente 7%, plantation de Panicum maximum var. G23 à 40 x 40 cm,
- pente 7%, sol nu,
- pente 20 %, sol nu.

32.2.2. Résultats. (voir tableau 32.2.)

- Le Curasol a un effet très net sur la réduction des pertes en terre par rapport aux témoins non traités : réduction de 50 à 75 % en 1970, de 40 à 60 % en 1971 et de 43 à 90 % en 1972.

Cette réduction est plus forte (75 %) sur la parcelle plantée en Panicum que sur les parcelles nues (réduction moyenne 48 à 53 %).

Elle semble légèrement plus forte aussi sur forte pente du moins en 1970 et 1972.

Une seule valeur échappe à la règle générale : celles du 1 au 3/73 pour les fortes pentes. En effet un sarclo-binage a été effectué le 15/2/73 sur la parcelle témoin et a modifié temporairement sa réaction à l'agressivité des pluies (meilleure porosité suite au bris des croûtes). Cette diminution de l'érosion par un sarclo-binage est très passagère et l'écart constaté ici à été dépassé par un surcroît très net d'érosion en avril.

- L'influence du Curasol sur la réduction du ruissellement par rapport au témoin (25 à 55 % de réduction) est moins nette et moins prononcée.

TABLEAU 32.2. - Effet d'un mulch plastique (Curasol à 60 gr/litre/m²) sur les phénomènes d'érosion.

Adiopodoumé 1970-1973		Erosion t/ha - et % du témoin						Ruissellement mm et % du témoin						
Précipitations		panicum p = 7 %		Sol nu p = 7 %		Sol nu p = 20 %		Panicum p = 7 %		Sol nu p = 7 %		Sol nu p = 20 %		
h mm	R	Curasol, % témoin	témoin, t/ha	Curasol, % témoin	témoin, t/ha	Curasol, % témoin	témoin, t/ha	Curasol, % témoin	témoin, mm	Curasol, % témoin	témoin, mm	Curasol, % témoin	témoin, mm	
N° Parcelles		P4	P5	P2	P3	P8	P6	P4 %	P5	P2	P3	P8	P6	
5 à 7/70	8820	848,3	25	88,62	48 %	132,32	25 %	451,71	37 %	356,20	66 %	420,95	36	320,29
8 à 12/70	3860	139,2	33	0,54	61 %	8,86	36 %	47,57	27 %	11,38	24 %	108,00	56	81,74
1 à 3/71	121,0	69,7	100	0,01	67 %	8,80	40 %	32,79	87 %	0,54	47 %	46,33	35	20,75
TOTAL	1389 mm	1054,2	25 %	89,17	50 %	149,98	27 %	532,07	37 %	368,12	56 %	575,28	40 %	422,78
									26,5 %		41,4 %		30,4 %	
N° Parcelles		P5	P4	P3	P2	P6	P8	P5	P4	P3	P2	P6	P8	
4 à 7/71	1216,5	775,6	32 %	3,92	54 %	121,28	58 %	514,12	77 %	188,45	106 %	401,85	132 %	212,56
3 à 12/74	354,0	119,3	0	0,18	68 %	7,85	70 %	55,10	7 %	1,12	96 %	87,50	213 %	40,36
1 à 3/72	245,5	128,0	0	0,01	62 %	10,08	64 %	48,51	62 %	0,21	104 %	72,95	179 %	33,21
TOTAL	1816 mm	1022,9	30 %	4,11	55 %	139,21	59 %	617,73	77 %	189,78	105 %	562,30	149 %	286,13
									10,5 %		31,0 %		15,8 %	
N° Parcelles		P4	P5	P2	P3	P8	P6	P4	P5	P2	P3	P8	P6	
4 à 7/72	1044,8	580,3	10	1,20	51 %	99,39	53	245,51	16 %	106,13	69	431,71	46 %	295,54
8 à 12/72	344,0	109,6	0	0	39 %	9,90	66	20,97	12 %	0,06	50	121,45	74 %	48,69
1 à 3/73	172,7	128,7	0	0	55 %	4,30*	213	6,38*	0	0	90*	39,45*	144 %*	18,26*
TOTAL	1561,5	818,6	10 %	1,20	50 %	113,59	57 %	272,86	16 %	106,19	66 %	592,61	55 %	362,49
									6,8 %		38,0 %		23,2 %	
Moyenne sur 3 ans	1589 mm	960,9	25 %	31,49	52 %	134,26	47 %	474,22	45 %	221,36	75 %	576,73	74 %	357,13
									13,9 %		36,3 %		22,5 %	

* Ces valeurs sont faussées du fait d'un sarclo-binage (15/2/73) qui s'est montré efficace contre l'érosion durant un mois où il a plu 62,2 mm.

32.2.3. Discussion.

Le mulch de Curasol est très efficace tant au point de vue conservation des terres que des eaux. Il est cependant normal que l'action protectrice d'un mulch soit moins forte en ce qui concerne le ruissellement que l'érosion : cela a été constaté pour diverses couvertures végétales.

On remarque que l'efficacité du Curasol semble se maintenir durant toute l'année que durant les essais. Par ailleurs il n'a pas eu d'effet dépressif ni positif sur le rendement en Panicum mais il a été particulièrement efficace sous son couvert.

Enfin, l'action protectrice semble plus élevée sur forte pente. Le Curasol semble donc fort bien adapté à la protection temporaire de talus et autres surfaces pentues en attendant que des graminées (semences répandues en même temps que le Curasol avec les engrais) reprennent le relais et assure une protection définitive.

Il n'était pas évident à priori que l'usage d'un film plastique diminue le ruissellement.

L'observation sur le terrain montre que la pulvérisation du Curasol sur un sol bien aéré (labour récent) forme une croûte souple qui augmente légèrement le ruissellement par rapport au témoin pendant quelques averses. Ensuite le sol non protégé perd sa porosité plus rapidement que la parcelle protégée par le Curasol et le bilan devient favorable à l'usage du Curasol. Celui-ci ne constitue donc pas un film continu (qui aurait augmenté le ruissellement) mais un enrobement des agrégats qui les rend plus résistants à l'agressivité des pluies.

On a constaté que le Curasol laisse place à une certaine érosion celle-ci se déclenche selon le mécanisme suivant : le Curasol n'étant pas un film continu, les eaux cherchent les points faibles de la croûte ; l'énergie des gouttes de pluie y creuse des trous, le ruissellement sape la base des microfalaises et micro-demoiselles coiffées et l'érosion régressive élargit les plages érodées. Si donc un couvert végétal protège

la croûte souple de plastique contre l'énergie des gouttes, le film de Curasol résiste beaucoup plus longtemps.

Nous avons constaté par ailleurs que sur sol nu des lichens viennent coloniser ces croûtes et les protègent très efficacement.

Enfin il convient de signaler que le film plastique ne supporte ni l'abrasion des grains de sable d'une rigole active ni le passage d'engins mécaniques lourds (tracteur) : l'érosion s'installe très vite aux points de rupture. Son efficacité est fort bonne pour limiter l'érosion en nappe mais négligeable pour lutter contre le ravinement. Cette méthode est utilisée couramment de nos jours en Europe en horticulture et pour protéger les terrains jouxtant les usines modernes ou les talus des autoroutes.

32.3. Conclusions.

Les techniques antiérosives exposées ici sont toutes deux efficaces contre l'érosion (réduction à 1/4 ou même 1/10 du témoin) et dans une moindre mesure contre le ruissellement mais pas autant que la couverture végétale : il suffit de comparer les observations sur parcelles nues et sous forêt ou sous Panicum planté suffisamment tôt (réduction 1/12 à 1/90).

§ 33. Influence du gradient de la pente.

"La pente doit conditionner puissamment l'importance de l'érosion en Afrique Tropicale. L'existence d'érosion intense sur des pentes minimales (1 à 2% en Casamance) indique par contre qu'il n'est point besoin de son intervention pour déclencher le phénomène : l'action pluviale y suffit " FOURNIER (1967).

L'influence de la pente sur l'évolution des versants est bien connue des géomorphologues au point que certains caractérisent l'âge du paysage par l'importance des pentes. De fortes pentes et des vallées encaissées se rencontrent dans un relief jeune comme celui des Alpes tandis que dans un relief adulte ou sénile comme on en trouve sur le vieux continent africain ce sont des plateaux, des collines à pente plus ou moins douce et de vastes plaines qui s'offrent à la vue.

La végétation naturelle, épargnée par les feux, protège remarquablement le relief (ROOSE, 1971 ; AVENARD, ROOSE, 1972) : c'est ainsi qu'on peut observer à Adiopodoumé des pentes de plus de 65 % sur un matériel sablo-argileux protégé par la forêt. Si on défriche manuellement la forêt sans détruire le réseau racinaire qui donne une cohésion à l'horizon humifère et fertile de surface, le sol peut résister 1 à 2 ans à l'agressivité des pluies mais lorsqu'on défriche mécaniquement la forêt ou la savane en détruisant l'horizon humifère superficiel, l'érosion et le ruissellement prennent des proportions catastrophiques, d'autant plus que la pente est forte.

TABLEAU 33.1. - Influence de la pente sur les phénomènes érosifs en fonction de la couverture végétale.

!	!	" Erosion t/ha/an			" Ruissellement %			!								
		!Pente "														
!	!	!"	!"	!"	!"	!"	!"	!"								
!	!	!"	!"	!"	!"	!"	!"	!"								
!	!	!"	!"	!"	!"	!"	!"	!"								
!	Adiopodoumé	!	4,5	"	-	!	60	!	0,1 à 30	"	-	!	35	!	20	!
!	ORSTOM (1956-72)	!	7	"	0,03	!	138	!	0,1 à 120	"	0,14	!	32	!	0,5 à 35	!
!	sol ferralliti-	!	23,3	"	0,1	!	570	!	420	"	0,6	!	24	!	20 à 30	!
!	que sur sable	!	65	"	1,0	!	-	!	-	"	0,7	!	-	!	-	!
!	3 aire.	!		"		!		!		"		!		!		!

Résultats.

A Adiopodoumé nous disposons depuis 1966 de trois parcelles de pentes 4,5 - 7 et 23 % (réduite à 20 % en avril 1971 pour corriger la forme convexe) cultivées en 1966/67 et depuis maintenues en sol nu labouré et plané chaque année en fin mars ou avril.

Les résultats ont été réunis au tableau 33.2. et à la figure 33.1.

- On constate que l'érosion augmente plus que proportionnellement avec la pente et que sa croissance est plus rapide encore sous culture que sur parcelle nue.

Sous culture, en effet si on prend pour base les pertes en terre moyennes sur 4,5 % de pente (soit 18,8 t/ha/an), l'érosion quadruple lorsque la pente passe à 7 % (pente 1,55 fois plus grande) et quadruple encore lorsqu'elle passe à 23 % (pente 5,1 fois plus grande que la référence).

Sur parcelle nue, la croissance de l'érosion est moins rapide mais elle débute plus haut. De 60,3 t/ha/an pour 4,5 % de pente on passe à 138 (2,28) et 570 (9,45) t/ha/an pour des pentes respectivement de 7 et 23 %.

Il semble donc bien que sur forte pente il y ait interférence entre les effets de la pente et la diminution du couvert végétal due aux carences hydriques et minérales dont souffrent les plantes du fait de l'érosion elle-même.

A côté de cet aspect quantitatif il faut noter que les formes d'érosion sur le sol changent avec la pente.

Sur faible pente, l'énergie des gouttes de pluie disloque les agrégats et libère les particules fines : les suspensions stables des fines particules peuvent migrer sur de grandes distances à travers le réseau hydrographique. Les sables grossiers par contre s'accumulent à la surface du sol à laquelle ils donnent une allure tigrée à cause de l'alternance de plages sombres de sol à nu en surplomb et de traînées de sable jaune. La surface du sol est presque plane.

Dès qu'on atteint 7 % de pente, ces zones basses s'approfondissent en rigoles évasées et les transports de sable grossier s'organisent : apparaissent des "microfalaises" et des "microdemoiselles coiffées" de faible hauteur (2-3 cm) qui montrent bien l'ampleur du décapage du sol par l'érosion en nappe.

Fig. 33.1. Erosion et Ruissellement

en fonction

du % de pente et du couvert végétal.

— Adiopodoumé, cases d'érosion 1966-72 —

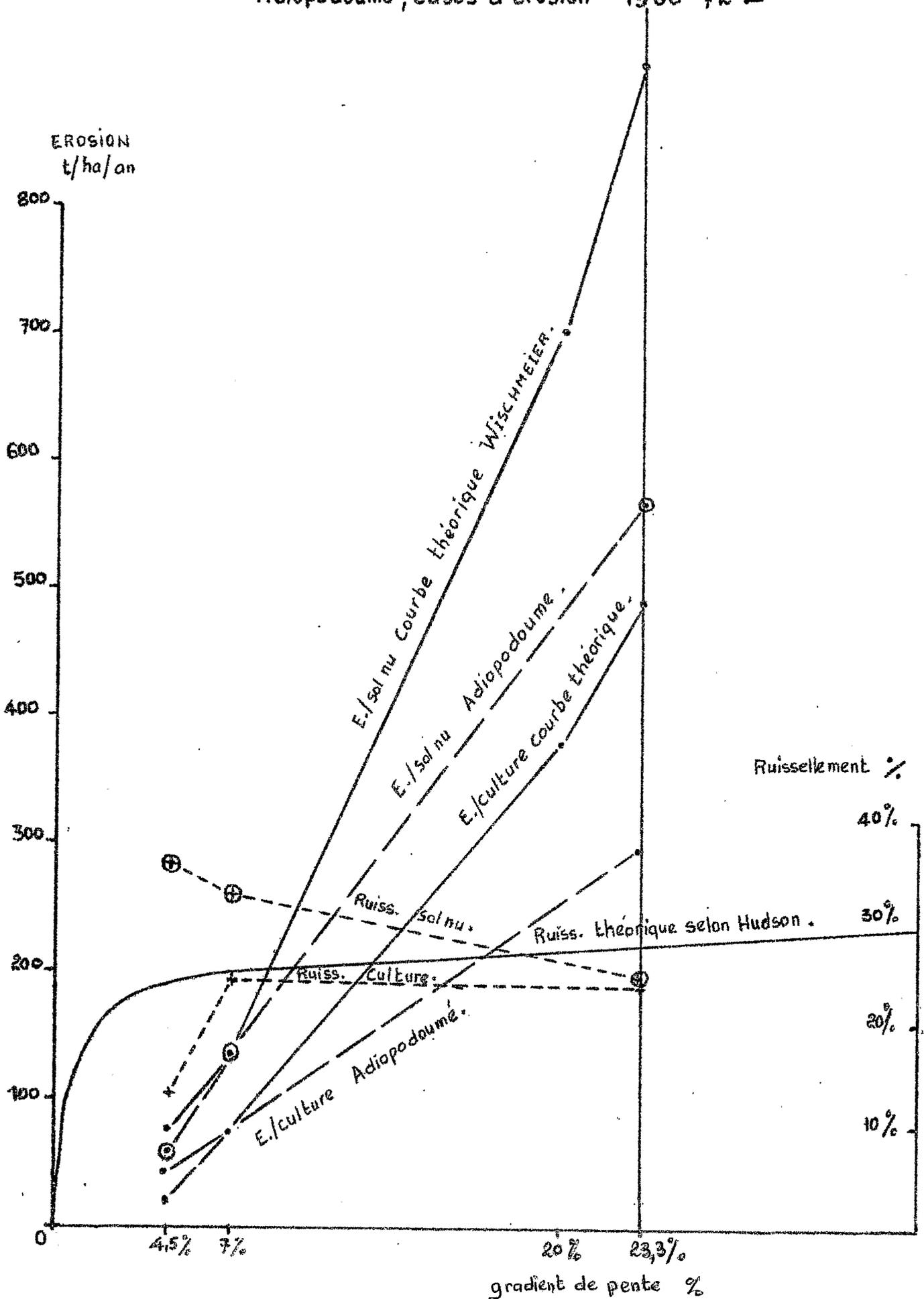


Tableau 33.2. Effet du gradient de la pente sur l'érosion et le ruissellement d'un sol nu ou cultivé.

— Adiopodoumé, Cases d'érosion 1966 à 1972 —

Année et traitement	Pluies		Erosion (t/ha/an)			Ruissellement %						
	h mm	R	pente 4,5%			pente 4,5%		7%		23%		
			P7	Moy. P1-P5 ou P2	P6	% Moy.	% Max.	% Moy.	% Max.	% Moy.	% Max.	
N° Parcelles												
1966 (5 à 12) manioc/buttes	1275	571	7,6	27,7	162,4	14	39	24	43 (82)	21	33 (75)	
1967 (1 à 12) arachide à plat	1645	829	29,9	121,5	427,3	17	46 (56)	24	61 (72)	25	50 (77)	
Moyenne	1460	700	18,8	74,6	294,9	mm 227,2		mm 351,0		mm 345,6		
R %						% 16		% 24		% 24		
% de la pente 4,5%			100	397%	1569%	100%		154%		152%		
			P7	P2 ou P3	P6 ou P8	P7		P2 ou P3		P6 ou P8		
1968 (1 à 12) sol nu	2084	861	34,1	96,2	622,3	23	62 (84)	21	60 (77)	25	59 (65)	
69 (1 à 12) sol nu	1951	989	73,8	163,9	564,2	28	71 (86)	36	65 (95)	26	48 (76)	
70 (1 à 12) sol nu	1655	1195	86,8	170,6	746,6	42	74 (82)	38	74 (81)	32	68 (73)	
71 (1 à 12) sol nu	1692	959	58,0	137,9	602,0*	45	69 (79)	32	69 (76)	16	29 (34)	
72 (1 à 12) sol nu	1634	818	48,8	119,4	315,0*	42	66 (98)	38	73 (77)	23	52 (61)	
Moyenne	1803	964	60,3	137,6	570,0	mm 635,6		mm 586,6		mm 440,2		
R % moyen						% 35		% 33		% 24		
R % max.						74 (98)		74 (95)		68 (76)		
% de la pente 4,5%			100%	228%	945%	100%		92%		69%		
Total général	11936	6222	339,0	837,2	3439,8	3632,3 mm		3634,8 mm		2892,0 mm		
Moyenne générale	1705	889	48,4	119,6	491,4	518,9 mm		519,3 mm		413,0 mm		
R % moyen						30%		30%		24%		
% de la pente 7%			40,5%	100%	410,9%	99,9%		100%		79,6%		
% de la pente 4,5%			100%	247%	1015%	100%		100%		80%		

* A partir d'avril 1971 la pente a été abaissée à 20% pour corriger la forme convexe de la parcelle.

Enfin sur les pentes de plus de 20 %, le réseau d'évacuation du ruissellement et des particules de toute taille (du moins jusqu'à 2-5 mm) se creuse et se hiérarchise si bien que la surface du sol devient extrêmement accidentée du fait des rigoles profondes (5 à 20 cm) et des multiples figures burinées par la pluie et le ruissellement et protégés par des objets divers tels que graines, racines, feuilles, brindilles, poteries ou même croûte de sol durcie.

- Le ruissellement quant à lui ne réagit pas du tout de la même façon en fonction de la pente.

Sous culture, le coefficient de ruissellement passe de 15 % sur la plus faible pente à 24 % en moyenne sur les pentes de 7 et 23%.

Sur parcelle nue il diminue franchement (35 - 33 - 24%) lorsque la pente augmente et ce phénomène inattendu se confirme et s'accroît d'année en année.

Or il se fait que le partiteur de la parcelle à faible pente (P7) sous-estime nettement (de 30 % pour un débit de 50 l./minute) le débit qu'il doit stocker dans la 2e cuve. La diminution du ruissellement lorsqu'augmente la pente est donc encore plus marquée en réalité que dans le tableau 33.2.

Notons enfin que la diminution du ruissellement lorsque la pente augmente se constate non seulement sur les coefficients de ruissellement moyens mais également sur les coefficients maxima donc lorsque le sol est saturé.

Discussion.

Ces phénomènes ont déjà été rapportés par HUDSON (1968) en Rhodésie où il constate que l'érosion croît de façon exponentielle avec la pente mais que le ruissellement augmente d'abord rapidement (jusque vers 2 % de pente) puis se stabilise (voir schéma à la fig. 33.1.)

La diminution du coefficient de ruissellement sur sol nu pourrait s'expliquer au moins partiellement par les faits suivants :

- lorsque la pente augmente, la surface inclinée offerte à la pluie est d'autant plus grande que la pente est forte. En d'autres termes, si on a mesuré la surface de la parcelle sur le terrain, sans tenir compte de sa projection verticale il s'en suit une erreur qui atteint

0,3 % pour une pente de 4,5 % ,
 0,7 % pour une pente de 7 % ,
 2,0 % pour une pente de 20 % ,
 2,7 % pour une pente de 23,3 %.

- lorsque la pente augmente, la forme de l'érosion change : elle burine dans le sol de multiples figures et du fait même augmente encore sa surface et donc le nombre de pores capables d'absorber l'eau au moins dans la phase initiale de la pluie.
- enfin, lorsque la pente est faible, l'énergie du ruissellement n'est pas suffisante pour transporter au loin les particules grossières. Lors d'une pluie, celles-ci vont être libérées par l'effet splash puis trainées lentement vers les parties basses. Au passage elles sont souvent happées par les pores dont elles colmatent l'orifice : c'est le phénomène d'encroûtement ou de glaçage, bien connu des agronomes.

Sur forte pente, au contraire toutes les particules arrachées par l'énergie des pluies sont exportées de la parcelle et on peut croire que les pores restent ouverts en plus grand nombre ; en tous cas on constate que les phénomènes d'encroûtement sont beaucoup plus lents et les effets d'un sarclo-binage beaucoup plus durables que sur pente faible. (voir § 31. tableau 31.8.)

Si l'érosion croît de façon exponentielle avec la pente et ceci malgré une diminution du ruissellement, c'est que la turbidité (particules fines en suspension) et la charge solide totale (suspension + terre de fond) augmentent substantiellement avec la pente. (voir les tableaux 31.6. et 31.8.)

ZINGG avait déjà démontré en 1940 que si la contribution de l'énergie cinétique des gouttes de pluie est capitale à faible pente, elle devient secondaire par rapport à l'énergie du ruissellement au-delà de 20 % de pente.

C'est bien ce que nous avons observé sur le terrain, à savoir :

- une très forte croissance de l'érosion avec la pente (or l'énergie des gouttes est peu influencée par la pente) ;
- des trainées sableuses sur des surfaces planes et colmatées à faibles pentes ;

- et par ailleurs des rigoles de plus en plus profondes et le transport de toutes les particules détachées qui traduisent l'augmentation de l'activité érosive propre au ruissellement à mesure que la pente augmente.

HEUSCH (69, 70, 72) quant à lui a montré, sur les marnes du Pré Rif, que l'érosion et le ruissellement augmentent là où diminue la pente. Ceci serait dû à des phénomènes de drainage oblique très intenses dans ces sols fissurés (vertisols) jusqu'au niveau d'altération de la roche marneuse peu perméable. Sur les fortes pentes qui coïncident avec les sommets des collines (pentes concaves) les pluies s'infiltrèrent jusqu'au niveau imperméable, drainent rapidement jusqu'en bas de pente (faible pente) d'où elles ressurgissent (ROOSE, 1972) et c'est là que démarrent les ravines. Il faut bien admettre aussi avec HEUSCH (1972) que plus la pente topographique est forte et plus la pente hydraulique sera forte, ce qui veut dire que l'eau circule rapidement à l'intérieur du sol ce qui doit lui permettre d'absorber à nouveau une certaine quantité d'eau avant la saturation de sa porosité. Ces sols en forte pente étant plus vite asséchés vont donc laisser ruisseler moins d'eau en surface. Dans ces paysages marneux à forte pente l'érosion se manifeste principalement par des sapelements de berge, divagation des oueds, ravinements et glissement de terrain (HEUSCH, 1972).

A Adiopodoumé on a également observé des glissements de terrain lorsqu'on a défriché les bords de lagune dont la pente peut dépasser 70 %. Cependant ces pentes sont exceptionnelles dans le paysage et non utilisées par l'agriculture comme c'est le cas au Maroc.

Il faut signaler enfin que, sur des bassins versants de moins de 200 km², RODIER et AUVRAY (1965) trouvent une augmentation du coefficient de ruissellement en fonction des classes de pente et d'imperméabilité du substrat. Alors que nos essais se sont déroulés sur un seul type de sol en jachère nue, ces auteurs ont classés leurs bassins versants représentatifs (donc composés de plusieurs types de sols) en fonction de trois zones écologiques (sahélienne, tropicale et subéquatoriale forestière) correspondant à des types de précipitations, de sols, de paysages et de modes de recouvrement du sol par la végétation.

Ce faisant ils obtiennent une augmentation des coefficients de ruissellement lorsque les pentes augmentent et lorsque les classes de perméabilité des bassins versants (conditionnées à la fois par le sol et la végétation) et leur surface diminuent.

Cependant, si on observe en détail les points réels reportés sur les graphiques on constate de nombreuses exceptions. Par ailleurs, plus on se rapproche de la zone forestière (où ont lieu nos essais) et plus on tient compte d'une perméabilité globale des bassins versants recouvrant à la fois la perméabilité du sol et l'interception des pluies par le couvert végétal. De plus, ces auteurs ne disposent que de onze bassins versants sur lesquelles ils admettent que l'on y confond le ruissellement superficiel et hypodermique (voir le temps de réponse des crues qui croît de façon significative). Il convient aussi de souligner les différences de type d'expérimentation.

En effet, les bassins versants comportent différents types de sols en proportions variables : des sols de plateau, des sols de versant et des sols de bas-fond ces derniers pouvant être absorbant vis-à-vis du ruissellement provenant des versants ou au contraire très vite saturés et donc provoquant de forts ruissellements. Lorsqu'on dit que la pente d'un bassin versant est élevée cela peut signifier que la proportion des sols de bas-fond est faible donc qu'il y a moins d'absorption des eaux au niveau des sols colluvionnaires. Enfin nos essais eurent lieu sur un sol nu tandis que les bassins versants sont toujours plus ou moins couverts de végétation. Or celle-ci a une grande influence sur l'absorption de l'énergie cinétique des pluies qui peut transformer radicalement la perméabilité d'un sol nu en fonction de sa pente.

En conclusion, il faut admettre que l'on ne sait encore que bien peu de chose sur l'influence de la pente, de sa forme, de son gradient, de sa longueur et de sa couverture végétale sur les phénomènes de ruissellement à la surface du sol. Les résultats divergeants obtenus dans des circonstances expérimentales variées montrent que le ruissellement obéit à des facteurs complexes dont on maîtrise encore bien mal les limites. Il nous semble cependant que la méthode des parcelles d'érosion pourrait apporter des renseignements intéressants puisqu'elle permet d'isoler mieux certains facteurs (1 seul sol, 1 seule position topographique et 1 seule couverture végétale) que la méthode des bassins versants représentatifs.

§ 34. Importance du précédent cultural et des autres sources de variabilité des résultats.

Le problème.

Après dix années d'expérimentation très variée sur les parcelles d'érosion il était nécessaire de préciser la variabilité de réponse de chaque parcelle soumise à un même traitement. Les campagnes 1964 et 1965 avaient d'ailleurs fait apparaître une forte variabilité d'une répétition à l'autre.

Trois sources de variation peuvent être distinguées :

- l'histoire de la parcelle c'est-à-dire ses antécédents culturaux et en particulier son degré d'érosion avant la mise en place des essais,
- le dispositif de mesure et plus spécialement le tarage des partiteurs et la pente (forme et gradient),
- le développement du couvert végétal (culture et mauvaises herbes) de l'année test.

On a donc cherché à évaluer l'importance de la réaction propre à chaque parcelle soumise à un même traitement et à analyser les diverses sources de l'hétérogénéité des résultats durant la campagne 1966.

Plus tard (1967 à 69), on a comparé la réaction à l'agressivité des pluies d'une culture continue de maïs à celles d'une rotation triennale où le maïs vient après arachide et jachère nue. Là aussi on a estimé l'influence du précédent cultural, et par ailleurs celle de la réaction individuelle de chaque parcelle en fonction des conditions climatiques.

34.1. Campagne 1966 : un seul traitement sur toutes les parcelles.

34.1.1. Dispositif.

On a défriché toutes les parcelles d'érosion fin avril et planté en manioc sur buttes après une fumure homogène, un labour et un planage oblique soigné. On n'a retenu les résultats d'observation que des 3 premiers mois d'expérimentation car il n'y eut ensuite aucune pluie intéressante avant une tornade sur-

venant le 23 octobre laquelle a perturbé complètement le couvert végétal (donc l'essai en place).

34.1.2. Résultats.

Au tableau 34.1. on a groupé les observations de ruissellement et d'érosion de mai à juillet 66, le résultat des tarages des partiteurs en place depuis 1965, l'évaluation du couvert végétal développé par le manioc en pleine saison des pluies, les mesures de pente, les erreurs sur la surface des parcelles à cause de ces pentes et enfin une estimation du précédent cultural ou tout au moins de l'érosion et du ruissellement subis par chaque parcelle depuis 10 ans.

On constate que les réactions des sept parcelles ne sont pas homogènes (E de 7,4 à 159 t/ha et R de 17 à 32 %). On peut distinguer trois groupes de parcelles en fonction de leur pente :

- 1 / la parcelle 7 dont la pente est faible (4,4 % en 1972).
Erosion et ruissellement sont faibles par rapport à la moyenne (P₁ à P₅) pour trois raisons principales (soulignées dans le tableau) : la pente faible (4,4 % au lieu de 7 annoncé), le partiteur installé en 1965 ne donne pas plus de 70 % du débit prévu (d'où influence sur les plus fortes pluies, les plus importantes) et l'histoire de la parcelle qui jusqu'en 1966 n'a pas été fort érodée (8,7 t/9 ans).
- 2 / la parcelle 6 dont la pente est très forte (23,3 % en 1972).
Le ruissellement est du même ordre de grandeur que dans les parcelles 1 à 5 quoique légèrement inférieur (-8 %) ce qui peut s'expliquer par la légère sous-estimation du partiteur (-5 %) et à l'erreur de surface (projection verticale). L'érosion par contre est 6,3 fois plus élevée que la moyenne et cela bien que la parcelle vienne d'être défrichée (Erosion moyenne sous forêt = 0,3 t/ha/an en 10 ans) : les causes en sont la pente forte et la faible couverture végétale (54 % de la moyenne).

TABLEAU 34.1. - Erosion et ruissellement aux parcelles d'Adiopodoumé de mai à juillet 1966
 - Hétérogénéité de réaction des parcelles à un même traitement et autres sources d'hétérogénéité.

N° parcelles	Moyenne P1 à P5	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
EROSION								
Mai à juillet 1966								
t/ha	25,42	25,8	30,4	24,6	24,6	21,7	159,2	7,4
% de la moyenne	100 %	102	120	97	97	85	626	29
RUISELLEMENT								
Mai à juillet 1966								
%	29,2	28,7	32,1	27,6	26,9	30,6	27,0	17,7
% de la moyenne	100 %	98	110	95	92	105	92	61
Tarage des partiteurs pour un débit de 50 l./min.	50/7=7,14 L/min. = 100 %	90 %	115 %	100 %	90 %	85 %	95 %	70 %
Couvert végétal du manioc mesuré le 6/7/1966	24,5 m ² /90mm ² = référence	87 %	88 %	95 %	111 %	+ mauvaises herbes	54 %	+ mauvaises herbes
Pente								
- DABIN 1956-1957	7 à 8 %	7	7	7	7	7	12 à 15 %	7
- mesurée par JEANNERET le 15/3/1972	6,3	6,28 %	6,25 %	6,31 %	6,37 %	6,16 %	23,37	4,43
Erreur sur la surface à cause de la pente				0,6 à 0,7 %			2,7 %	0,3
Erosion moyenne annuelle depuis 1956	en t/ha/an	34,7	36,7	46,5	22,3	6,7	0,338	1,0
Ruissellement moyen annuel depuis 1956	en %	12 %	10 %	13 %	10 %	10 %	1 %	6 %

3 les parcelles 1 à 5 dont les pentes (6,3 %) et le comportement du point de vue conservation de l'eau et du sol sont très voisins. Les ruissellements sont proches de la moyenne (de -8 à +10 %) et leur hétérogénéité est en relation étroite avec le tarage des partiteurs (sauf P5 qui ruisselle plus que la moyenne alors que le tarage, la pente et l'érosion antérieure sont inférieures à la moyenne et la couverture végétale supérieure !).

L'érosion varie peu également (-8 à -3 %) sauf en P5 (-15 % car forte couverture végétale, tarage partiteur et érosion antérieure plus faible) et en P2 (+20 % car couvert végétal faible et rendement partiteur trop élevé).

Donc, dans l'ensemble, ces faibles hétérogénéités sont conformes aux variations du couvert végétal et du tarage des partiteurs.

34.1.3. Conclusions.

Devant l'hétérogénéité de réaction des parcelles soumises à un même traitement de mai à octobre 1966 on peut distinguer des sources de variation d'importance inégale rangées par ordre décroissant :

1. Le couvert végétal.

C'est de loin le facteur dominant tous les autres, même la pente puisque l'érosion sous forêt et forte pente 65 % (ROOSE, WASA 1968) est nettement inférieure à celle qu'on peut mesurer sur faible pente à couvert incomplet.

TABLEAU 34.4.

	! Pente % !	6,3	! 6,3 !	23,3	! 4,5 !
		! P ₁ à P ₄ !	P ₅	P ₆	P ₇
28-10-1966					
Pluie h = 43,5 mm	R %	27,0	3,9	6,6	3,9
R = 27,9	E kg/ha	1674	123	338	32
29-10-1966					
Pluie h = 32,5 mm	R %	21,6	11,1	4,7	3,3
R = 9,8	E kg/ha	1003	423	1752	191

Au tableau 34.4. sont rapportées les mesures d'érosion et de ruissellement effectuées - le 28/10 alors que le manioc avait été arraché sur les parcelles 1 à 4 mais couvrait encore les parcelles 5 - 6 - 7. - le 29/10 alors que toutes les parcelles ont été dénudées.

On peut y constater que l'effet du couvert végétal (P₅ à 7 le 28) domine largement ceux du travail du sol (défrichage en P₁₋₄) et de la pente. En effet l'érosion et ruissellement sur la pente de 23,3 % sont de loin inférieurs le 28 octobre à ceux des parcelles 1 à 4 de pente 6,3 %; ceci n'est plus vrai après l'arrachage de la couverture végétale le 29 octobre.

2. La pente.

Dès que le couvert végétal n'est plus complet, la pente joue un rôle majeur sur l'érosion mais beaucoup moins net sur le ruissellement (voir § 33.). En 1966, l'érosion croît de façon exponentielle avec la pente tandis que le ruissellement tend à diminuer au-delà de 7 % de pente.

3. Le dispositif de mesure (voir fig. 34.2.).

La précision des partiteurs augmente généralement avec le débit du ruissellement : elle se situe à ± 10 % vers des débits de l'ordre de 50 litres par minute sauf pour P₇ qui est nettement déficitaire (-30 %). Cette erreur systématique n'intervient à 30 % que pour les fortes pluies entraînant un débordement des eaux de ruissellement dans les secondes cuves.

4. L'histoire de la parcelle.

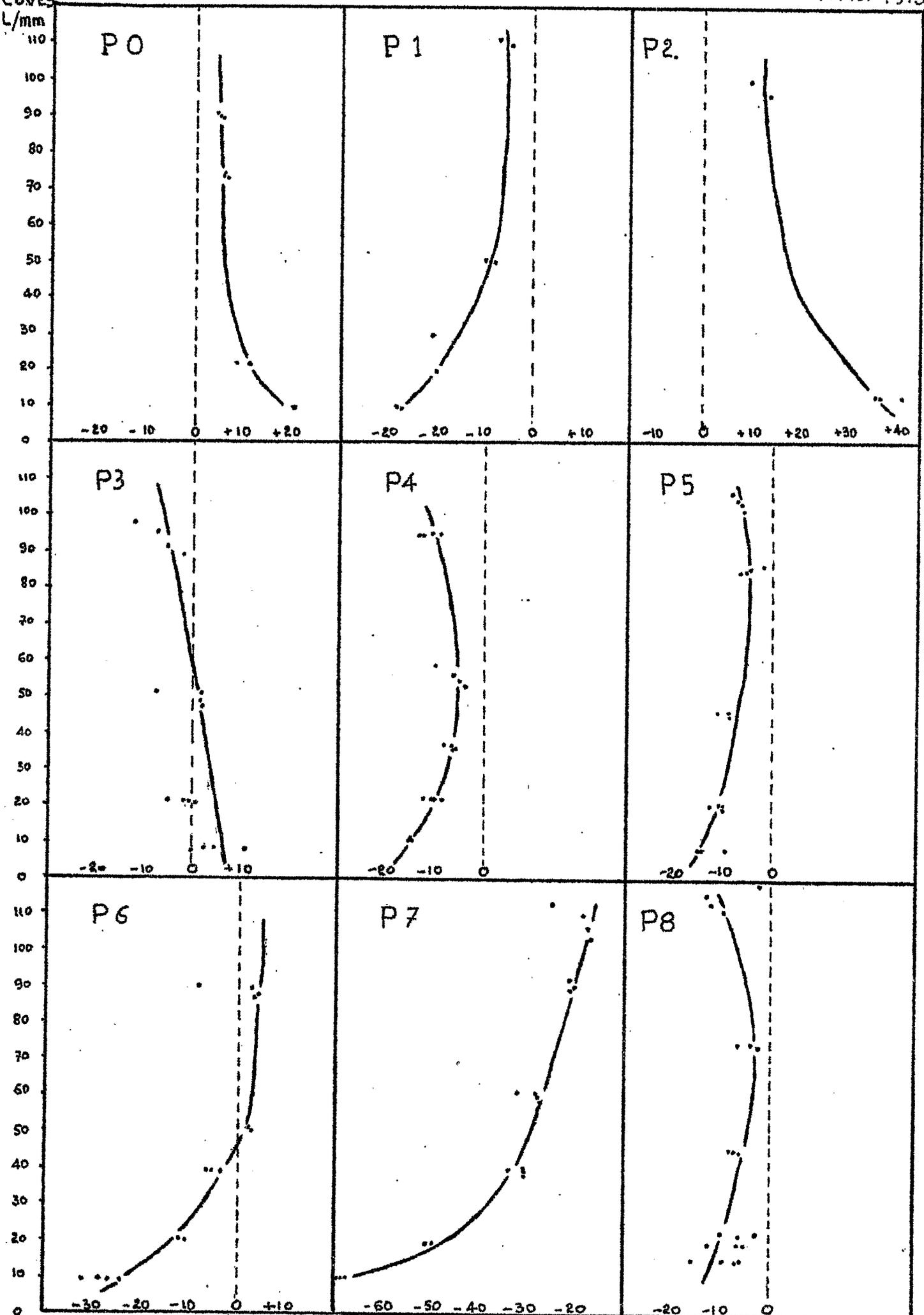
Si on considère que l'érosion moyenne subie par une parcelle durant les dix années précédentes traduit d'une certaine façon la susceptibilité de cette parcelle à l'érosion, on peut dire que l'influence des antécédents cultureux sur la conservation de l'eau et du sol est tenue par rapport aux trois précédents facteurs pour les parcelles d'Adiopodoumé. En effet, on constate au tableau 34.1. que pour des érosions antérieures moyennes passant du simple au double on a obtenu des pertes en eau et en terre très voisines sur les parcelles 4 et 3. De même, au tableau 34.2. résumant les pertes annuelles subies par chaque parcelle de 1956 à 72 on remarque que l'on passe souvent sur une parcelle de plus de 100 t/ha/an à moins de 0,3 t/ha/an de perte en terre par simple changement de couverture végétale d'une année à l'autre. Il en va de même pour les ruissellements (voir tableau 34.3.).

Si l'antécédent culturel a une faible influence sur la susceptibilité des sols à l'érosion sur les sols sableux (donc à faible pouvoir d'agrégation) d'Adiopodoumé lorsqu'on cultive le sol en utilisant des engrais minéraux ou organiques, il n'en reste pas moins vrai qu'on a bien de la peine (2 ans) à installer un couvert végétal correct lorsque le sol a été dénudé ou fortement érodé pendant quelques années sans apport de fumure (Azote surtout). Voir parcelle 3 de 1956 à 1963.

Fig 54.2. Etalonnage des particuleurs des cases d'erosion d'Adiopodoumé.

février 1973

DEBIT
DANS
CUVES
L/mm



Pourcentage volume recueilli par rapport au volume théorique $\frac{1}{3} \rightarrow$ point 0

Nous sommes amenés à conclure que l'influence des précédents culturels est secondaire par rapport à celles de la couverture végétale et de la pente. Chaque parcelle peut cependant avoir sa façon individuelle de réagir à un type d'expérience en fonction des particularités de la fertilité de son sol (action de la teneur en azote sur le couvert), de la forme de sa pente (concave ou convexe) et du matériel de mesure. D'où la nécessité des répétitions dans le temps et dans l'espace et l'intérêt des expérimentations par couples que l'on inverse d'une année à l'autre.

34.2. Campagnes 1967 à 69 : Culture continue et rotation triennale.

34.2.1. Dispositif.

En vue de dissocier l'influence du précédent cultural sur les phénomènes d'érosion sous maïs de celle des dispositifs de mesure (parcelles et instruments de mesure) et de l'agressivité des pluies, on a placé côte à côte une parcelle (P5) sous culture continue de maïs (billonné) durant trois ans et une rotation triennale où le maïs (billonné) vient après l'arachide (à plat) et une jachère nue.

"Parmi les plans expérimentaux (...), le carré latin est l'un de ceux qui permettent d'extraire la plus grande quantité d'information à partir de la moindre quantité de matériel" (LISON, 1968, p. 149).

C'est pourquoi cette rotation triennale a été conduite selon un plan d'expérimentation semblable à celui d'un carré latin où les couvertures du sol correspondent aux 3 traitements, les parcelles 1-2 et 4 aux colonnes et les précipitations caractérisées par leur hauteur ou leur agressivité aux lignes. On pouvait espérer faire ressortir l'importance relative du couvert (combinées aux façons culturales), de la réaction propre à chaque parcelle et de l'agressivité des pluies (voir § 42.).

Plan d'expérimentation : répartition des traitements dans les parcelles en fonction des années.

!	!	!	!	!	!					
!	!	Sol nu	!	arachide	!					
!	!		!		!					
!	!		!	maïs en rotation	!					
!	1967	!	P4	!	P2	!	!	!	P1	!
!	1968	!	P1	!	P4	!	!	!	P2	!
!	1969	!	P2	!	P1	!	!	!	P4	!

34.2.2. Résultats.

Ils sont rapportés en détail pour les six saisons de culture au tableau 34.5. (à la fin du paragraphe).

Au tableau 34.6, on a groupé les moyennes de façon à faire ressortir l'influence des traitements, des parcelles, des pluies et du précédent cultural (P₄ et P₅).

TABLEAU 34.6. - Moyennes sur trois années des mesures d'érosion et de ruissellement sous une culture continue de maïs et sous une rotation triennale.

	Sol nu	Arachide	Maïs	"Maïs/Maïs"
Moyennes				
Traitements				
E t/ha	126,1	82,0	95,6	" 87,7
Ruiss.mm	544	424	482	" 484
	P ₁	P ₂	P ₄	" P ₅
Moyennes				
Parcelles				
E t/ha	64,8	128,5	110,4	" 87,7
Ruiss.mm	510	533	407	" 484
Moyennes	1967 < h = 1491 mm	1968 < h = 1767 mm	1969 < h = 1638 mm	
Pluie	RUSA = 932	RUSA = 701	RUSA = 838	
E t/ha	126,5	86,1	91,1	
Ruiss.mm	380	358	402	

En ce qui concerne l'érosion, l'influence du couvert semble importante, encore que les pertes en terre soient très élevées (sous maïs et arachides) puisqu'on n'a utilisé aucune technique antiérosive. L'arachide cultivée à plat (E = 82 t/ha) portegerait un peu mieux le sol que le maïs cultivé sur billon (E = 96 et 88 t/ha). L'écart n'est pas bien grand entre le maïs en rotation et en culture continue mais il est en faveur de maïs en culture continue ce qui se comprend aisément en remarquant que la parcelle P₅ est moins sensible que P₁₋₂ et 4 à l'érosion (ceci confirme le tableau 34.1.). Donc, l'effet du précédent cultural ici aussi ne semble pas très important.

La réaction individuelle des parcelles par contre est considérable **puisque** l'érosion moyenne varie du simple au double en passant de P₁ à P₂ : P₄ est 10 % moins fort que P₂.

La figure 34.1. suggère que l'érosion sur sol nu croît plus que proportionnellement à l'indice d'agressivité. C'est moins net sous culture car l'influence du couvert végétal est plus puissante que celle de l'agressivité des pluies. C'est ainsi qu'en région tropicale sèche où il pleut moins de 700 mm. les phénomènes d'érosion sont généralement plus visibles que sous la forêt équatoriale où il pleut pourtant 2 à 5 fois plus.

Le ruissellement est beaucoup moins influencé que l'érosion par les facteurs étudiés.

Il est nettement plus fort sur parcelle nue que sous maïs et surtout que sous arachide. Le précédent cultural du maïs importe peu semble-t-il au ruissellement (482 et 484 mm).

Le ruissellement est élevé sur la parcelle P₂ sensible à l'érosion mais à part ce cas il n'est pas lié au transport solide de chaque parcelle ni de chaque agressivité des pluies.

Mais ces différences observées sur les moyennes ne tiennent pas compte des variations des réponses d'une année à l'autre.

On a donc tenté une analyse de variance de ce carré latin à trois traitements qui ne respecte pas entièrement la représentation classique qu'on s'en fait généralement puisqu'il n'y a aucune répétition dans l'année. On n'a reproduit au tableau 34.7. que le tableau final pour les résultats totalisés sur les deux cycles culturaux de chaque année mais les conclusions ne diffèrent pas beaucoup d'une saison des pluies à l'autre.

Fig. 34.1. Relation entre l'Erosion sur sol nu ou cultivé et l'indice d'agressivité climatique R_{USA}.

— Adiopodoumé 1967 à 69 —

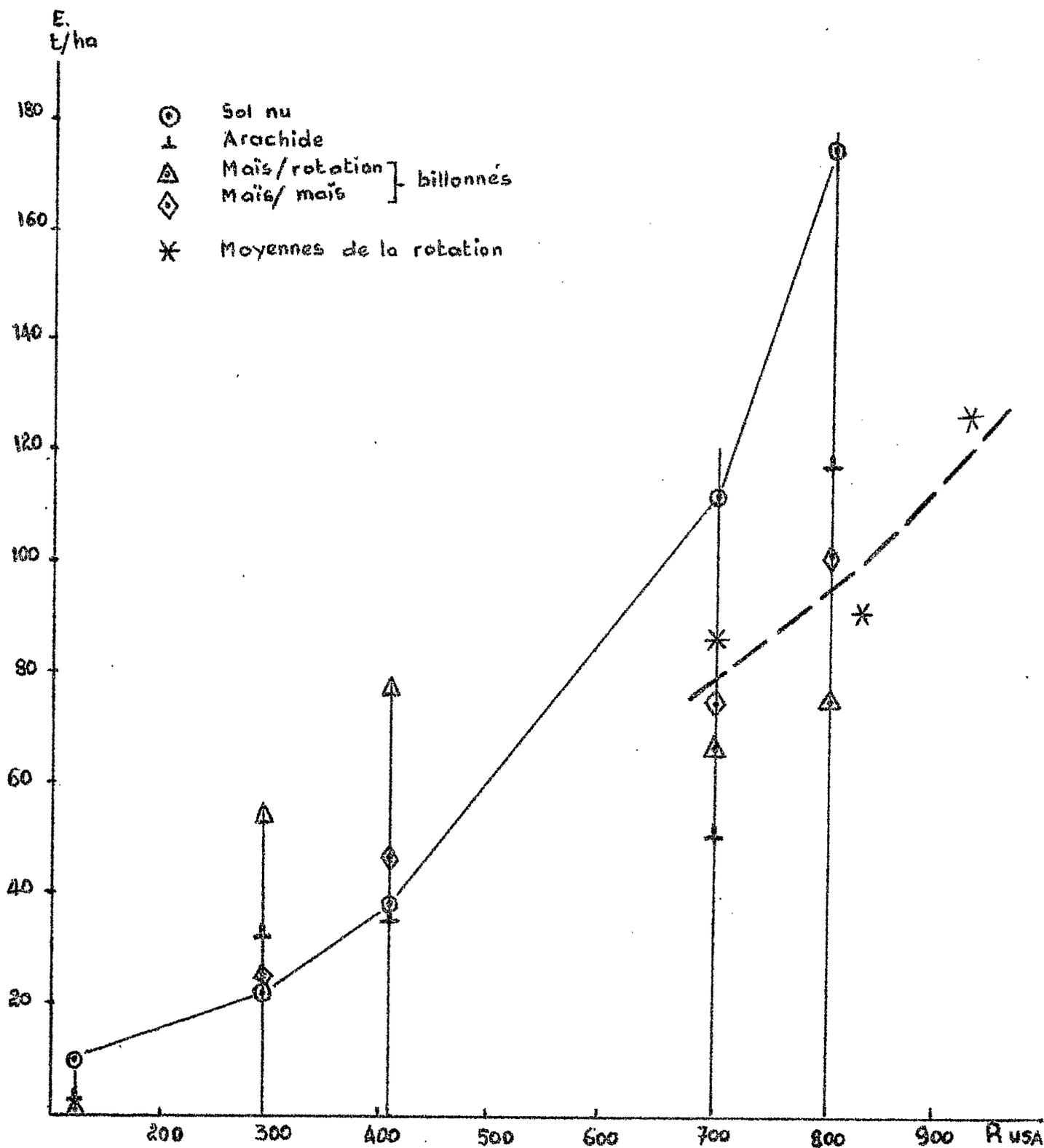


TABLEAU 34.7. - Analyse de variance des phénomènes d'érosion durant les mois de mai à décembre sous une rotation triennale : jachère nue, arachide, maïs.

- Adiopodoumé 1967 à 1969 -

- A. Erosion (t/ha) -

Sources de variation	Somme des carrés	d.l.	Carrés moyens	test de F	à 0,01 = 99 à 0,05 = 19
Traitements (couvert)	306.998	2	153.499	1,20	N.S.
Colonnes (parcelle)	647.195	2	323.598	2,54	N.S.
Lignes (pluies)	290.428	2	145.214	1,14	N.S.
Erreur	254.913	2	127.457		
Total	1.499.534	8			

- B. Ruissellement (mm) -

Sources de variation	Somme des carrés	d.l.	Carrés moyens	test de F	à 0,01 = 99** à 0,05 = 19*
Traitements (couvert)	21.485	2	10.743	35,7	*
Colonnes (parcelles)	26.809	2	13.405	44,5	*
Lignes (pluies)	23.865	2	11.933	39,6	*
Erreur	601	2	301		
Total	72.760	8			

Contrairement à ce dont on pouvait s'attendre suite à la lecture du tableau 34.6. sur les moyennes, on ne trouve pas de signification, au niveau de probabilité de 5 %, aux variations de l'érosion mais bien pour les variations du ruissellement exprimé en millimètres. Parmi les trois sources de variations envisagées l'influence de la réaction individuelle de chaque parcelle est la plus importante puis viennent les précipitations pour le ruissellement et le couvert végétal pour l'érosion.

34.3. Conclusions.

Les résultats des campagnes 1966 et 1967 à 1969 montrent bien l'importance de la réaction individuelle de chaque parcelle à l'agressivité des pluies. Cependant il ne s'agit pas d'un effet résiduel de l'érosion subie les années précédentes par les parcelles mais bien des imperfections du dispositif de mesure portant principalement sur de légères différences de pente (gradient et forme) des parcelles, le rendement des partiteurs

et l'ensoleillement reçu par les plantes qui couvrent la parcelle. Tout au plus peut-on admettre qu'une parcelle fortement érodée pendant plusieurs années aura perdu une bonne partie de sa fertilité chimique et physique. Si donc on néglige l'apport d'engrais minéral ou organique, le couvert aura du mal à se réinstaller : l'érosion y sera donc plus active. L'exemple de la parcelle P₃ est très explicite à cet égard. Après l'avoir laissé sur sol nu durant trois ans on a voulu y planter du *Titonia* en 1959 : à cause de la pauvreté chimique il ne s'est pas développé et l'érosion est restée très forte. Il a fallu 10 mois au *Digitaria umfolozi* planté le 16 juin 1959 pour envahir le terrain et le protéger correctement.

Les facteurs qui interviennent dans la réaction de chaque parcelle à l'agressivité des pluies naturelles sont trop nombreux et complexes pour mesurer quantitativement l'importance du précédent cultural. Peut-être parviendra-t-on à l'aide du simulateur de pluie à aborder ce problème des effets résiduels.

Ces campagnes 1966 à 1969 ont cependant pour mérite :

- d'avoir montré le peu de précision de la méthode de cases d'érosion qui sur une même pente entraîne en 1966 des écarts de -15 à +20 % de la moyenne des pertes en terre (25,4 t/ha) et de -8 à +10 % de la moyenne du ruissellement (29,2 %).
- d'avoir précisé les parcelles dont le comportement est voisin (1 - 3 - 4 - 5) ;
- et d'homogénéiser l'état des parcelles pour les années suivantes.

TABLEAU 34.2. - Erosion annuelle (tonnes par hectare) observée aux cases d'érosion d'Adiopodoumé.

	"	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1956	"	-	47,8	92,8	118,3	42,5	15,5	2,600	-	-
1957	"	-	48,0	28,5	88,5	0	0,2	0,200	1,5	-
1958	"	-	149,2	35,6	132,9	35,5	8,6	0,100	0	-
1959	"	-	45,6	32,5	89,6	0,2	0,3	0,076	0,3	-
1960	"	-	0,5	0,1	0,3	0,1	0,3	0,013	1,1	-
1961	"	-	0,4	143,2	0,3	0,1	5,2	0,021	0,6	-
1962	"	-	0,1	0,1	0,1	100,5	22,1	0,013	0,1	-
1963	"	-	0,1	0,1	0,1	1,5	0,2	0,007	0,1	-
1964	"	-	19,5	32,1	22,3	39,6	13,9	0,065	3,2	-
1965	"	-	36,0	1,8	12,1	2,7	0,9	0,284	1,8	-
Total partiel	"	-	347,2	366,8	464,5	222,7	67,2	3,379	8,7	-
1966	"	-	29,6	32,4	27,5	26,8	22,3	162,4	7,6	-
1967	"	-	75,9	121,5	152,8	186,5	103,3	427,3	29,9	-
1968	"	-	69,4	133,6	96,2	89,5	89,5	622,3	34,1	-
1969	"	-	70,2	149,7	163,9	83,0	105,3	564,2	73,7	-
1970	"	22,8	101,2	87,6	170,6	45,1	100,7	746,6	86,8	128,8
1971	"	0,2	13,9	135,0	79,7	4,1	1,2	366,9	58,0	582,4
1972	"	1,3	1,9	64,5	115,5	0,1	0,2	297,6	48,8	191,8
Total général	"	24,3	709,3	1091,1	1270,7	657,8	489,7	3190,7	347,6	903,0
Moyenne	"	8,1/3ans	41,7	64,2	74,7	38,7	28,8	455,8 (7 ans)	48,4 (7 ans)	301/3 ans
Erosion maximale	"	-	149	149	170	186	105	746	86	582

TABLEAU 34.3. - Ruissellement annuel (mm) observé aux cours d'érosion d'Adiopodoumé de 1956 à 1972 -

Année	Pluie mm	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1956	2.424,6	-	442,5	516,4	597,3	400,8	368,5	47,7	-	-
1957	2.383,1	-	396,5	187,0	700,1	20,4	23,4	23,8	151,3	-
1958	1.944,8	-	547,1	235,1	437,8	253,5	258,4	5,3	3,6	-
1959	2.342,2	-	461,5	402,4	498,6	87,1	60,9	9,0	72,2	-
1960	1.897,7	-	43,4	22,1	39,9	9,0	27,4	11,0	122,5	-
1961	2.288,8	-	59,1	483,6	35,8	12,1	411,5	7,9	271,1	-
1962	2.772,9	-	19,9	38,5	37,7	962,9	729,6	1,8	30,0	-
1963	2.433,7	-	12,7	17,8	13,0	49,8	29,1	3,6	2,2	-
1964	1.648,0	-	241,8	244,0	33,0	273,1	248,7	7,9	225,3	-
1965	2.299,2	-	529,3	143,0	344,3	208,5	190,8	14,4	231,3	-
Total	22.435,0									
R mm moyen sur 10 ans			275,4	229,0	293,7	227,7	234,8	13,2	123,3	-
R % moyen sur 10 ans			12 %	10 %	13 %	10 %	10 %	1 %	6 %	-
1966	1.496,2	-	306,1	333,3	290,5	285,6	305,5	273,4	177,8	-
1967	1.673,0	-	442,5	398,6	429,9	415,6	471,1	418,6	276,9	-
1968	2.084,0	-	686,3	615,8	432,7	486,0	595,7	515,3	487,7	-
1969	1.951,0	-	543,3	658,8	707,3	427,6	519,3	508,5	538,1	-
1970	1.654,7	205,9	131,6	113,8	102,2	96,6	80,5	123,9	170,7	162,4
1971	1.691,5	230,6	282,0	511,2	558,5	190,0	145,8	388,1	761,0	259,0
1972	1.634,3	75,1	137,5	430,6	629,1	17,3	106,4	403,5	690,1	206,4
Total	12.184,7									
17 ans = 34.619,7 mm										
Total R mm en 7 ans		511,6	2.529,3	3.062,1	3.150,2	1.918,7	2.224,3	2.631,3	3.102,3	627,8
R mm moyen		170,5	361,3	437,4	450,0	274,1	317,8	375,9	443,2	209,3
R %		10 %	21 %	25 %	26 %	16 %	18 %	22 %	25 %	13 %
Total général R mm		511,6	5.283,1	5.352,0	6.087,7	4.195,4	4.572,6	2.763,7	4.211,8	627,8
R mm moyen 17 ans		170,5	310,8	314,8	358,1	246,8	269,0	162,6	263,2	209,3
R %		10 %	15 %	15 %	18 %	12 %	13 %	8 %	13 %	13 %

TABLEAU 34.5. - Erosion, ruissellement et précipitation durant les campagnes 1967 à 1969 -
 - Rotation triennale et maïs en continu sur pente de 7 % -

Dates	P l u i e		E R O S I O N (t/ha)						R U I S S E L L E M E N T (mm)									
	h	mm	R	Nu	Arachide	Maïs	Maïs continu	Nu	Arachide à plat	Maïs billonné	Maïs continu billonné							
<u>1ère saison</u>																		
1967	1204	808	P4	174,9	P2	118,3	P1	74,8	P5	100,2	P4	363	P2	377	P1	401	P5	432
1968	997	408	P1	38,1	P4	35,3	P2	77,1	P5	46,5	P1	429	P4	261	P2	383	P5	343
1969	1214 ^{mm}	703	P2	111,9	P1	51,0	P4	67,3	P5	75,0	P2	507 ^{mm}	P1	378 ^{mm}	P4	321	P5	392
Total	3415	1919		324,9		204,6		219,2		221,7		1299		1016		1105		1167
Moyenne	1138	640		108,3		68,2		73,1		73,9		433		339		368		389
<u>2ème saison</u>																		
1967	287	124	P4	9,1	P2	1,4	P1	0,8	P5	2,2	P4	46	P2	18	P1	38	P5	34
1968	770	293	P1	21,7	P4	32,0	P2	54,2	P5	24,4	P1	186	P4	141	P2	214	P5	178
1969	424	135	P2	22,6	P1	7,9	P4	12,5	P5	14,7	P2	100 ^{mm}	P1	97 ^{mm}	P4	90	P5	74
Total	1481	552		53,4		41,3		67,5		41,3		332		256		342		286
Moyenne	494	184		17,8		13,8		22,5		13,8		111		85		114		95
<u>5 à 12</u>																		
1967	1491	932	P4	184,1	P2	119,7	P1	75,6	P5	102,4	P4	409	P2	395	P1	439	P5	466
1968	1767	701	P1	59,8	P4	67,3	P2	131,3	P5	70,9	P1	615	P4	402	P2	597	P5	521
1969	1638	838	P2	134,5	P1	58,9	P4	79,8	P5	89,7	P2	607	P1	475	P4	411	P5	466
Total	4896	2471		378,3		245,9		286,7		263,0		1631		1272		1447		1453
Moyenne	1632	824		126,1		82,0		95,6		87,7		544		424		482		484

§ 35. La pluie : cause primaire de l'érosion hydrique.

Tout transport de terre nécessite une source d'énergie: ce peut-être le vent, la pluie ou le ruissellement. En ce qui concerne l'érosion hydrique, c'est l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui déclenche le processus de destruction de l'agrégation du sol et le ruissellement assure le transport des particules détachées. Ceci est valable pour les phénomènes d'érosion accélérée sur des champs cultivés sur pentes faibles à moyennes sur sol ferrallitique. Sur forte pente et là où dominant le ravinement, les sapements de berge et la divagation des oueds, l'importance de l'énergie des eaux de ruissellement l'emporte sur celle des gouttes de pluies (ZINGG, 1940 ; HEUSCH, 1970).

Mais quels sont les caractéristiques de la pluie qui interviennent en basse Côte d'Ivoire sur les champs cultivés de pente moyenne (4 à 10 %) ?

C'est l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui arrache les particules du sol mais le ruissellement assure leur évacuation. Il faut donc étudier les caractéristiques des pluies qui peuvent intervenir dans la naissance du ruissellement et de l'érosion.

Les sols ferrallitiques ont généralement un horizon superficiel extrêmement perméable (10 à 120 cm/heure) reposant sur des horizons qui le sont nettement moins.

Pour observer du ruissellement, il faut :

- soit la saturation de la porosité du sol jusqu'à un niveau moins perméable : influence de l'humidité préalable du sol et de la hauteur des précipitations (voir tableau 35.1.)

- soit la destruction des pores en surface sous l'effet de la battance des gouttes (encroûtement dû à l'énergie des gouttes tombant sur un sol nu ou partiellement nu) : influence de la hauteur et surtout de l'intensité maximum des pluies.

35.1. La hauteur des pluies unitaires et l'humidité préalable du sol.

On pourrait croire que l'érosion ou tout au moins le ruissellement est en relation étroite avec la hauteur des pluies. En fait, les phénomènes sont plus complexes.

TABLEAU 35.1. - Influence de l'époque, de l'intensité maximum en 30 minutes, et des pluies de la décade précédente (= indice d'humidité du sol) sur l'érosion et le ruissellement provoqués par des pluies de hauteur voisine sur un sol nu et un sol couvert.

Dates	P l u i e			" Ruissellement (%) "		" Erosion (kg/ha) "	
	h (mm)	h 10 jours	Intensité MAX 30'	Sol nu	Panicum	Sol nu	Panicum
13/ 2/72	28	58 mm	33	47	0	548	0
18/ 3/	33	1	59	52	0,1	1104	0
27/ 3/	32	45	23	26	0	327	0
21/ 5/	34	20	28	26	0	1518	0
9/ 6/	33	131	35	48	32	3833	21
11/ 6/	34	164	26	44	11	2191	26
13/ 6/	38	230	37	63	22	3264	31
2/ 7/	32	212	43	73	0,1	6025	0,2
31/ 7/	30	0	15	9	0	412	0
19/10/	31	88	14	39	0,1	1501	0,1
23/11/	28	18	43	71	0	1827	0

En effet, on a rassemblé au tableau 35.1. les pluies de hauteurs voisines de l'année 1972 pour une parcelle nue et une parcelle de 7 % de pente, bien protégée par une culture fourragère (Panicum). On remarque que pour des variations de hauteur de pluie de 5 millimètres autour de la moyenne (h. moy. = 32 mm), les coefficients de ruissellement varient de 9 à 73 % pour le sol nu et de 0 à 32 % pour la parcelle couverte. De même, les transports de terre oscillent de 300 à 6000 kg/ha sur sol nu et de 0 à 31 kg/ha pour la parcelle sous Panicum.

En analysant le tableau de plus près, on s'aperçoit que les plus faibles érosions et coefficients de ruissellement, proviennent des pluies tombant après une période sèche (h 10 jours) et avec des intensités maximales en trente minutes (I MAX 30') faibles (par exemple le 27/3 et le 31/7/72). Par contre les pertes en terre et les ruissellements les plus élevés ont lieu entre le 9 juin et le 2 juillet à une époque où le sol est très humide et soumis à un rythme de précipitation peu ordinaire : 208 mm dans la dernière décade de mai puis 164-144 et 210 mm durant les 3 décades de juin (726 mm en 40 jours : plus qu'à Paris en un an).

On voit donc le rôle très important de l'humidité du sol avant la pluie et de l'intensité maximale au-delà d'un certain seuil dans le développement des phénomènes d'érosion hydrique.

TABLEAU 35.2. - Erosion et ruissellement sur parcelle nue pour des pluies consécutives de hauteur variable.

- pente 7 % -

Dates	P l u i e			R %	E (t/ha)
	h	I 30	RUSA		
19/ 5/72	15,5	21	4,6	17	0,6
21/ 5/	33,5	28	12,4	26	1,5
22/ 5/	22,0	22	15,4	62	2,7
22/ 5/ soir	20,0	28	46,7	53	4,2
25/ 5/	54,5	57		46	9,9
26/ 5/	58,5	75	54,2	39	12,0

Au tableau 35.2. on compare l'érosion et le ruissellement provoqués par des pluies consécutives de hauteur variable sur une parcelle nue. On constate que le ruissellement diminue de 62 à 39 % alors que la hauteur de pluie augmente de 22 à 54 puis 58 millimètres.

L'érosion par contre augmente de 4,2 à 12 t/ha pour les mêmes pluies : ceci est à mettre en liaison avec l'intensité maximum en 30 minutes qui passe de 22 à 75 mm/heure et l'indice d'agressivité de 15,4 à 54,2 unités. (Voir définition § 42.)

La hauteur des pluies n'explique donc pas entièrement les phénomènes d'érosion.

Au tableau 35.3. on a rangé les pluies de la campagne 1965 par classes de hauteur et étudié la fréquence des pluies ruisselantes ou érosives ainsi que l'importance de ces phénomènes par rapport au total annuel (moyenne sur 7 parcelles).

On voit que sur 89 pluies (P) observées en 1965 à Adiopodoumé, 36 ont donné lieu à du ruissellement (R) et 13 à de l'érosion (E).

TABLEAU 35.3. - Influence de la hauteur des pluies unitaires sur le ruissellement et l'érosion.

- Adiopedoumé 1965 ; moyennes sur 7 parcelles de couvert varié -

- Pentes 4,5 % - 7 % et 23 % -

Adiopedoumé 1965	0-15 mm			15-30 mm			30-60 mm			60-90 mm			90-120 mm			120-150 mm			150-200 mm			Total					
P = 2,299 mm	P	E	R	P	E	R	P	E	R	P	E	R	P	E	R	P	E	R	P	E	R	P	E	R	P	E	R
Totaux nombre	57	0	5	11	0	9	12	5	12	3	1	3	2	2	2	3	3	3	2	2	2	89	13	36			
% nombre	100	0	9	100	0	82	100	42	100	100	33	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	-			
Totaux quantité	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	
% quantité	0	0,3	0	1,8	1,175	24,9	662	18,3	1,890	33,0	1,513	74,3	2,659	84,1	7,899	236,7											
	0	0,1	0	0,8	15	10,5	8	7,7	24	13,9	19	31,4	34	35,6	100	100											

On n'observe pratiquement pas de ruissellement pour des pluies de moins 15 millimètres et pas d'érosion de terre de fond pour les pluies de moins de 30 mm (= seuils de déclenchement).

Il faut des pluies d'au moins 30 mm. pour être sûr d'avoir du ruissellement à chaque pluie et de plus de 90 mm. pour avoir à coup sûr des pertes en terre de fond.

Il y eut 2 pluies de plus de 150 mm durant lesquelles l'érosion et le ruissellement représentent plus de 34 % de ceux qu'on a observés sur toute l'année.

On peut donc conclure que la hauteur des pluies individuelles explique mal les phénomènes d'érosion qui en découlent. Au tableau 35.1. on a vu l'influence sur le ruissellement et l'érosion de l'humidité du sol avant la pluie. On pourrait appliquer l'un des multiples coefficients utilisé par les hydrologues pour tenir compte de ce facteur dans les études de bassins versants. MOLINIER (1971) a appliqué à Korhogo l'indice de KÖHLER qui tient compte du total cumulé des averses antérieures corrigé par le temps séparant ces averses.

Il existe d'autres indices mais il semble que l'influence d'une pluie sur le sol et sur les réactions de celui-ci du point de vue de l'érosion et du ruissellement s'estompe au bout de 10 à 15 jours. Ce facteur humidité du sol se confond donc avec celui de hauteur de pluie si on considère des pluies cumulées sur 3 à 4 semaines. (voir tableau 35.5. et fig. 35.1.)

35.2. La hauteur des pluies cumulée (mensuelle ou annuelle).

On peut voir à la figure 35.1. et au tableau 35.4. que l'érosion et le ruissellement sur parcelle nue sont des fonctions rectilinéaires de la hauteur mensuelle des pluies. Sous Panicum par contre, on trouve encore une relation rectilinéaire entre la hauteur mensuelle des pluies et le ruissellement exprimé en millimètres mais pas avec l'érosion. Ceci tend à démontrer que sous le couvert peut naître du ruissellement par saturation de la porosité du sol lors des pluies de forte hauteur mais qu'il ne s'y passe pas d'érosion puisque l'énergie des gouttes de pluie est absorbée par le couvert végétal complet. Par ailleurs, l'énergie du ruissellement est encore faible sur cette pente de 7 %.

Fig.35-1. Erosion et Ruissellement (mm)
 en fonction de
 la hauteur pluie mensuelle.

EROSION

50 t/ha

Adiopodoumé, Cases d'érosion nue,
 -1972-

Ruissellement

250 mm

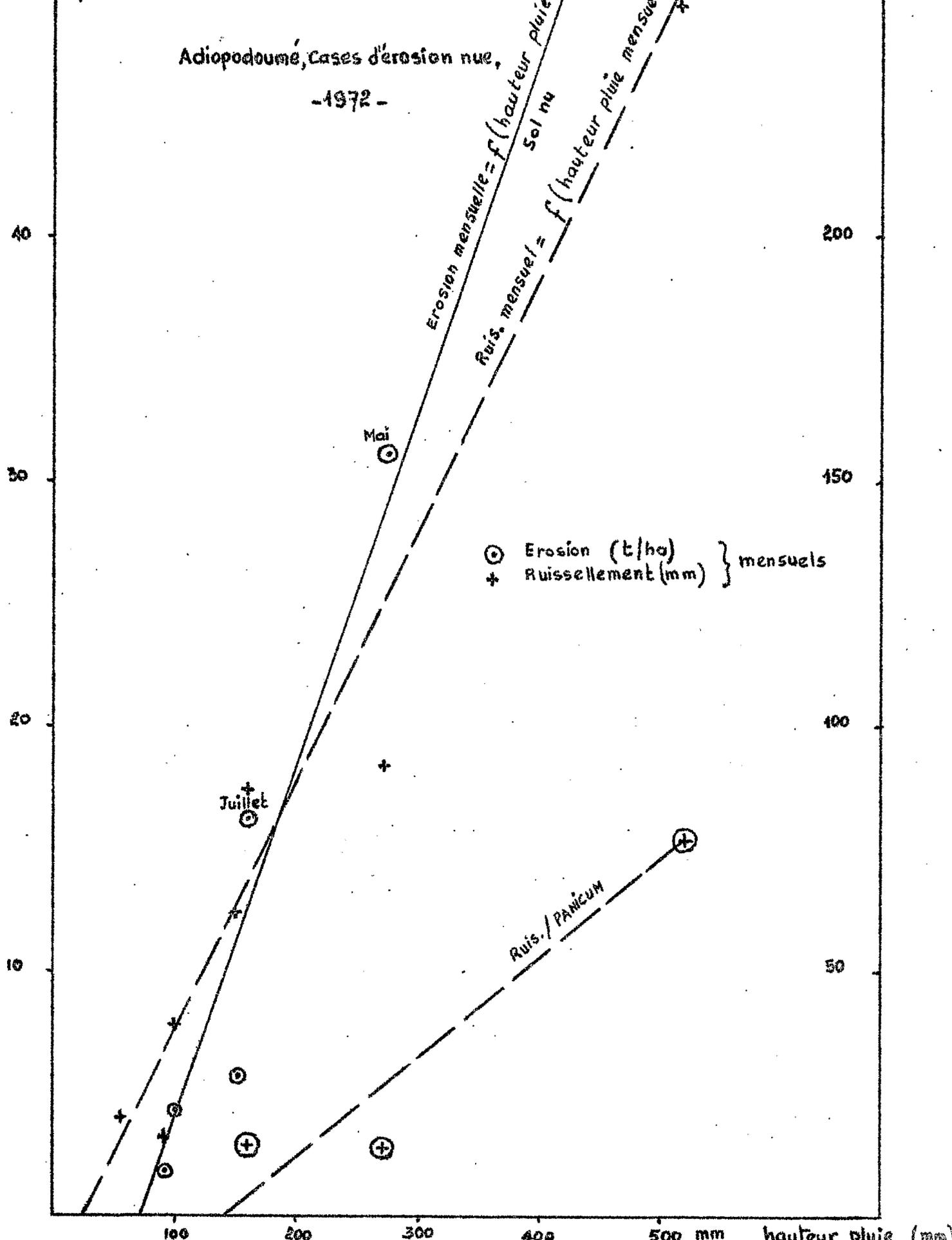


TABLEAU 35.4. - Erosion et ruissellement en fonction des précipitations mensuelles.

- Pente 7 % -

! Adiopodoumé ! case d'érosion ! - 1972 -	! P l u i e			! Ruissellement		! Erosion (t/ha)	
	! h (mm), h 10 jours, RUSA			! - mm -		! - t/ha -	
	! h (mm)	! h 10 jours	! RUSA	! sol nu	! Panicum	! sol nu	! Panicum
! Avril	! 93	! 72	! 42	! 15,6	! 0,4	! 1,8	! 0,1
! Mai	! 275	! 44	! 146	! 91,7	! 14,2	! 31,1	! 0,3
! Juin	! 518	! 208	! 325	! 247,1	! 77,4	! 50,3	! 0,5
! Juillet	! 160	! 210	! 68	! 77,3	! 14,2	! 15,2	! 0,3
! Août-Septembre	! 23	! 31	! 0	! 0	! 0	! 0	! 0
! Septembre	! 15	! 15	! 0	! 0	! 0	! 0	! 0
! Octobre	! 152	! 2	! 53	! 62,2	! 0,1	! 5,7	! 0
! Novembre	! 100	! 26	! 32	! 39,3	! 0	! 4,2	! 0
! Décembre	! 55	! 41	! 25	! 20,0	! 0	! 0,1	! 0

TABLEAU 35.5. - Régressions entre le ruissellement et l'érosion d'une part et la hauteur de pluie ou l'indice d'agressivité climatique d'autre part.

- Adiopodoumé, sol nu, pente 7 %, 1970 à 1972 -

! Relations	! Coefficient de régression	! Equations
! Ruiss. (mm) = f (haut. pluie mensuelle)	! 0,975	! $y = 0,448 x - 11,70$
! Erosion (t/ha) = f (haut. pluie mensuelle)	! 0,929	! $y = 0,1317 x - 6,358$
! Erosion (t/ha) = f (RUSA)	! 0,981	! $y = 0,1535 x - 0,79$

On voit au tableau 35.5. que l'érosion et surtout le ruissellement sur sol nu sont très étroitement liés à la hauteur des précipitations mensuelles (r supérieur à 0,92 pour $N = 36$). Pour l'érosion cependant la corrélation est encore plus étroite avec l'indice d'agressivité climatique défini par WISCHMEIER (voir § 42.)

Sur les parcelles cultivées par contre, il n'y a aucune corrélation entre la hauteur de pluie et le ruissellement ou l'érosion étant donnée l'évolution du couvert et des façons culturales au cours du temps. Il est donc normal que HUDSON en Rhodésie (cité par FOURNIER ; 1967), ne trouve aucune corrélation entre la hauteur de pluie annuelle et le ruissellement ou l'érosion sur des champs cultivés (napier et maïs en pente de 3 % - 4,5 % et 6 % : valeurs moyennes de six parcelles).

Nous pouvons faire les mêmes observations aux tableaux 34.2. et 34.3. où sont rapportés respectivement l'érosion et le ruissellement (mm) observés à chaque parcelle d'Adiopodoumé depuis sa création. Par contre, HEUSCH (1970), trouve sur les bassins versants de Nord du Maroc une relation rectilinéaire entre le coefficient d'écoulement et les précipitations annuelles pour les pluies de 300 à 1.400 mm $E/P = P - 175/2250$ mm le couvert étant semblable à grande échelle.

35.3. L'intensité des pluies et leur durée.

L'intensité des pluies intervient à deux niveaux : la saturation momentanée de la porosité du sol et l'énergie cinétique que la pluie dissipe en détruisant la structure de la surface du sol (battance).

- Le ruissellement représentant "le refus à l'infiltration", il ne se manifeste que lorsque le débit de la pluie dépasse les possibilités d'infiltration des pores du sol. Mais au cours d'une pluie l'énergie qu'elle développe dégrade la surface du sol et diminue sa porosité : le seuil s'abaisse donc à mesure que la pluie se prolonge.

- Par ailleurs, de nombreux auteurs ont constaté que le diamètre médian des populations de gouttes de pluie et donc leur vitesse et leur énergie cinétique augmente avec l'intensité des précipitations (NEAL, BAVER, 1937 ; LAWS, PARSONS, 1943 ; SPILHAUS, 1948 aux USA. BLANCHARD, 1953 en Hawaï ; MIHARA, 1952 au Japon ; HUDSON, 1961 en Rhodésie du Sud et d'autres encore cités par SMITH et WISCHMEIER, 1962) SMITH et WISCHMEIER (1958) ont proposé la relation générale suivante entre l'énergie cinétique et l'intensité des précipitations.

$$E_C = 916 + 331 \log I \quad \text{où}$$

E_C est l'énergie cinétique en pieds.tonnes par acre et par pouce de pluie et I est l'intensité pluviale en pouces par heure.

Après bien d'autres (CORMARY et MASSON) le Centre Technique Forestier de Madagascar (1966) a utilisé cette équation pour calculer l'énergie globale d'une pluie à partir des séquences pluviales d'intensité constante.

On peut constater que les fortes intensités entraînent la conjonction des phénomènes d'engorgement et de battance de la surface du sol qui aboutissent à la formation de croûtes très peu perméables.

L'influence de l'intensité des pluies est donc très importante sur l'érosion des sols cultivés non complètement couverts.

Sur sol nu, les fortes intensités auront une influence prépondérante sur la destruction de la structure et de la porosité à la surface du sol ainsi que sur les pertes en terre. Par contre sous un couvert végétal continu, l'énergie est dissipée avant d'atteindre le sol mais les fortes intensités peuvent néanmoins provoquer du ruissellement par saturation temporaire de la porosité du sol.

On comprend donc bien pourquoi un couvert végétal (vivant, mort ou artificiel comme le Curasol) diminue les pertes en terre dans une plus forte proportion que les pertes en eau (ruissellement).

Tant que les pluies de forte intensité durent peu de temps et tombent sur un sol sec l'érosion reste faible : c'est le cas en basse Côte d'Ivoire de décembre à avril avant que ne s'installe la grande saison des pluies.

Mais lorsque se conjuguent une grande fréquence des précipitations (donc un sol très humide), des pluies très importantes (100 à 200 mm) et de fortes intensités se maintenant longtemps (15 à 30 minutes) on observe des phénomènes d'érosion catastrophiques qui dépassent parfois le total des pertes durant le reste de l'année.

TABLEAU 35.6. - Danger des pluies exceptionnelles - pente 7 %.

! Dates	! Pluie		! Ruissellement % du jour	! Erosion t/ha/jour
	! h mm	! RUSA		
! 19-7-66	! 197	! 220	! 82 %	! 11,4
! 10-6-67	! 110	! 141	! 61 %	! 50,1
! 28-5-70	! 140	! 388	! 81 %	! 47,1
! 27-28/ 6/71	! 230	! 185	! 32 %	! 34,4
! 26-6-72	! 134	! 113	! 65 %	! 19,8

D'où l'utilité de l'étude des courbes intensité-durée pour les averses exceptionnelles puisque ce sont ces dernières qui, bien que peu nombreuses, fixent finalement le niveau d'érosion observable dans chaque région.

Notons cependant (voir tabl. 35.6.) que ce n'est pas la pluie la plus forte qui règle le niveau de l'érosion annuelle mais la somme des 5 à 10 plus fortes pluies de l'année.

Pour illustrer le caractère très agressif des pluies de basse Côte d'Ivoire rappelons (voir § 1.2. tableau 1.6.) que l'on peut s'attendre à une pluie de 150 mm chaque année et de l'ordre de 200 mm tous les 3 ou 4 ans. On atteint chaque année des intensités de l'ordre de 120 mm/heure durant 10 à 20 minutes, 80 mm durant une demi-heure, 60 mm/heure durant 1 heure et 20 mm/heure durant trois heures.

Au tableau 35.7. on a réuni les équations de régression rectilinéaire liant l'érosion et le ruissellement sur sol nu à l'intensité maximale observée pendant des temps croissant de 5 minutes à 3 heures pour 33 pluies intéressantes de 1971 et 1972. On constate que le coefficient de corrélation r (qui exprime la précision de la liaison entre deux variables) augmente avec le temps d'observation de l'intensité maximale.

Les corrélations ne sont très hautement significatives (seuil 0,001) que pour les intensités maximales en 45 minutes (I_{M45}) pour l'érosion et en vingt minutes (I_{M20}) pour le ruissellement. Il semble donc que, sur sol ferrallitique sableux et nu, le ruissellement et surtout l'érosion ne se déclanchent que lorsque un seuil d'intensité pluviale est dépassé pendant une certaine durée.

Contrairement à ce que pensent certains hydrologues (communications écrites de RODIER) il faudrait choisir en basse Côte d'Ivoire des intensités maximales couvrant plus des 30 minutes recommandées par WISCHMEIER aux USA (voir § 42.).

35.4. Conclusions.

L'érosion et le ruissellement sont fonction complexe des précipitations : de leurs hauteurs, de leurs intensités maximales pendant une certaine durée et de l'humidité préalable du sol (que l'on peut traduire par la hauteur cumulée des pluies tombant les 10 ou 15 jours précédents pondérée par le temps écoulé depuis chacune d'elles).

TABLEAU 35.7. - Erosion (kg/ha) et ruissellement (mm) sur sol nu en fonction de la durée de l'intensité maximale (I_{M5} = intensité max. durant 5 minutes) pour 33 pluies importantes observées en 1971 et 1972 à Adiopodoumé.

Erosion en fonction de	Coefficient de corrélation r	Equation de régression de l'érosion (kg/ha) en fonction de l'intensité maximale	"Ruissellement en fonction de	Coefficient de corrélation r	Equation de régression du ruissellement (mm) en fonction de l'intensité maximale
$E = f(I_{M5})$	0,266 NS	$E = 49,47 I_{M5} - 1767,4$	" $R = f(I_{M5})$	0,372 *	$R = 0,173 I_{M5} - 8,15$
$E = f(I_{M10})$	0,435 **	$E = 112,51 I_{M10} - 1701,2$	" $R = f(I_{M10})$	0,517 ***	$R = 0,379 I_{M10} - 1,63$
$E = f(I_{M20})$	0,498 ***	$E = 192,82 I_{M20} - 3426,9$	" $R = f(I_{M20})$	0,590 ***	$R = 0,648 I_{M20} - 7,38$
$E = f(I_{M30})$	0,528 ***	$E = 245,27 I_{M30} - 3610,5$	" $R = f(I_{M30})$	0,644 ***	$R = 0,850 I_{M30} - 8,90$
$E = f(I_{M45})$	0,685 ***	$E = 367,10 I_{M45} - 5119,5$	" $R = f(I_{M45})$	0,735 ***	$R = 1,118 I_{M45} - 9,90$
$E = f(I_{M60})$	0,714 ***	$E = 422,0 I_{M60} - 4809,4$	" $R = f(I_{M60})$	0,775 ***	$R = 1,299 I_{M60} - 9,29$
$E = f(I_{M180})$	0,744 ***	$E = 842,6 I_{M180} - 3782,0$	" $R = f(I_{M180})$	0,851	$R = 2,638 I_{M180} - 6,629$
			"		

- Pour 30 degrés de liberté le test du coefficient de corrélation est significatif aux niveaux 0,05 pour $r = 0,349$ *
 0,01 pour $r = 0,449$ **
 0,001 pour $r = 0,554$ ***

- La corrélation est d'autant plus significative que la durée de l'intensité maximale est longue.

WISCHMEIER et SMITH (1968) ont tenu compte des effets conjugués de la hauteur, de la durée et de l'intensité maximale en retenant comme index climatique le produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale en trente minutes (RUSA).

- Tant qu'on opère en condition naturelle il est très difficile de séparer l'action de chaque facteur : avec le simulateur de pluie il sera possible de régler certaines conditions expérimentales telles que l'humidité préalable, la hauteur de pluie et dans certaines limites les intensités.

- On pourrait s'étonner des corrélations plus étroites obtenues entre les phénomènes d'érosion sur des sols nus dans les conditions d'Adiopodoumé et la hauteur des pluies ou des intensités pendant 1 à 3 heures plutôt qu'avec l'intensité instantanée.

Ce fait observé souligne l'importance de l'humidité préalable du sol avant la pluie. En effet, les plus fortes intensités instantanées ont lieu durant les orages qui éclatent entre les saisons des pluies tandis que les fortes intensités pendant 1 à 3 heures ont lieu en juin-juillet, au plus fort de la saison humide.

C'est durant ces grandes séquences pluvieuses que l'érosion et le ruissellement sont les plus considérables sur sol nu et ceci en liaison avec les plus grandes hauteurs de pluie, les durées les plus importantes et surtout l'humidité préalable du sol la plus forte.

En réalité donc ces variables (hauteur, intensité durant 1 à 3 heures et humidité du sol) ne sont plus indépendantes en pleine saison des pluies. Comme elles peuvent l'être durant les autres périodes de l'année. Il est probable qu'on ne retrouve pas ce phénomène en zone tropicale sèche (ou tout au moins pas de façon aussi poussée) où les pluies se présentent comme des orages de faible durée (pas de pluies longues et constantes comme les pluies de mousson observées en basse Côte d'Ivoire) entre lesquelles prennent place quelques jours de soleil (et parfois une petite période de sécheresse) ; le sol y trouve le temps de se ressuyer. Dès lors que les pluies sont courtes, les seuils d'intensité instantanés peuvent être plus importants en zone tropicale sèche qu'en zone subéquatoriale. Ceci demanderait confirmation.

CHAPITRE 4 - L'INTERPRETATION DES RESULTATS : LES COEFFICIENTS

DE WISCHMEIER.

§ 41. L'équation de prédiction de l'érosion.

C'est aux USA que la méthode d'étude de l'érosion en parcelles expérimentales a été mise au point en 1917 par MILLER à l'Université du Missouri. Depuis lors cette technique de recherche a été étendue à toute les zones sensibles à l'érosion aux USA sous l'instigation de nombreux chercheurs renommés dont DULEY, BENNET, ELLISON, EKERN, Mc INTYRE, etc...

En vue d'appliquer les résultats de ces recherches à l'aménagement du territoire du point de vue conservation du sol et des eaux, le Ministère de l'Agriculture a créé en 1953 à l'Université de Purdue un bureau centralisateur des données. C'est à partir de plus de 10.000 résultats annuels que WISCHMEIER et SMITH (1962) développèrent une équation de prévision de l'érosion en fonction de l'agressivité du climat (R), de la susceptibilité des sols (K), de la topographie (SL), du couvert végétal (C), des façons culturales (C) et des pratiques antiérosives (P).

Cette équation de prédiction de l'érosion a un champ d'application limité à l'érosion dans les grandes plaines et aux sols non gonflants : elle ne s'applique qu'aux pertes en terre en dehors des régions montagneuses et des sols riches en argiles gonflantes (vertisol et autres) (HEUSCH, 1970). Elle ne tient pas assez compte de l'aspect qualitatif des matériaux érodés mais cependant, elle est à la base de la lutte antiérosive des régions agricoles des Etats-Unis et son usage a été recommandé par la FAO et par le colloque sur la fertilité des sols tropicaux qui s'est tenu à Tananarive en 1967 (AUBERT : Comm. écrite, 1973).

Cette équation empirique est encore grossière mais elle représente actuellement ce qu'on peut trouver de mieux pour définir dans la pratique quelles sont les techniques culturales et antiérosives à pratiquer en vue de l'extension d'une culture si on veut maintenir les pertes par érosion à un niveau tolérable étant données les circonstances climatiques, topographiques et pédologiques imposées.

Une fois les coefficients établis, cette équation sert donc à évaluer les risques d'érosion sans faire de mesure expérimentale.

C'est donc avant tout un outil pratique en vue de lutter contre l'érosion hydrique non plus en fonction de l'expérience limitée du praticien mais au départ de bases scientifiques: elle permet d'éviter les risques de destruction du capital foncier tout en écartant les dépenses superflues.

En outre, l'étude des coefficients de cette équation permet une approche théorique de l'influence des différents facteurs qui règlent localement l'intensité des phénomènes d'érosion.

Pour toutes ces raisons, il nous a paru fondamental de rattacher nos essais à ceux des chercheurs américains, d'établir les coefficients de cette équation et de comparer nos résultats avec ceux qui ont été obtenus dans d'autres stations d'Afrique et d'Amérique.

L'équation de prédiction de l'érosion.

Elle s'énonce de la façon suivante :

$$E = R \cdot K \cdot C \cdot SL \cdot P \quad \text{où}$$

- E** : est la perte en terre (mesurée sur parcelle ou à prévoir); elle s'exprime en tonnes par acres (unités américaines) ou en tonnes/ha (2,5 fois les unités américaines) ;
- R** : représente un indice d'agressivité du climat qui renseigne sur l'interaction de l'énergie cinétique de la pluie (en pied-tonne par acre) et de l'intensité maximale en trente minutes (exprimé en pouce par heure). C'est le seul facteur du second terme de l'équation ayant une dimension : tous les autres sont des rapports.
- K** : est un indice de résistance du sol à l'érosion hydrique ; il ne mesure sur une parcelle standard de référence où les trois derniers termes de l'équation égalent 1 par définition, c'est-à-dire : une jachère nue travaillée dans le sens de la pente, sur une pente de 9 % et de 72,6 pieds de long sans aucune pratique antiérosive.

- SL : facteur topographique comprenant le gradient (S %) et la longueur de la pente - le facteur égale 1 si la pente est de 9 % et la longueur de 72,6 pieds.
- C : facteur biologique comprenant les interactions existant entre la couverture végétale et les techniques culturales qui lui sont adaptées.
- P : facteur tenant compte de l'efficacité des aménagements antiérosifs.

Connaissant l'agressivité climatique d'une région, l'érodibilité du sol et la topographie des terrains à mettre en valeur, on peut déterminer scientifiquement quelles sont les techniques antiérosives à mettre en oeuvre si on décide d'y introduire un type de culture sans dépasser une érosion tolérable. Cette tolérance acceptée par les chercheurs américains varie de 2 à 12 tonnes de perte en terre à l'hectare et par an en fonction de la qualité et de l'épaisseur de la couche arable.

§ 42. L'agressivité climatique. (R).

On peut distinguer deux causes à l'érosion hydrique : les précipitations et le ruissellement. L'importance relative de l'énergie du ruissellement augmente avec la pente (ZINGG, 1940) mais la cause première de l'érosion accélérée que l'on constate généralement dans les champs cultivés en Afrique de l'Ouest est l'énergie des gouttes de pluie.

Deux facteurs interviennent dans l'agressivité d'une pluie ; sa hauteur et l'intensité avec laquelle elle tombe (ou mieux son énergie cinétique). La hauteur d'une pluie intervient dans la saturation de la porosité des horizons du sol tandis que son intensité détermine la vitesse avec laquelle on atteint la saturation et l'énergie avec la pluie détruit la structure du sol en libérant les particules élémentaires.

En comparant les corrélations obtenues entre l'érosion mesurée en parcelle expérimentale et divers indices climatiques, WISCHMEIER et SMITH (1958 et 1962) ont sélectionné un indice d'agressivité climatique "R" qui a été défini comme la somme des produits de l'énergie cinétique des pluies unitaires par leur intensité maximale (exprimée en mm/heure) durant trente minutes.

Cet indice se calcule pluie par pluie, au départ des enregistrements pluviographiques, grâce à une régression existant entre l'intensité instantanée d'une pluie et son énergie cinétique par millimètre de pluie (voir annexe 42.).

En effet, WISCHMEIER et SMITH (1958) établirent que

$EC = 916 + 331 \log_{10} I$ où EC est l'énergie cinétique en pieds tonnes -par acre et par pouce de pluie et I est l'intensité exprimée en pouces par heure. En pratique (CTFT, 1966), on découpe l'enregistrement pluviographique en segments d'intensité constante, on lit sur un tableau l'énergie cinétique par millimètre de pluie correspondant à chaque intensité, on somme les produits des énergies de chaque segment par leur nombre de millimètres et on multiplie cette somme par l'intensité maximale en trente minutes de la pluie unitaire considérée. Un coefficient 1735,6 permet de passer aisément des unités américaines aux unités décimales. Dans la plaine des Etats-Unis les valeurs de l'indice d'agressivité climatique varient de 50 à 650 unités américaines.

A Adiopodoumé on a dépouillé 293 enregistrements journaliers de pluies de plus de 10 mm relevés aux cases d'érosion (poste P₂) de 1966 à 1972.

Pour compléter les relevés (incidents techniques, manquants, etc.) on a été amené à étudier les liens existant entre l'indice R et la hauteur des pluies unitaires. On obtient une gerbe de points très évasée. Cependant, si on dissocie les points mois par mois (ROOSE et coll. 1970) on peut les regrouper en deux périodes l'une rassemblant les pluies orageuses et localisées du début et de la fin des saisons humides, et l'autre, les pluies de mousson souvent durables mais moins intenses. Dans cette dernière catégorie où se rangent les mois de juin, juillet et août, la régression $R = f(h)$ est linéaire tandis que, de septembre à mai, cette liaison est curvilinéaire (voir ROOSE, BERTRAND ; 1973).

On n'a représenté à la fig. 42.1. sur papier logarithmique que les points moyens représentant les centres de gravité des classes de hauteur de pluie (10-20 ; 20-40 ; 40-60 ; 60-80 ; plus de 80) pour les deux périodes. Alors que pour les pluies de juin à août les indices R croissent proportionnellement à la hauteur de pluie, pour les pluies orageuses les indices R sont plus élevés, croissent plus vite (pente plus raide) et ont tendance à croître plus que proportionnellement à la hauteur à partir de 40mm.

Au tableau 42.1. on a comparé les valeurs mensuelles de l'indice obtenues par le dépouillement des pluviogrammes de 1966 à 1972 à celles obtenues à partir des courbes de la fig. 42.1. on voit qu'il y a peu de différence surtout au niveau de la valeur annuelle moyenne (4 %). On en a profité pour étendre les relevés estimés aux années 1956 à 1965 où nous ne disposons d'aucun enregistrement.

On a ainsi obtenu une évaluation de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (sur 17 ans) de 1225 avec des variations de 613 à 1926 et un rapport annuel moyen indice R/Pluie = 0,60. Ce qui permet d'évaluer l'indice R moyen de la région à 1260 pour des précipitations moyennes de 2100 mm.

On peut constater au tableau 42.3. que plus de 68 % de l'agressivité de l'année (soit 835) sont concentrés dans les mois de mai, juin et juillet. La seconde saison des pluies est à peine marquée. Cependant il faut noter qu'on n'a jamais observé "d'année moyenne" et que, si les probabilités d'avoir des pluies dévastatrices sont les plus grandes durant les mois de mai à juillet, il peut tomber des pluies très érosives (plus de 80 unités) à n'importe quelle époque de l'année. La régularité des

Tableau 42.1 Repartition de l'indice d'érosivité climatique (R_{usa})

au cours de l'année - Hidropodoumé, Fz, 1966 à 72 -

42.1 - Dépeillement des pluies unitaires -

1	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Tota
1966	0	80	23,4	11,3	74,6	206,2	302,1	0	0,9	42,9	18,9	4,1	613,1
67	0	141	39,1	3,9	79,7	533,3	34,6	0	16,4	0	27,4	80,5	829
68	4,9	99,8	30,1	22,1	64,9	185,5	157,5	90,2	29,2	43,5	63,8	56,2	850,2
69	14,4	0	34,9	101,1	46,0	267,4	289,6	0	0	51,2	74,8	4,3	988,2
70	2,8	64,2	79,8	57,3	610,2	175,1	63,0	0	9,8	83,5	29,2	6,7	1194,4
71	16,0	0	53,7	35,3	26,3	506,2	172,8	1,1	18,5	8,9	62,9	27,9	958,2
72	0	25,3	42,7	41,5	146,4	329,7	67,7	0	0	52,5	22,0	25,1	817,1
Moyenne	5,0	39,2	43,4	38,9	154,7	316,9	155,3	13,0	12,1	40,5	46,3	24,3	894,1

42.2 - Estimation au départ de courbes moyennes
- log R = f (log H) -

2	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Tota
1966	0	9,9	22,9	15,7	89,4	148,2	316,7	0	6,8	58,4	21,8	3,5	700,8
67	0	8,6	43,8	5,8	118,8	510,3	78,8	0	33,0	0	18,9	53,4	873,4
68	5,8	79,1	26,8	30,0	71,2	191,0	201,0	102,6	63,4	61,9	49,0	57,3	965,1
69	2,6	0	43,6	105,3	56,7	344,1	263,2	0	0	80,6	60,7	3,0	965,8
70	5,1	53,6	63,4	62,7	582,6	130,8	72,0	0	11,3	64,2	51,3	8,2	1105,2
71	7,5	0	44,8	50,5	67,4	536,7	179,1	2,5	2,0	11,0	49,4	22,5	1001,4
72	0	62,0	45,2	28,8	266,9	284,2	53,6	0	0	99,4	33,8	22,5	876,1
Moyenne	3,9	23,3	42,5	42,7	179,0	306,5	166,3	15,9	19,2	53,6	40,7	26,1	929,7

1/1 x 100	78	85	98	110	116	97	107	122	159	132	88	89	104
-----------	----	----	----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	----	----	-----

42.3 -

3	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Tota
1956	0	12,6	42,4	21,9	404,2	468,9	315,0	6,1	26,0	35,4	207,3	388,2	1326,0
57	63,0	0	68,9	28,5	202,3	625,2	171,5	0	21,3	101,5	85,6	53,0	1427,2
58	110,0	27,9	63,7	217,1	536,9	468,6	0	0	0	51,8	20,5	64,3	1541,2
59	0	36,9	25,0	256,0	267,0	520,3	152,4	5,1	10,8	45,4	59,1	15,5	1403,5
60	40,0	14,9	31,2	96,1	116,7	394,5	0	0	0	187,6	75,2	17,7	977,9
61	68,2	57,5	14,9	98,8	119,0	358,2	394,3	2,6	22,5	34,8	74,1	43,0	1293,4
62	6,8	0	94,5	168,2	141,2	931,5	319,8	3,4	0	141,9	112,9	6,1	1926,6
63	66,3	6,9	69,5	36,2	153,7	264,1	491,7	27,4	45,2	57,2	154,8	10,4	1357,5
64	13,7	20,6	12,3	12,8	286,1	475,4	3,5	0	25,0	0	2,0	232,9	1020,3
65	0	43,8	72,5	232,5	85,2	541,7	592,4	0	54,5	27,5	20,6	0	1672,9
Moyenne 1966/72	23,9	29,1	44,0	86,6	199,7	428,0	206,2	7,9	17,4	56,9	61,2	60,9	2225,4
1/1 x 100	23,9	53,0	100,0	185,6	386,3	814,3	1021,1	1029,0	1046,4	1103,3	1164,5	1215,4	
%	1,9	2,4	3,8	7,1	16,3	34,9	26,9	8,6	1,4	4,6	5,0	5,0 %	
1/1 x 100	1,9	4,3	8,1	75,2	31,5	66,4	83,3	63,9	85,4	90,0	95,0	100 %	

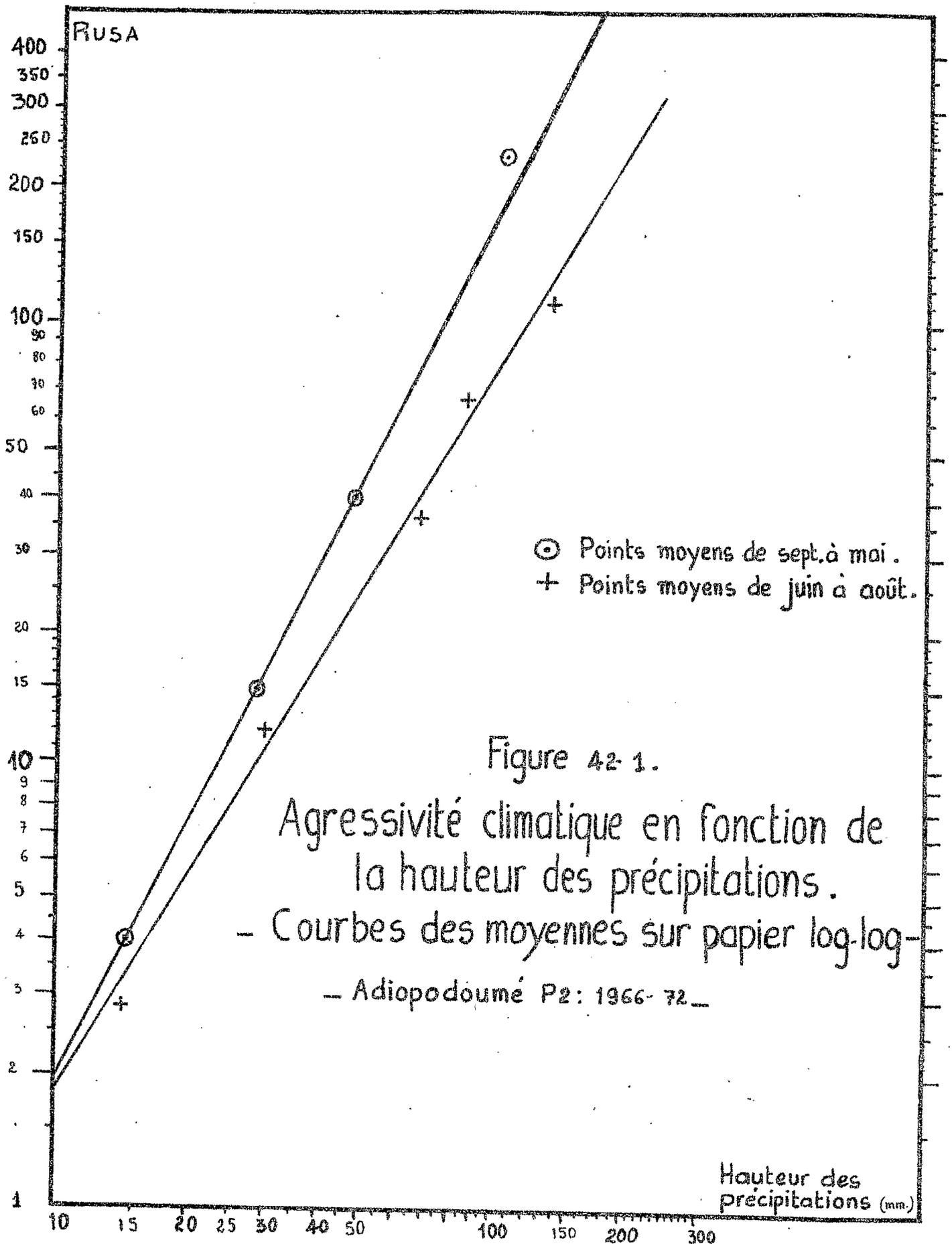
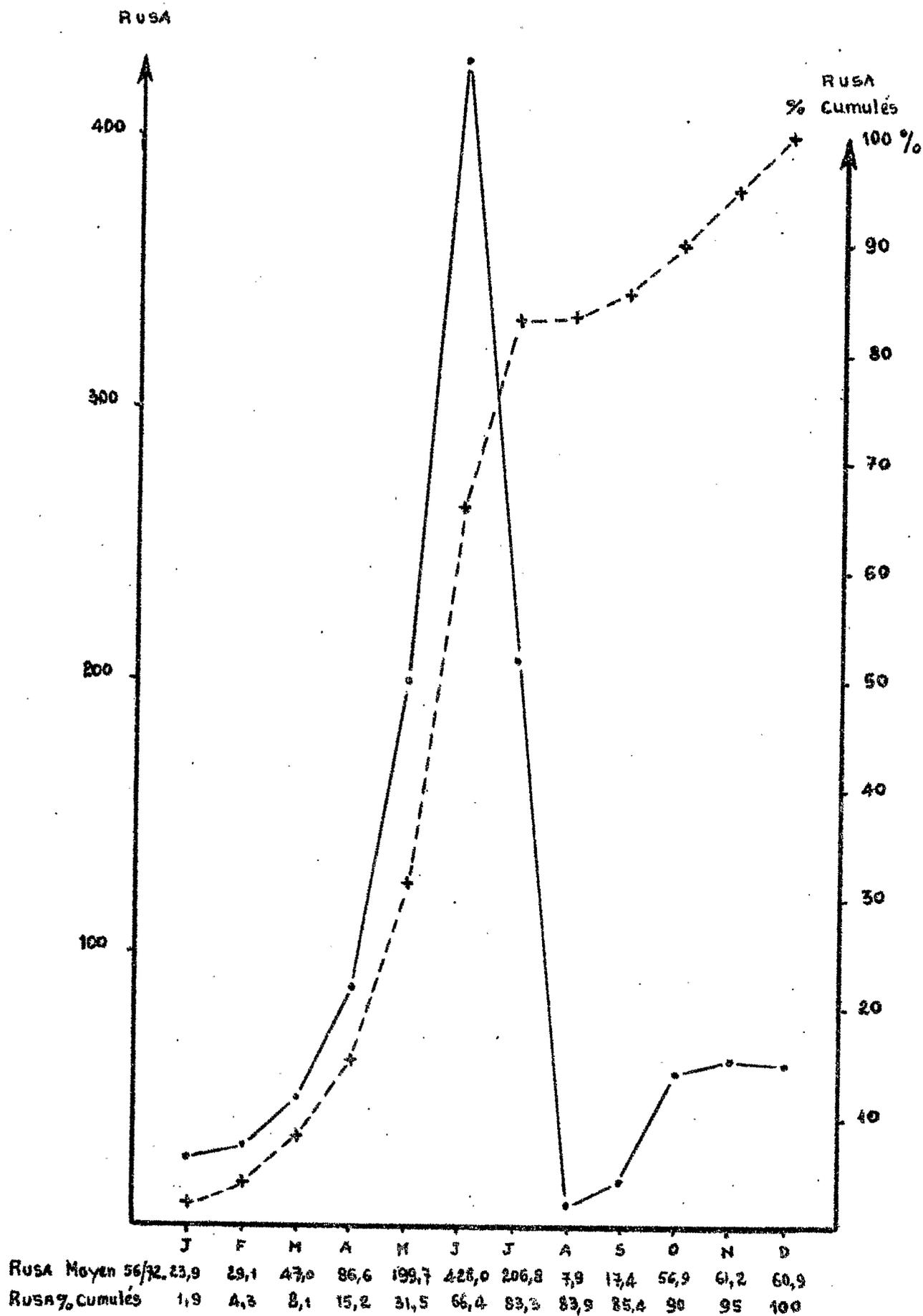


Fig.42-2. Agressivité climatique mensuelle (RUSA) dans la région d'Abidjan.

- 1956-72 -



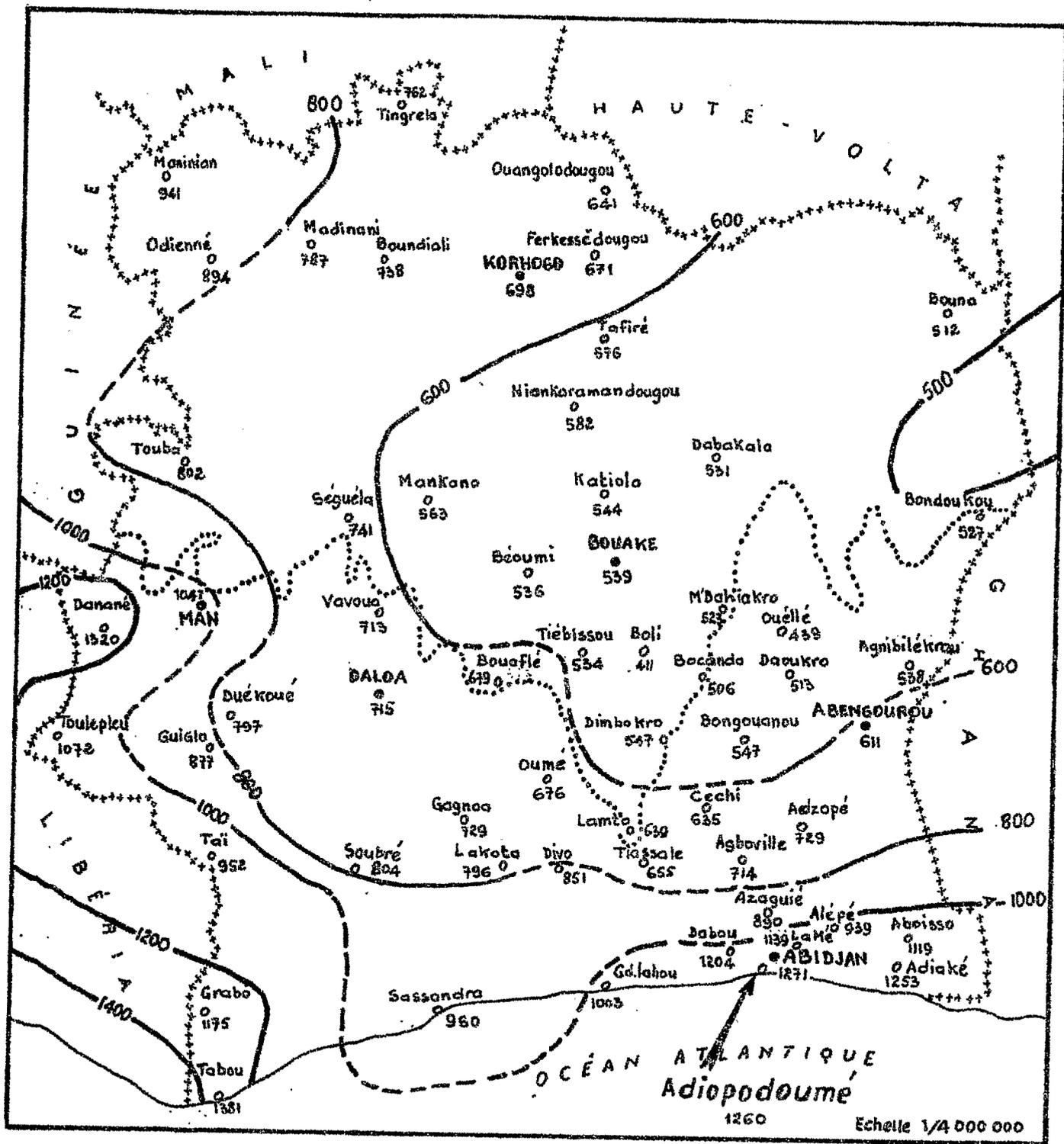
courbes moyennes (fig. 42.2.) est trompeuse : on saisit mieux l'irrégularité fondamentale des pluies de cette région sur le tableau 42.1. qui rapporte les observations mensuelles réelles. On voit aussi la nécessité d'avoir des séries d'observations sur 20 à 25 ans pour caractériser l'agressivité climatique d'une région comme l'a fait WISCHMEIER (1962) pour toute la plaine américaine. Pour la Côte d'Ivoire on ne dispose actuellement que d'une dizaine de stations d'enregistrements pluviométriques (ASECNA-ORSTOM et les instituts de recherche appliquée) de plus de quatre ans. Pour tenter une carte régionale de l'agressivité des pluies on a donc aussi été amené à chercher les liaisons existant entre R et la hauteur des pluies observées aux nombreux postes pluviométriques dont les relevés s'étendent sur plus de 20 ans.

TABLEAU 42.4. - Agressivité climatique dans quelques stations d'Afrique.

	Années étude	Pluie annuelle moyenne mm	RUSA moyen	Sources	R/P
Abidjan (Côte d'Ivoire)	1966/72	2100	1260	ROOSE thèse ; 1973	0,60
Divo (Côte d'Ivoire)	1967/68	1750	860	ROOSE, JADIN ; 1969	0,49
Bouaké (Côte d'Ivoire)	1960/72	1225	520	ROOSE, BERTRAND ; 1973	0,42
Ouagadougou (Haute-Volta)	1968/69	860	480	ROOSE, BIROT ; 1970	0,56
Séfa (Sénégal)*	1964/68	1234	681	CHARREAU, NICOU ; 1971	0,55
Bambey (Sénégal)*	1960/68	590	292	CHARREAU, NICOU ; 1971	0,50
Dschang (Cameroun)*	1968/71	1970	625	SEGUY ; 1971	0,32
Befandriana (Madagascar)*	1969/70	2031	1375	C T F T ; 1971	0,68

* Chiffres présentés par CHARREAU dans sa communication au Séminaire sur les sols tropicaux : Ibadan, 1972.

Fig. 42-3. Première Esquisse
de la repartition de l'indice d'agressivité climatique
(RUSA de WISCHMEIER, 1962)
en Côte-d'Ivoire.



D'après la carte des précipitations annuelles. (Eldin, Daudet; 1971).

D'après les précipitations moyennes arrêtées au 31-12-72 (ASECNA).

On peut constater au tableau 42.4. que les régions les plus arrosées sont aussi celles qui ont un indice d'agressivité le plus élevé. Entre cet indice et les précipitations le rapport est voisin 0,50 (à part pour les climats d'altitude Dschang et Befandriana). On pourrait donc établir une première esquisse de la carte d'érosivité de Côte d'Ivoire au départ de la carte des isohyètes annuels corrigés par le facteur 0,6 pour les zones montagneuses et littorales, 0,5 pour la forêt semi-décidue, 0,55 pour la savane à une seule saison des pluies et 0,45 pour la savane à 2 saisons des pluies. La figure 42.3. n'est donc qu'une toute première esquisse de la répartition annuelle de l'agressivité climatique. Elle sera corrigée dès que nous disposerons de l'ensemble des résultats.

Elle traduit bien les liens étroits que nous avons constatés entre la hauteur de pluie cumulée et les pertes en terre sur sol nu.

En conclusion, l'agressivité des pluies de cette région subéquatoriale est très élevée et constitue un danger grave chaque fois qu'on défriche la forêt protectrice et qu'on dénude inconsidérément le sol pour les cultures ou l'urbanisation.

- ANNEXE 42 : MODE DE CALCUL DE L'INDICE D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE (R) -

(voir C.T.F.T. 1966)

L'indice d'agressivité climatique (R) a été défini par WISCHMEIER comme étant le produit de l'énergie cinétique de la pluie par l'intensité maximale en trente minutes. Cet indice a été sélectionné empiriquement parmi de nombreux autres comme étant celui qui entre en corrélation la plus étroite avec les pertes en terre mesurées à la parcelle d'érosion.

Les unités.

Il est apparu utile de transposer la formule en unités métriques tout en gardant l'indice américain afin que nos résultats restent comparables aux leurs. Il faut donc définir un coefficient de conversion à appliquer aux chiffres obtenus en unités métriques pour calculer l'indice américain.

$$R = \frac{E_c \times I_{M30}}{100}$$

		!	
		!	
Energie cinétique	en Pied-ton /acre	!	en Tonne-mètre/km ²
Intensité max. 30'	en Inch/hour	!	en mm/heure
	1 pied	!	0,3048 mètres
	1 ton courte	!	0,9072 tonne métrique
	1 acre	!	0,004047 km ²
	1 pouce	!	25,4 mm
		!	

$$1 \text{ Pied-ton/1 acre} \times 1 \text{ pouce/heure} = \frac{0,3048 \times 0,9072 \times 25,4}{0,004047} = 1735,6 \text{ T.M/km}^2.\text{mm/heure}$$

Le dépouillement.

1. Sélection des pluies utiles :

- on ne dépouille que les pluies supérieures à 10 mm
- deux pluies unitaires sont séparées par au moins 6 heures où il pleut moins de 1 mm.

2. Calcul de l'énergie cinétique.

21. WISCHMEIER a établi une équation liant l'énergie unitaire (E_u) d'une pluie d'intensité homogène à son intensité (I_h) :

$$E_u \text{ (T/km}^2\text{/mm)} = 1214 + 890 \log I_h \text{ (mm/heure)}.$$

22. Il suffit donc de découper l'enregistrement pluviographique en tranches d'intensité constante, et de calculer la somme des produits des énergies unitaires par le nombre de millimètres qui sont tombés à intensité uniforme: on obtient l'énergie cinétique (E_c) en unités métriques. Il existe des abaques (CORMARY, MASSON, 1964) et des tables très commodes (CTFT, 1966) donnant l'énergie par millimètre de pluie pour chaque intensité.

23. On recherche ensuite sur la courbe d'enregistrement la période de 30 minutes pendant laquelle il est tombé la plus grande quantité de précipitation et on l'exprime en millimètres par heure ($I_M 30'$).

24. On calcule alors pluie par pluie

$$R_{USA} = \frac{S (E_u \times h \text{ mm}) \times (I_M 30')}{1735,6}$$

§ 43. La susceptibilité des sols à l'érosion (K).

43.1. Méthodes.

Il est bien connu que certains types de sols sont plus sensibles que d'autres à l'érosion et que cette sensibilité peut évoluer au cours du temps en fonction des traitements qu'on leur fait subir. FOURNIER (1967) rapporte que, sur les sols ferrugineux tropicaux de la station de Séfa au Sénégal, l'indice d'instabilité structurale de HENIN est correct sous forêt naturelle ($I_S = 0,4$ à $0,5$) mais augmente rapidement sous culture d'arachide ($I_S = 0,8$ la première année, $1,2$ la seconde et $1,4$ à $1,8$ après six années de culture). Parallèlement l'indice de perméabilité de HENIN passe de $K = 3$ à 5 cm/heure sous forêt à $2,5$ après 2 ans et $1,8$ à $2,6$ après 6 années de culture. A titre de comparaison il est bon de rappeler que ce même indice de perméabilité est de l'ordre de 50 cm/heure sous forêt sur les sols ferrallitiques sableux qui font l'objet de cette étude et passe à 5 à 10 cm/heure sur les parcelles cultivées.

Cependant, les tests de laboratoire sont bien incapables de définir la susceptibilité du sol d'une parcelle à l'érosion hydrique. WISCHMEIER a donc proposé de comparer tous les traitements à un type de parcelle nue standard qui sert de référence en tous points du globe (WISCHMEIER : Communication écrite, 1968). Il s'agit d'une parcelle de $72,6$ pieds de long, 9% de pente et traitée comme une jachère nue sans aucun apport de matières organiques depuis trois ans, travaillée superficiellement chaque fois qu'il se forme une croûte limitant la détachabilité du sol. En accord avec WISCHMEIER, nous avons adapté ce protocole (ROOSE, 1968) à l'Afrique en choisissant des pentes caractéristiques du type de sol et du paysage et en rectifiant les résultats à l'aide de l'abaque des pentes (voir § 44. facteur SL.) et éventuellement d'un facteur C fonction du couvert végétal ($C = 1$ si sol nu depuis trois ans).

43.2. Les résultats. voir tableaux 43.1., 2 et 3.

Une première approche consiste à chercher l'érosion maximale qui a été observée sur chacune des parcelles et de calculer la susceptibilité du sol au départ de la formule de WISCHMEIER

$$K = \frac{E}{R \cdot SL \cdot 2,24}$$

où K est l'indice de susceptibilité du sol à l'érosion,
 E est l'érosion en tonnes/hectare/an,
 R est l'indice d'agressivité climatique,
 SL est l'indice de pente (voir plus loin).

2,24 est le coefficient qui permet de passer des unités décimales (tonne métrique/hectare) aux unités anglaises (tonne courte/acre).

Au tableau 43.1., on constate que l'indice de susceptibilité du sol varie de 0,07 à 0,17 (en fonction des traitements auxquels ont été soumises les parcelles) autour d'une moyenne $K = 0,103$. L'influence de la pente (4,5 - 7 - 23 %) n'est pas sensible sur l'indice car le sol est très semblable quelque soit la pente : l'éloignement de l'époque du défrichement n'apparaît pas ici comme un facteur influant sur l'érodibilité du sol. Cependant il semble bien que les parcelles n° 2-3 et 4 sont plus sensibles que les autres.

Au tableau 43.2., sont présentés tous les indices K calculés au départ des observations sur parcelles nues (ou pratiquement nues : 1958-59-61). Les variations autour de la moyenne (0,092 ou mieux 0,105 si on tient compte de l'augmentation de l'ordre de 25 % des pertes en terre sur parcelles travaillées superficiellement), ces variations sont légèrement plus fortes (0,05 à 0,17) mais les résultats sont très voisins. Ces variations annuelles du simple au triple montrent la nécessité de répéter les mesures dans le temps. On constate d'ailleurs que les valeurs atteintes par l'indice K sont moins élevées les cinq premières années après le défrichement que de 1970 à 1972 et surtout de 1967 à 1969. Le travail superficiel du sol semble jouer un rôle important car l'encroûtement du sol diminue sa détachabilité.

TABLEAU 43.1. - Indice de susceptibilité du sol à l'érosion (K de WISCHMEIER) calculée d'après l'érosion maximum observée depuis 1956 sur chaque parcelle (facteur C proche de 1)

$$K = \frac{E}{R \times SL \times 2,24}$$

N° Parcelle	P1	2	3	4	5	6	7	8	Moyenne
Année	1958	1969	1970	1967	1969	1970	1970	1971	
R USA	1592	989	1195	829	989	1195	1195	959	
SL	0,5748	0,5748	0,5748	0,5748	0,5748	3,8141	0,3286	2,9295	
E t/ha	149,2	149,7	170,6	186,5	105,3	746,6	86,8	582,4	
K	0,073	0,118	0,111	0,174	0,083	0,073	0,099	0,093	0,103

TABLEAU 43.2. - Indice de susceptibilité du sol à l'érosion (K WISCHMEIER) calculé d'après l'érosion observée sur parcelles nues à Adiopodoumé.
(Facteur C = 1)

Année	Précipitations		"Facteur K susceptibilité du sol à l'érosion"				Moyenne de K
	h (mm)	RUSA	"pente 4,5 % "SL 0,3286	7 % 0,5748	20 % 2,9295	23,3 % 3,8141	
1956	2173	1057	" -	0,087	-	-	0,065
1957	2383	1427	" -	0,057	-	-	
1958	1945	1592	" -	0,065	-	-	
1959	1901*	1268**	" -	0,059	-	-	
1961	1893**	1110**	" -	0,057	-	-	
1967	1637	832	" -	0,142 + 0,174 +	-	-	
1968	2084	861	" 0,054	0,087 + 0,063	-	0,085	
1969	1951	989	" 0,101	0,129 + 0,118	-	0,067	
1970	1655	1251	" 0,094	0,106	-	0,070	
1971	1692	821	" 0,096	0,131	0,112	-	
1972	1634	818	" 0,081	0,113	0,059	-	
Moyennes			" 0,085	0,099	0,086	0,074	0,092
Nbre de répétitions			" 5	14	2	3	24

Note - + veut dire que les parcelles ont été soumises à un sarclo-binage au moins mensuel.

** Sol nu pendant une partie de l'année.

TABLEAU 43.3. - Evolution de l'érodibilité du sol (K) au cours de l'année 1971.

- Jachère nue sur une parcelle de 7 % de pente -

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie mm	29,5	86,5	115,5	155,2	447,5	294,5	140,0	9,5	57,7	159,5	128,3	31,0
RUSA	2,80	67,19	79,82	57,25	610,16	175,11	119,48	0	9,83	89,74	32,85	6,70
K	0,061	0,153	0,102	0,074	0,110	0,156	0,071	-	0,019	0,034	0,112	-

Pluie annuelle : 1654,7 mm

RUSA = 1251

K annuel moyen =

0,106

Au tableau 43.3., on peut voir l'importance des variations au cours des mois de l'année de l'indice K mesuré sur une parcelle nue de 7 % de pente en 1971 (0,02 à 0,15). Inutile donc d'essayer d'évaluer la susceptibilité du sol "à la sauvette" ; tout au plus peut-on se limiter à faire la moyenne des indices des trois mois mai-juin-juillet consécutifs les plus humides car ce sont eux qui ont le plus de poids dans les phénomènes érosifs de l'année.

43.3. Discussion.

Aux U.S.A. l'échelle de susceptibilité du sol à l'érosion hydrique passe de 0,60 à 0,03 pour des sols de plus en plus résistants (WISCHMEIER, JOHNSON, CROSS ; 1971).

A Adiopodoumé, le sol ferrallitique fortement désaturé, appauvri modal sur sables tertiaires peut donc être considéré comme très résistant puisque les valeurs annuelles de K oscillent entre 0,05 et 0,17 avec une moyenne sur 24 valeurs annuelles de 0,092 (ou mieux de 0,105 si on tient compte du fait que certaines parcelles n'ont pas été travaillées en dehors d'un labour et d'un planage annuels).

D'autres auteurs ont trouvé des résultats semblables. En moyenne Côte d'Ivoire, BERTRAND (1967) sur un sol ferrallitique rajeuni remanié issu de granite a trouvé des valeurs de K proches de 0,04.

Au Sénégal, CHARREAU et SEGUY (1969) ont obtenu en Casamance des valeurs comprises entre 0,05 et 0,17 pour un sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions.

A Madagascar (Befandriana Nord) le CTFT a obtenu une valeur de $K = 0,18$ en 1971.

Cependant les périodes d'observations furent trop courtes pour être significatives (quelques pluies à 2 ans).

Au Dahomey, VERNEY, VOLKOFF et WILLAIME (1967, 1968 1969) ont étudié l'érosion et le ruissellement sur les "Terres de Barre" (sols ferrallitiques sur sables tertiaires). D'après les résultats résumés au tableau 43.4. et dans l'hypothèse où le rapport entre l'indice d'agressivité climatique (RUSA) et les précipitations annuelles est de l'ordre de 0,5, le facteur K' (susceptibilité du sol) varie de 0,03 à 0,11.

Si on tient compte du fait que la première année après le défrichement, l'effet protecteur des matières organiques fausse l'évaluation par défaut, et du facteur C dû au couvert du maïs, de l'arachide et des techniques culturales (billons isohypses ou buttes ou à plat) on trouve un facteur K moyen de l'ordre de 0,107.

On remarque que la susceptibilité du sol à l'érosion augmente à mesure qu'on s'éloigne de l'époque du défrichement mais qu'on a atteint la valeur moyenne au bout de 2 à 3 ans.

On peut observer également que les valeurs de K sur "Terres de Barre" au Dahomey et sur les sables tertiaires en Côte d'Ivoire sont très voisines. Ces sols ferrallitiques sur matériaux sableux sont très voisins mais leur pédoclimat est actuellement bien différent. A Cotonou la végétation est un fourré et les précipitations annuelles sont de l'ordre de 1300 mm (dont 350 mm le mois le plus humide). A Abidjan la végétation naturelle est une forêt sempervirente et les précipitations annuelles moyennes atteignent 2100 mm (dont 700 mm le mois le plus humide). On conçoit que l'héritage historique d'un sol détermine le niveau moyen de la susceptibilité à l'érosion autour duquel les traitements agricoles actuels entraînent des variations plus ou moins importantes de l'indice K.

TABLEAU 43.4. Evolution de la susceptibilité du sol à l'érosion (K) en fonction du temps écoulé depuis le défrichement (pente 4 %)

- Agonkamey - Dahomey - 1965 à 1968 -

d'après les rapports de campagne de VERNEY, VOLKOFF et WILLAUME

Année après défrichement	Pluie		Culture et technique	C	K' brut	K
	h (mm)	R _{USA}				
1 an	1479	740	Sol nu à plat	1	-	0,031
2 ans	1026	513	maïs (plat ou butté)	0,8	0,088	0,105
3 ans	1452	726	maïs (plat ou butté)	0,8	0,088	0,105
4 ans	2364	1182	arachide (plat ou billon)	0,3	0,033	0,110

$$K = \frac{K'}{C}$$

En Haute-Volta, BIROT et GALABERT du CTFT (1968 ; 1971) ont obtenu sur un sol ferrugineux tropical peu profond sur carapace des valeurs de K passant de 0,05 la première année à 0,09 puis 0,32 et 0,24 les années suivantes.

Ces résultats remarquables soulignent encore la nécessité des répétitions des mesures dans le temps (effet résiduel des matières organiques) et montrent par ailleurs que les sols ferrugineux tropicaux étudiés sont plus sensibles à l'érosion hydrique que les sols ferrallitiques.

En 1969, WISCHMEIER et MANNERING, ont analysé les réactions aux pluies de 55 sols de CORN BELT et ont développé une équation liant l'index d'érodibilité du sol à dix propriétés physiques et chimiques des horizons superficiels du sol et à leurs interactions significatives. (voir ROOSE, des TUREAUX ; 1971). Selon cette équation, l'indice à Adiopodoumé est compris entre $K = 0,06$ et $0,15$.

D'après WISCHMEIER et SMITH (1963) ces valeurs correspondraient à des sols sableux très bien structurés (donc très résistants) ou encore à des sols recouverts d'une grande quantité d'éléments grossiers en surface (= mulch de cailloux).

Les résultats expérimentaux obtenus à Adiopodoumé sont très voisins de ceux qu'on pourrait obtenir par cette régression multiple.

En 1971, WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS (voir fig. 43.1.) ont proposé une simplification de cette longue régression multiple permettant d'évaluer l'indice de susceptibilité du sol à l'érosion K à $\pm 0,02$ près à partir des résultats analytiques suivants :

- les teneurs en limons et sables très fins (2 à 100 microns)
- les teneurs en sables (100 à 2000 microns),
- les teneurs en matières organiques,
- la structure et la perméabilité.

Nous avons appliqué cette méthode simplifiée à quelques sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux (voir tableau 43.5.).

FIG.43-1. NOMOGRAPHE PERMETTANT UNE EVALUATION RAPIDE DU FACTEUR K DE SUSCEPTIBILITE DES SOLS.

- D'opres WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS; 1971 -

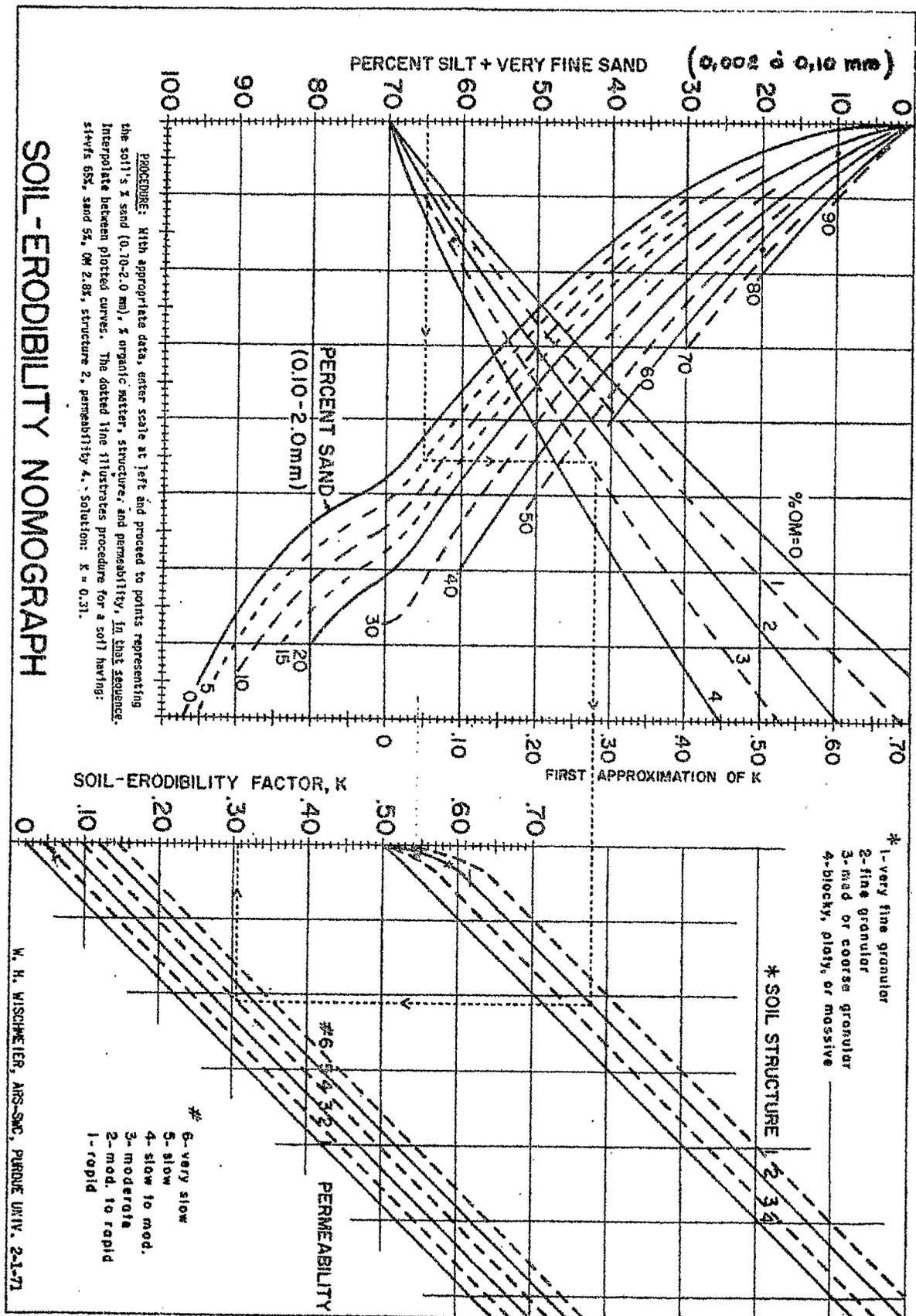


TABLEAU 43.5. - Susceptibilité à l'érosion (facteur K de WISCHMEIER) de quelques sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux en fonction de la végétation et de la roche mère d'après le nomographe de WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS (1971) -

				2-100 μ	0,1 à 2mm	M.O.	Structure	Perm.	K.
				Sables	%	1 à 4	1 à 6		
Sols ferrallitiques									
Adiopodoumé (Côte d'Ivoire)	Sables tertiaires appauvris modal	forêt	{ p = 3 à 8 % p > 8 %	16 14	70 60	5 8	2 2	1 1	0,05 0,04
		culture	{ p = 3 à 8 % p > 8 %	16 14	70 60	1 2	2 2	2 2	0,10 0,09
Azaguié (Côte d'Ivoire)	Schistes remaniés	forêt	p = 14%	38	44	2,4	2	2	0,18
		bananeraie	p = 14%	38	44	3,4	2	3	0,15
Divo (Côte d'Ivoire)	Granite remanié	forêt	p = 9%	13	60	1	2	2	0,05
Bouaké (Côte d'Ivoire)	Granite rajeuni remanié	savane arborée	p=4%	16	69	2	2	2	0,08
Korhogo (Côte d'Ivoire)	Granite remanié	Savane arbustive	p=3%	25	57	2,7	2	2	0,13
Befandriana (Madagascar)	? ?	savane herbeuse	p=12%	10	32	1,1	(2) ?	(2) ?	0,05 (0,18 mesuré)
Agonkamey (Dahomey)	Terres de barre	fourré arbustif	p= 4%	20	65	2,4	2	2	0,05 à 0,10
		culture		20	65	1,5	2	3	(0,03 mesuré) 0,06 à 0,12 (0,06 à 0,11 mesuré)
Sols ferrugineux tropicaux (f.t.)									
Gonsé : f.t.	issus de granite lessivé à taches	Savane arborée	p=0,5%	33	57	0,8	2	3	0,23 à 0,27
Gampela : f.t.	issus de granite Squelettique sur cuirasse	Savane arborée	p=0,5%	32	61	1	3	3	0,23 à 0,27
Séfa : f.t.	issus de granite Lessivé à taches	forêt claire	p= 1%	29	57	0,9	3	4	0,25 à 0,32
(Casamance)		culture		30	57	1	2	2	0,17 à 0,20
							3	3	0,20 à 0,27

Il en ressort que :

- 1 - les valeurs mesurées sur le terrain (tableau 43.1.) à Adiopodoumé sont très voisines de celles obtenues par cette méthode : cette dernière semble donc pouvoir être extrapolés en dehors des limites des sols étudiés aux U.S.A. ;
- 2 - les valeurs obtenues pour les sols ferrallitiques (tableaux 43.5.) sont très faibles et s'élèvent de 0,05 à 0,13 sur sols issus de granites et jusqu'à 0,15 - 0,18 sur sols issus de schistes (plus de limons) en fonction de la couverture végétale naturelle ou cultivée (minéralisation des matières organiques) ;
- 3 - sur les sols ferrugineux tropicaux les valeurs de K sont nettement plus élevées (0,17 à 0,32) étant données des teneurs en limons et sables fins plus fortes et des teneurs en matières organiques plus faibles que dans la zone ferrallitique.

Par manque de données ces auteurs n'ont malheureusement pu tenir compte du % de gravier recouvrant le sol. On sait pourtant le rôle très important qu'il peut jouer en tant que mulch en région tropicale (DUMAS ; 1965).

43.4. Conclusions.

L'équation de prévision de l'érosion mise au point par WISCHMEIER, SMITH et leurs collaborateurs dans la grande plaine des USA semble s'appliquer correctement en région tropicale sur les sols ferrallitiques et ferrugineux (où la kaolinite domine) à condition de respecter les règles des auteurs, à savoir, répéter les mesures dans le temps (K valable au bout de 3 ans de jachère nue travaillée sans apport de matières organiques).

Les rares résultats expérimentaux obtenus en Afrique de l'Ouest montrent que les sols ferrallitiques (K = 0,05 à 0,15) et dans une moindre mesure les sols ferrugineux tropicaux étudiés (K = 0,20 à 0,30) sont plus résistants à l'érosion hydrique que bon nombre de sols lessivés des régions tempérées.

Les phénomènes spectaculaires d'érosion observés dans ces régions, ne sont donc pas dus à une fragilité particulière des sols mais à une agressivité extraordinaire des pluies.

§ 44. Influence de la pente (SL).

La pente intervient dans les phénomènes d'érosion du fait de son inclinaison, de sa longueur et de sa forme. Nous ne discuterons ici que des pertes en terre puisque l'effet de la pente sur le ruissellement a été traité au § 33.

En effet, on peut observer à Adiopodoumé que les dégâts causés par l'érosion augmentent avec le gradient de pente. Sur la parcelle de 4,5 %, on n'observe que les manifestations de l'érosion en nappe avec des trainées sableuses et des microdemoiselles coiffées. A 7 % apparaît une hiérarchisation des écoulements en filets, avec formation de rigoles peu profondes et évasées. Au-delà de 20 %, la surface du sol semble labourée par les griffes des eaux ruisselantes : les rigoles s'approfondissent, les microdemoiselles coiffées et les falaises se multiplient et atteignent 4 à 6 cm. Bref, plus la pente augmente plus la surface semble tourmentée.

La longueur de la pente doit intervenir également puisqu'on observe très bien le fait que les rigoles ne se dessinent que 4 à 5 mètres en-dessous de la bordure amont de la parcelle et s'approfondissent à mesure qu'on s'éloigne de cette bordure. La lame d'eau refusée en amont vient donc grossir celle d'aval et augmente d'autant sa vitesse et son énergie cinétique (donc sa capacité et sa compétence).

Quant à l'influence de la forme concave, convexe, homogène ou gauchie il est plus délicat d'en estimer l'importance. A mesure qu'elles vieillissent et qu'elles sont soumises à une forte érosion, les parcelles d'érosion deviennent de plus en plus concaves puisque la base de la parcelle reste fixe (= canal de ruissellement) et le centre s'érode plus vite que le haut. Si on ne plane pas soigneusement chaque année la surface du sol, on observe des dépôts sableux juste avant le canal récepteur et l'érosion est faussé par défaut. A Adiopodoumé c'est le cas de plusieurs parcelles dont P6 et P8 malgré des essais de rectification.

WISCHMEIER estime que sur une pente concave ou gauchie l'érosion mesurée au bout de la parcelle sera inférieure à celle à laquelle on pourrait s'attendre du fait de la pente moyenne à cause de la sédimentation. Par contre, sur pente convexe l'érosion est fonction de la pente du segment le plus pentu plutôt que de la pente moyenne.

44.1. Influence de l'inclinaison de la pente.

Elle fut étudiée sur des petites parcelles sous pluies artificielles par DULEY et HAYS (1932), NEAL (1938), BORST et WOODBURN (1949) et par ZINGG (1940).

Ils en concluent que l'érosion augmente comme une fonction exponentielle dont la puissance varie de 1,3 à 1,4.

SMITH et WISCHMEIER (1957) ont à leur tour évalué cette influence à partir de 17 années de mesure sur des parcelles sous pluie naturelle de pente variant de 3 - 8 - 13 à 18 %. Une équation du second degré donne de meilleurs résultats que les fonctions logarithmiques suggérées par les chercheurs précédents.

$$E = \frac{1}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2).$$

où E s'exprime en tonne métrique par hectare et S en %.

Dans les essais de HAYS et de ZINGG, le ruissellement augmente significativement avec la pente.

44.2. Influence de la longueur de la pente.

Elle est beaucoup moins nette en ce qui concerne l'érosion. ZINGG (1940) conclut que les pertes en terre augmentent avec la longueur de la pente suivant une puissance 1,6.

WISCHMEIER (1958), après avoir examiné 532 résultats annuels sur parcelles d'érosion on conclut que les relations entre l'érosion et la longueur de pente varient plus d'une année à l'autre sur une même parcelle que d'un endroit à un autre. L'importance de l'exposant est donc fort influencée par les caractéristiques du sol, le déroulement des pluies, le % de pente, la couverture végétale et l'utilisation des résidus de récolte. Suivant les stations l'exposant varie de 0,1 à 0,9. Finalement en 1956 un groupe de travail de l'Université de Purdue décida d'adopter pour l'usage courant sur le terrain l'exposant 0,5 (donc \sqrt{L}) pour exprimer l'influence de la longueur de pente sur les pertes en terre. Son influence sur le ruissellement est encore moins nette : elle est tantôt positive tantôt négative ou nulle.

44.3. L'abaque du facteur SL.

En vue de l'utilisation pratique à grande échelle de ces résultats, SMITH et WISCHMEIER ont proposé une abaque qui traduit à la fois les influences de la longueur et du pourcentage de la pente selon la formule :

$$SL = \frac{\sqrt{L}}{100} \times (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2) \quad \text{où}$$

L est la longueur de pente exprimée en pieds: (1 pied=0,3048 mètre)

S est la pente en %.

Si on choisit une parcelle de 9 % de pente et 72,6 pieds de long, le facteur SL est réduit à 1 : par définition, c'est le cas des parcelles de références. Cependant, certains types de sols intéressants sur le plan agricole (les sols alluviaux par exemple) ne présentent jamais de telles conditions de pente. Il vaut mieux dès lors choisir une pente typique pour chaque type de sol mais garder une longueur uniforme de 22,12 mètres pour éviter les incertitudes concernant l'influence de la longueur de pente sur l'érosion. Dans ce cas malheureusement, on ne tient pas compte des caractères morphologiques qui lient souvent dans le paysage les pentes fortes à des longueurs faibles et des pentes faibles à de grandes longueurs : WISCHMEIER s'intéresse évidemment en premier chef aux problèmes agricoles.

Du point de vue scientifique, c'est le point faible de cette équation car chaque classe de sol réagit différemment à l'érosivité du climat en fonction des caractéristiques de la pente : il suffit de comparer la morphologie des manifestations de l'érosion sur des sols sableux et des sols argileux en surface pour en être convaincu.

Les sols sableux sont peu cohérents, mais la battance des pluies aura tendance à les tasser et à former une croûte résistante (association de lichens et de champignons) qu'un travail de sappe des eaux ruisselantes finira par détruire comme de petites falaises. L'influence de la pente est très forte sur les sols sableux à cause du manque de cohésion de ce matériau.

Les sols argileux sont beaucoup plus cohérents. Si la pente augmente les eaux ruisselantes se hiérarchisent et entaillent profondément le matériau : formation de rigoles, de ravines étroites, de petites marmites, etc... mais la surface attaquée reste plus limitée que dans les sables.

Le cas des sols vertiques est plus typique encore. HEUSCH au Maroc a montré que sur des vertisols sur marnocalcaire, plus la pente augmente, moins il y a d'érosion et de ruissellement (HEUSCH, 1969 et 1971, ROOSE ; 1971). Les sols étant craquelés les eaux s'infiltrent au sommet des pentes concaves (donc les plus fortes), drainent rapidement à l'intérieur du sol pour ressurgir en bas de pente d'où démarrent généralement les ravines. C'est vraisemblablement le cas pour bon nombre de sols riches en Montmorillonite qui se fendillent en saison sèche.

Il n'était donc pas inutile de vérifier sur les sols ferrallitiques sablo-argileux d'Adiopodoumé dans quelle mesure l'abaque SL. de SMITH et WISCHMEIER est applicable.

44.4. Résultats sur le sol ferrallitique sablo-argileux d'Adiopodoumé. (voir § 33.)

Dans un premier stade on a observé l'influence de la pente sur les phénomènes d'érosion sur trois parcelles cultivées en manioc sur butte en 1966 et en arachide en 1967.

Comme on a constaté que la pente avait une influence sur le développement du couvert végétal on a depuis 1968 maintenu les parcelles à nu. Ces parcelles, de 4,5 - 7 et 23 puis 20 % de pente ont été labourées et planées chaque année mais rarement on y a pratiqué de binage pour casser l'encroûtement (sauf pour 7 % en 1968 et 1969).

Les résultats ont été rassemblés au tableau 34.3. au chapitre précédent : nous ne reprendrons ici que les rapports qui lient les pertes en terre des pentes de 7 et 23 % par rapport à l'érosion observée sur la plus faible (4,5 %).

TABLEAU 44.1. - Croissance de l'érosion en fonction des gradients de la pente.

- Adiopodoumé 1966 à 1972 -

		Pluies		Erosion	Facteur S. L.		
		h (mm)	RUSA	4,5 % t/ha	4,5 % rapport théorique	7 % rapport mesuré	23 % rapport mesuré
1966	Manioc/butte	1275	571	7,6	0,3286	1,20	7,02
1967	Arachide/plat	1645	829	29,9	0,3286	1,34	4,70
Moyennes sous cultures		1460	700	18,8	0,3286	1,30	5,15
1968	Sol nu	2084	861	34,1	0,3286	0,93	6,00
1969	Sol nu	1951	989	73,8	0,3286	0,73	2,51
1970	Sol nu	1655	1195	86,8	0,3286	0,65	2,83
1971	Sol nu	1692	959	58,0	0,3286	0,78	3,41*
1972	Sol nu	1634	818	48,8	0,3286	0,80	2,12*
Moyenne sur sol nu		1803	964	60,3	0,3286	0,75	3,78/2,77*

* La pente a été ramenée à 20 % en mars 1971.

SL théorique 7 % = 0,5748 calculé d'après l'équation de WISCHMEIER

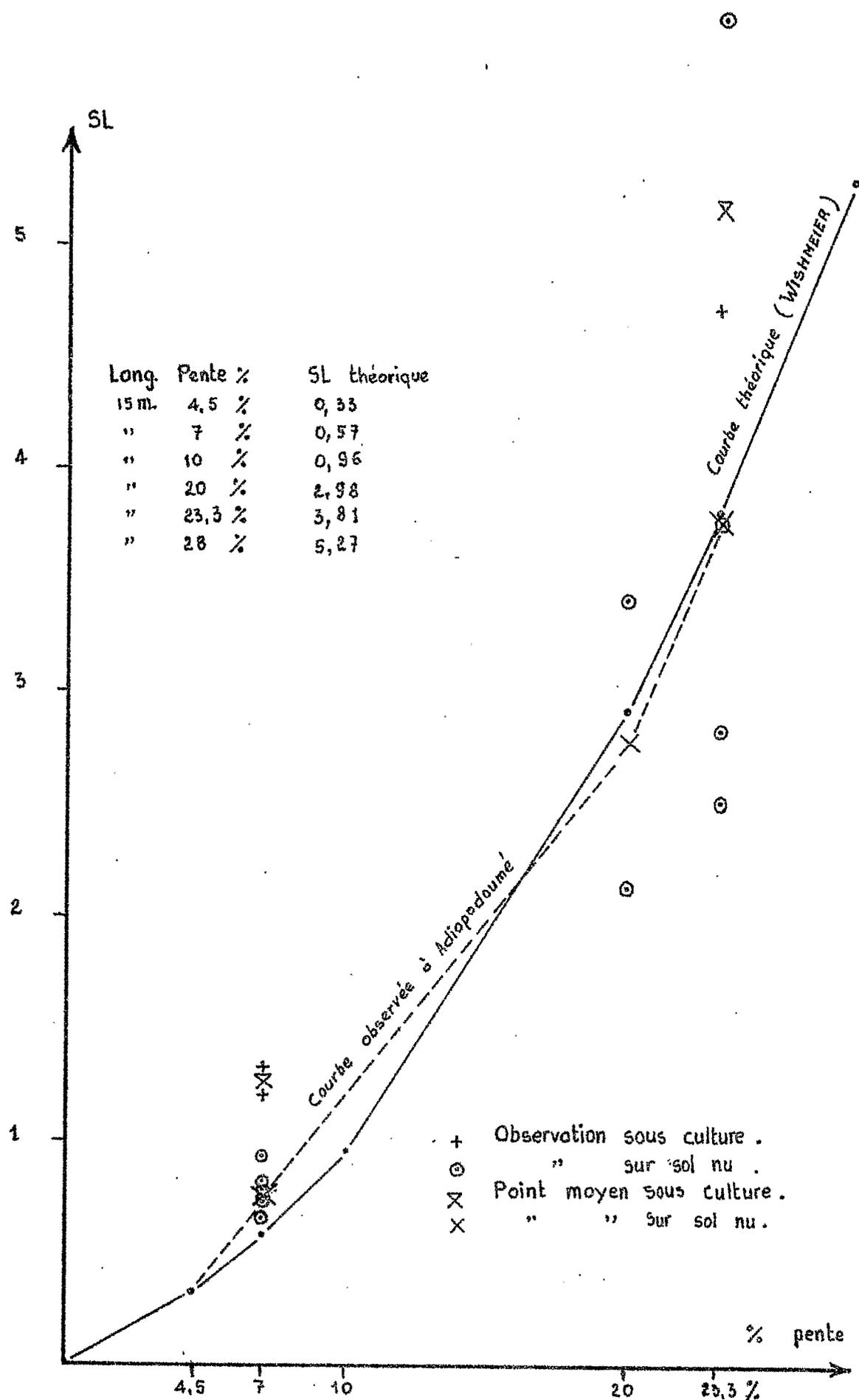
20 % = 2,9295

23,3% = 3,8140

Le tableau et la figure 44.1. montrent que, en moyenne, la croissance de l'érosion observée sur sol nu en fonction de la pente est très voisine de la courbe théorique proposée par SMITH et WISCHMEIER en 1962. Cependant les variations d'une année à l'autre sont importantes et dépendent probablement de l'encroûtement de la surface du sol : c'est la raison pour laquelle la parcelle de 7 % qui a été travaillée superficielle-ment en 1968-69 est au-dessus de la courbe théorique alors que les résultats des autres pentes sont en-dessous (aucun travail superficiel du sol). Par contre, la croissance de l'érosion sous culture est nettement plus rapide que la courbe théorique: il y aurait interférence avec une baisse du couvert végétal lorsque la pente augmente.

Fig. 44-1. Croissance de l'érosion en fonction de la pente.

— SL théoriques et observées à Adiopodoumé de 1966-72 —



Cependant, il faut noter le peu de répétitions dont nous disposons et l'énorme variation constatée (pour 23 % de pente on passe d'une année à la suivante de SL = 6 à 2,5 !). Or il semble que de très faibles variations de pente (0,5 %) suffisent à entraîner des variations notables d'érosion et quelque fois du ruissellement. L'exemple que nous avons donné (ROOSE, 1967) concernant un sol ferrugineux tropical de la station de Séfa au Sénégal est démonstratif à ce point de vue.

TABLEAU 44.2. - Erosion et ruissellement sous cultures (riz - arachide - sorgho - coton) en fonction de la pente.

- Séfa, moyenne de 1955 à 1962 -

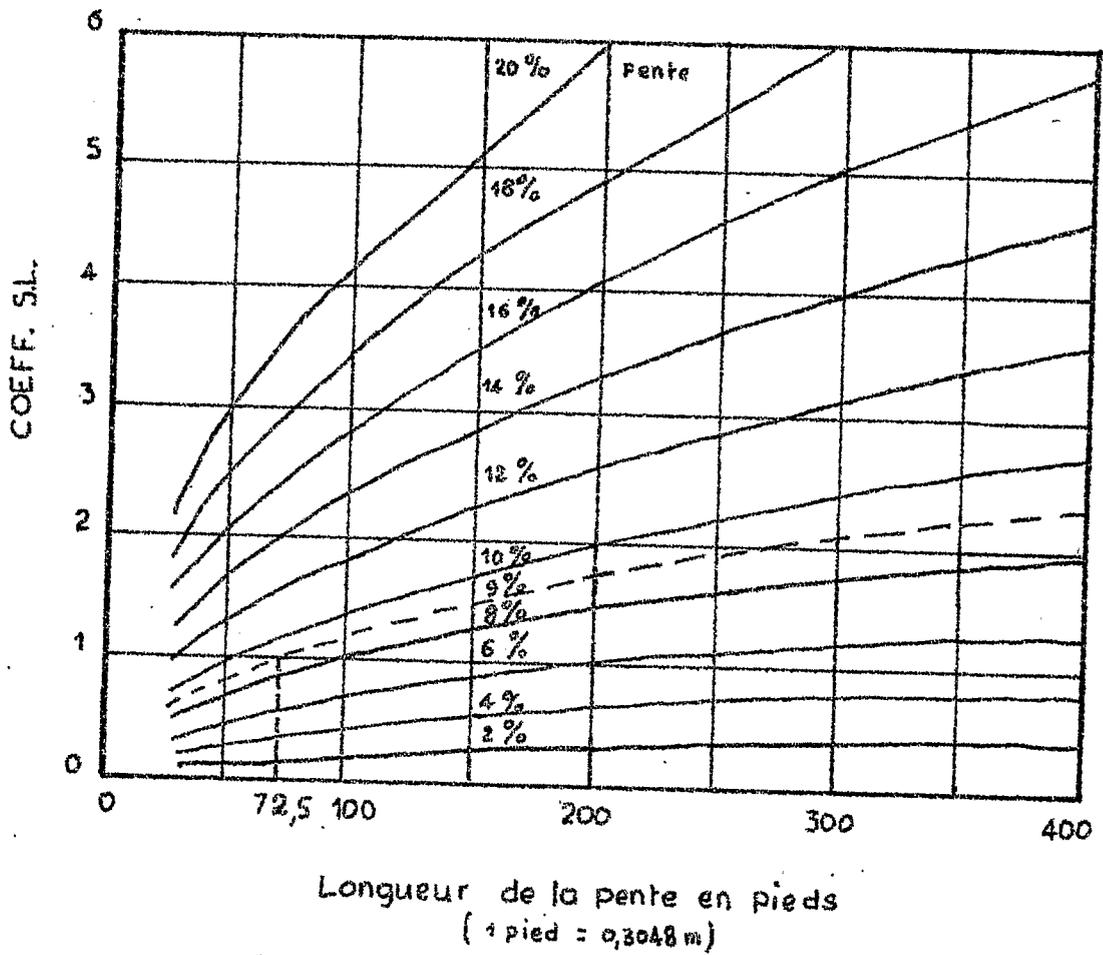
P = 1235 mm	pente	1,25 %	1,50 %	2 %
R moyen %		16,3	21,9	30,0
E moyen t./ha		4,75	8,62	11,81

Ce problème de l'influence de la pente (forme, % et longueur) sur l'érosion et le ruissellement en fonction des caractéristiques du sol et du couvert végétal est l'un de ceux que nous ne pourrions aborder sérieusement qu'à l'aide du simulateur de pluie.

En attendant mieux, l'abaque de SMITH et WISCHMEIER nous semble tout à fait acceptable pour les sols ferrallitiques riches en sables grossiers en surface.

Fig. 44.2.

DIAGRAMME DU COEFFICIENT SL (FACTEUR TOPOGRAPHIQUE)
EN FONCTION DE LA LONGUEUR ET GRADIENT DE LA PENTE.



(D'après SMITH et WISCHMEIER. 1962)

§ 45. Le couvert végétal et les façons culturales (C).

45.1. Définition.

Le facteur C qui comprend le couvert végétal, les façons culturales et leurs interactions est le rapport entre l'érosion observée sous une culture donnée définie par son niveau de production, ses façons culturales et ses précédents culturaux et l'érosion sous une jachère nue travaillée dans le sens de la pente toutes autres conditions étant égales (WISCHMEIER, 1960).

Ce facteur évolue au cours de la croissance du végétal et on peut le calculer pour chacune des périodes significatives des cultures et des régions envisagées.

Aux USA, on considère l'année entière pour les cultures pérennes dès qu'elles sont bien installées mais pour les cultures annuelles on distingue cinq périodes.

- F Sol nu depuis le labour jusqu'au semis ;
- 1 Lit de semis : 1er mois après le semis ;
- 2 Etablissement de la culture : 2e mois après le semis ;
- 3 Croissance du couvert : du 2e mois jusqu'à la récolte ;
- 4 De la récolte au labour de l'année suivante.

Il faut évidemment adapter ce découpage aux conditions climatiques et agricoles de l'Afrique.

En région tropicale à une seule saison humide, ce schéma convient assez bien : cependant la première période est souvent très courte (quelques jours au plus) et pourrait être confondue avec la seconde.

Lorsqu'il y a deux saisons humides et la possibilité d'effectuer deux cycles de culture, il faudrait prévoir neuf périodes au lieu de cinq. Par contre pour les cultures fourragères il n'est pas utile de distinguer plus de deux périodes dès la seconde année : la période la plus agressive et tout le reste de l'année.

En ce qui concerne les plantes annuelles vivrières ou industrielles ou fourragères la première année on peut distinguer dans la zone subéquatoriale à deux saisons des pluies les périodes suivantes :

- 1 sol nu plus résidus de récolte et/ou jachère avant le semis ;
- 2 premier mois après le semis ;
- 3 deuxième mois après le semis ;
- 4 troisième mois après le semis et jusqu'à la récolte ;
- 5 sol nu ou jachère: de la récolte 1er cycle au semis 2e cycle;
- 6 premier mois après le semis ;
- 7 deuxième mois après le semis ;
- 8 troisième mois après le semis ;
- 9 après la récolte : sol nu, jachère ou résidus de récolte.

On pourrait aussi distinguer la période avant et après les feux de brousse s'il s'agit de végétation naturelle (savane ou forêt claire) ou de culture traditionnelle.

45.2. Résultats.

On a réuni au tableau 45.1. une sélection de la table des facteurs C établie par WISCHMEIER aux USA. On y a ajouté la valeur annuelle de C pour les conditions culturales (semis le 15 avril) et climatiques moyennes (RUSA 1956/72) de la région d'Abidjan.

Enfin, on a donné les valeurs annuelles moyennes de C observées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé pour les couverts végétaux naturels et quelques cultures (vivrières, fourragères et industrielles).

TABLEAU 45.1. - Table des facteurs C (pratiques culturales).

- Extrait de la table de WISCHMEIER (1960) et estimation pour la région d'Abidjan.

- Valeurs observées aux parcelles d'Adiopodoumé (1956-72).

		" Rendement q/ha	F sol nu	1 semis 1 mois	2 2e mois	3 3e mois	4 après récolte	Moyenne annuelle estimée pour Adiop.
<u>Maïs continu</u>	- NON F.	" 22	85 %	92	80	50	85	74
	- N P K	" 36	85	92	72	35	80	66
	- fumier 20t/ha	" 36	80	85	70	35	70	63
	"	" 36	64	72	52	28	62	50
<u>Maïs continu</u>	- R. E.	"						
	-	" 22	70	76	64	38	65	59
	-	" 36	55	70	58	32	50	51
	-	" 67	36	63	50	26	30	41
<u>Maïs après prairie</u>	2,5 t/ha	22	23	40	43	30	45	37
	1ère année 8 t/ha	67	8	25	17	10	15	15
	2ème année 2,5 t/ha	36	46	62	54	30	50	47
	8 t/ha	67	25	48	37	20	24	31
	après enfouissement pailles	"						
<u>Coton (lignes 43-45-47)</u>		"						
- Continue F.	moyenne	-	45	80	80	52	48	64
	forte	"	42	70	70	48	42	57
- après culture en ligne F.	moyen	"	45	70	70	48	42	57
<u>Prairies (lignes 65 à 72)</u>		"						1 à 3 %
<u>Soja (voir maïs)</u>		"						
<u>Céréales (lignes 75 à 84)</u>		"						
	R E / F. moyen	" 22	60	36	5	15	3	19
- 1ère année après jachère		" 36	41	25	5	15	3	15
		" 67	20	12	2	10	1	8
- 2ème année après jachère		" 22	75	45	6	15	3	22
		" 36	58	35	5	15	3	18
		" 67	32	19	5	15	3	13
<u>Adiopodoumé 1956-1972</u>								
1	forêt secondaire	"						0,1
2	jachère naturelle	"						0,5
-	prairie en plante de couvert"							
3	1er an	350						0,1 à 2
4	hâtive, bien développ.	0 à 150						70 à 15
5	tardive, mal développ.	"						0,1 à 0,3
6	2e an : bon développement	300						
7	manioc ou igname/butte hâtif"							20 à 30
8	tardif"							50 à 70
9	maïs B.P.F. : NON F./P.E	" 15						90
10	arachide PL./NON F.	" 10 à 15						85
11	Ananas PL. 1er an	750						12
12	2e an	750						5
13	B.P.Cl.	" 750						2

NON F.= non fertilisé; R.E.= résidus enfouis; P.E.= pailles exportées; billons parallèles à la pente = B.P.F. ; B.P.Cl.= billons perpendiculaires à la pente et cloisonnés ; PL = à plat.

- RUSA pour la zone ABIDJAN -

J	F	M	A	M	Juin	Juil.	A	S	O	N	D	TOTAL
1,9%	2,4%	3,8%	7,1%	16,3%	34,9%	16,9%	0,6	1,4	4,6	5,0	5,0	1.225

- En ce qui concerne la forêt secondaire, les jachères couvertes de végétation naturelle herbacée, les cultures arborescentes industrielles protégées par une bonne plante de couverture les cultures paillées, les prairies établies depuis plus d'un an et même dans certains cas les jachères cultivées en graminées vigoureuses (Guatemala grass., Panicum max., Cynodon) mais plantées tôt dans l'année et suffisamment fertilisées, le facteur C varie de 0,1 à 2 % : les risques d'érosion sont négligeables.

- Par contre, pour les cultures vivrières telles que le manioc ou l'igname sur buttes, le maïs sur billons (dans le sens de la pente) et l'arachide à plat, cultures extensives peu fertilisées, le facteur C s'élève de 20 à 90 %. L'ampleur des variations montre bien qu'il y a des possibilités de réduire sérieusement l'érosion sous ces cultures vivrières moyennant quelques précautions : cloisonnement des buttes et billons, plantation hâtive bien fertilisée à forte densité, butte phytosanitaire, paillage et abandon des déchets de culture sur le champ.

- Enfin, l'ananas semble une culture qui protège bien le sol (C = 2 à 12 %) à condition d'être planté suffisamment tôt avant les grosses pluies ce qu'il supporte d'ailleurs fort bien physiologiquement. Lorsqu'on le cultive sur billons isohypses cloisonnés on constate que les pertes en terre diminuent encore, le facteur P pour le billonnage isohypse cloisonné étant de l'ordre de 0,2.

45.3. Discussion.

Si on compare nos résultats avec ceux qui ont été obtenus aux USA on constate que :

- on obtient les mêmes ordres de grandeur du facteur C pour les prairies établies ;

- par contre le facteur C pour le maïs est nettement plus grand à Adiopodoumé (C = 90 %) qu'aux USA où il varie de 15 % (pour la première année de maïs après enfouissement d'une bonne prairie) à 74 % (pour du maïs en culture continue non fertilisée). Ceci tient peut-être au fait qu'en région équatoriale il y a deux cycles et donc deux périodes où le sol est mis à nu : la protection offerte par les cultures y est donc nécessairement plus faible que dans les régions à une seule saison de culture.

- Il est important de noter également qu'aux USA pour une même culture de maïs on obtient des facteurs C qui varient
- de 74 % en culture continue sans engrais mais exportation des pailles,
 - à 63 % en culture continue avec engrais minéraux,
 - à 50 % en culture continue avec enfouissement de 20 t/ha de fumier,
 - de 59 à 41 % en culture continue avec enfouissement des pailles
 - de 37 à 15 % après enfouissement d'une prairie.

Il est donc très possible d'augmenter l'efficacité de la protection offerte par une culture donnée en soignant la fertilisation minérale et organique, en enfouissant les pailles ou en les laissant à la surface du champ, en alternant les cultures et les jachères cultivées (prairies temporaires) et fertilisées.

On devrait donc arriver en Côte d'Ivoire à abaisser le facteur C à 30 % pour le maïs (et d'autres cultures) en grande culture à condition d'appliquer un niveau de fertilisation suffisant, de laisser les pailles et tous les déchets de culture sur les champs, d'alterner 3 ou 4 années de culture avec 1 ou 2 ans de jachère améliorée et enfouie.

Nous ne disposons d'aucune valeur pour la culture du riz sec aux USA qui n'est d'ailleurs pas cultivé en basse Côte d'Ivoire. On pourrait adopter en attendant mieux les valeurs obtenues aux USA pour les céréales soit $C = 10$ à 20 % et qui tient compte du fait que le riz normalement fertilisé est une culture fermée dès la 8^{ème} semaine après le semis.

Au tableau 45.2. ont été réunies les valeurs moyennes du facteur C observées au CRA de Bouaké sur les cases d'érosion mises en place par BERGER en 1960 et calculées d'après les chiffres publiés par BERTRAND (1967) en supposant le facteur K voisin de 0,1 et $SL = 0,525$.

TABLEAU 45.2. - Valeurs du facteur C (culture et façons culturales) à la station de Bouaké.

- 1960 à 1965 -

(d'après les résultats publiés par BERTRAND en 1967)

- SL = 0,525 et K = 0,1 -

Culture et façons culturales	USA moyen de la période	C moyen pour la durée de la culture
Igname - sur butte, culture traditionnelle	418	10 %
	- sur butte cloisonnée et/ou paillée	1
Maïs 1er cycle - sur billons parallèles à la pente	278	93
	- sur billons cloisonnés perpendiculaires à la pente	234
Coton 2e cycle - sur billons parallèles à la pente	155	63
	- sur billons cloisonnés perpendiculaires à la pente	170
Arachide 1er cycle à plat	222	38 (62) *
Tabac 2e cycle à plat	197	52
Desmodium - 1er cycle + 2e cycle	417	16
	- 2ème cycle	394
Riz sec - cycle long (semis en juin)	345	10 (20) *
	- cycle court (semis en juillet/aofût)	-

* Les chiffres entre () sont les valeurs maximales observées entre 1960 et 1965.

On constate qu'il y a certaines similitudes avec nos résultats mais également des précisions supplémentaires :

- l'igname est plantée plus tôt dans la région de Bouaké (C = 10%) que le manioc sur les cases d'érosion d'Adiopodoumé (C = 20 à 70 %) ;
- le maïs sur billon mal orienté a des coefficients très voisins (90 %) ;
- l'arachide 1er cycle a un coefficient moyen nettement plus faible à Bouaké (C = 38) qu'à Abidjan (C = 80) mais il peut y atteindre 67 % .
- le coton 2ème cycle protégerait mieux le sol (C = 63 %) que le maïs ;
- le tabac 2ème cycle également (C = 52 %) ;

- le riz sec en cycle long c'est-à-dire semé en juin, est sensible à l'érosion le 1er mois mais se comporte comme une culture fermée dès le 2e mois ($C = 10\%$ à 20% maxi.). Planté 2ème cycle, en dehors de la période des fortes pluies il laisse s'échapper très peu de terre. Une bonne préparation du sol (labour profond en courbe de niveau) devrait encore améliorer la protection du sol par la riziculture de plateau.
- la jachère cultivée de *Desmodium* couvre très bien le sol ($C = 16\%$) surtout si elle est mise en place après le 1er cycle à une période où il n'y a pas de pluies agressives ($C = 1\%$).
- la technique du billonnage isohypse et cloisonné réduit considérablement le facteur C (souvent autour de 1%) : cette technique devrait donc être généralisée pour les cultures qui couvrent mal le sol.

Si on pouvait faire abstraction des façons culturales on pourrait classer les plantes selon leur capacité de protéger le sol de façon décroissante :

- 1/ jachère cultivée ou naturelle forêt et savane ($C = 0,1$ à 1)
- 2/ le riz de plateau semé en dehors de la saison la plus agressive ; ($C = 10$ à 20)
- 3/ l'ananas et l'igname ($C = 2$ à 20),
- 4/ l'arachide ($C = 40$ à 80)
- 5/ le coton et le tabac de 2ème cycle ($C = 50$) ;
- 6/ le maïs ($C = 93$).

L'utilisation du facteur C de WISCHMEIER permet de comparer efficacement les aptitudes des plantes et façons culturales quelle que soit l'agressivité du climat durant la période considérée, le sol et la pente des stations expérimentales. Le coefficient est donc susceptible d'aider à la définition des meilleures techniques culturales pour chaque culture et des rotations à mettre en place en fonction des conditions écologiques régionales.

§ 46. Les pratiques antiérosives (P).

Les parcelles d'érosion de petites tailles (100 à 200 m²) sont généralement mal adaptées à l'étude des méthodes de lutte antiérosive : il faut effectuer les comparaisons sur de petits bassins versants de quelques hectares.

Nous nous bornerons à joindre nos résultats aux coefficients P préconisés aux Etats-Unis après de nombreuses études sur petits bassins versants (WISCHMEIER, 1958 ; ROOSE et BERTRAND, 1971 ; ROOSE, 1973).

Rappelons simplement que ce facteur P est le rapport entre les pertes en terre observées sur un champ aménagé et celles d'une parcelle non aménagée (ou de la parcelle de référence).

TABLEAU 46.1. - Le facteur pratiques antiérosives (P).

Techniques antiérosives	P.
<u>USA</u>	
- Labour isohypse	0,75
- Labour et billonnage isohypses	0,50
- Labour et bandes enherbées isohypses	0,25

<u>COTE D'IVOIRE</u>	
- Billonnage isohypse cloisonné	0,20 à 0,10
- Bandes antiérosives de 2 à 4 mètres de large	0,30 à 0,10
- Mulch de paille	0,01
- Mulch artificiel (Curasol : 60 gr./m ² /litre)	0,50 à 0,20
- Prairie temporaire	0,5 à 0,1
- Plante de couverture	0,8 à 0,1

On constate que les techniques "mécaniques" sont bien moins efficaces que les méthodes biologiques de lutte antiérosive : elles peuvent cependant rendre service avant l'installation complète du couvert.

§ 47. Conclusions.

Si on passe en revue les différents facteurs de l'équation de prévision de WISCHMEIER on constate que

- les sols ferrallitiques sont généralement assez résistants à l'érosion : K de 0,05 à 0,17 ;
- les précipitations par contre sont très agressives : R de 500 à 1400 unités USA en Côte d'Ivoire ;
- l'équation de la croissance de l'érosion en fonction de la longueur et du gradient de pente semble assez bien adaptée aux sols sablo-argileux de basse Côte d'Ivoire ;
- la couverture végétale joue un très grand rôle dans la protection du sol (et dans une moindre mesure des eaux) : les formations naturelles forestières ou herbeuses non brûlées offrent une protection quasi totale, les cultures offrent des protections très variables en fonction de l'espèce cultivée et des façons culturales adoptées.

Il reste encore un très gros effort à réaliser pour mettre au point des techniques culturales bien adaptées aux circonstances écologiques régionales.

- on constate donc que cette équation de prévision de l'érosion est bien adaptée à l'étude de l'érosion sur des sols riches en kaolinite (ferrallitiques et ferrugineux tropicaux) pourvu qu'on observe la règle des répétitions, dans le temps et dans l'espace, prévue par ses auteurs.
- elle a bien mis en évidence que les phénomènes d'érosion observés proviennent non pas de la fragilité du sol mais de l'agressivité du climat et des mauvaises techniques culturales. Grâce à une intensification appropriée des cultures (labour profond et fumure azotée en particulier) il est possible de les éviter.
- avec les résultats dont nous disposons en Côte d'Ivoire, il est déjà possible de passer à son application pratique grâce au nomographe permettant de calculer rapidement la susceptibilité de tous les sols non gonflants, grâce à la première esquisse de l'agressivité du climat qui sera précisée ultérieurement en fonction des nouveaux résultats dont nous disposerons et grâce enfin aux listes des facteurs C et P déjà disponibles pour les principales cultures de Côte d'Ivoire.

En dehors de l'intérêt pratique de cette équation qui a fait ses preuves sur le terrain aux USA, il faut souligner son intérêt théorique.

En effet, elle a permis d'isoler chacun des facteurs qui interviennent dans l'expression locale des phénomènes d'érosion et d'estimer l'ordre de grandeur de leur variation :

- l'agressivité des pluies varie de 1 à 20 :
 - 100 à 650 aux USA,
 - 200 à 600 au Maroc,
 - 500 à 1400 en Côte d'Ivoire,
 - probablement 100 à 2000 en Afrique de l'Ouest.
- l'influence du couvert végétal varie de 1 à 1000
 - 100 % sur sol nu
 - 0,1 % sous forêt en paillis.
- l'influence des pratiques culturales varie de 1 à 10
 - 1 sur jachère nue cultivée dans le sens de la plus grande pente
 - 0,1 sur billon isohypse cloisonné.
- l'influence de la pente varie de 1 à 50
 - 5 sur des pentes de 20 %
 - 0,1 sur des pentes de 1 %
- l'influence du sol varie de 1 à 12
 - Sols USA : 0,60 à 0,05
 - Ferrallitique = 0,05 à 0,17
 - Ferrugineux tropicaux = 0,20 à 0,30
- l'influence des techniques antiérosives varie de 1 à 10
 - sol nu cultivé dans le sens de la pente = 1
 - bandes d'arrêt en courbes de niveau ou billonnage isohypse cloisonné P = 0,1.

CHAPITRE 5 - ESSAI DE BILAN DES PERTES PAR EROSION SUPERFICIELLE.

Par érosion superficielle on entend les phénomènes de ruissellement et de migration des particules terreuses à la surface du sol à l'exclusion des migrations effectuées à l'intérieur du sol sous l'effet des eaux de drainage.

Dans les chapitres précédents on n'a tenu aucun compte de l'aspect qualitatif de l'érosion et du ruissellement : il n'a été question que de millimètres d'eau ruisselée et de tonnes de terre érodée par hectare et par an. Or, certains sols tropicaux sur cuirasse ou sur nappe gravillonnaire compacte présentent des horizons labourables peu épais. De plus les remontées biologiques (litière) concentrent souvent les trois quarts des éléments nutritifs dans les dix premiers centimètres (cas des sols forestiers).

Enfin les phénomènes d'érosion provoquent la destruction de la structure du sol (tassement), la séparation des particules fines et grossières et l'entraînement préférentiel des colloïdes organiques et minéraux.

Il nous semble donc important de compléter les données quantitatives observées à Adiopodoumé et interprétées dans le cadre plus général de l'équation de prévision de l'érosion de WISCHMEIER par une étude des conséquences qualitatives des phénomènes d'érosion sur l'évolution actuelle du sol étudié.

Le point de vue du pédologue va donc compléter et approfondir celui du conservateur du sol.

La première démarche qui vient à l'esprit consiste à étudier les caractéristiques analytiques du sol en place après différents traitements (en 1973) et si on constate une évolution, à chercher à définir sa dynamique depuis le défrichement.

Une deuxième approche est la méthode des bilans. On calcule les bilans hydriques sous différents traitements puis on tente d'établir les pertes chimiques et colloïdales par érosion (ruissellement, suspension et terres de fond).

§ 51. Evolution du sol en place.

51.1. Difficultés de la méthode.

Lorsqu'on désire des précisions sur l'évolution actuelle d'un sol sous l'action de différents traitements on pense d'abord à analyser au cours du temps les caractéristiques physiques et chimiques d'échantillons de terre prélevés sur les parcelles. Or il s'avère que cette méthode est à la fois lourde et difficile pour de nombreuses raisons :

- l'hétérogénéité du sol est très forte : il faut donc effectuer de nombreux prélèvements pour obtenir un échantillon moyen représentatif et de nombreuses analyses pour déterminer les seuils de signification statistique des différences observées entre traitements ;
- il faut tenir compte des variations saisonnières à date variable avec les précipitations ;
- la vitesse d'évolution est souvent lente et il faut prévoir des répétitions dans le temps ;
- à cause de la durée des expérimentations et du manque d'adéquation des méthodes analytiques, on court le risque qu'intervienne un changement de méthode et de manipulateur: les résultats d'analyse ne sont plus alors directement comparables ;
- du fait de l'expérimentation certains horizons fondent à la surface mais gagnent en profondeur (par le labour par exemple) : on ne sait plus très bien à quel matériau on s'adresse.

Dans le cas des parcelles d'érosion on crée une hétérogénéité supplémentaire du fait de l'isolement de la parcelle par une bordure en tôle. Certaines compensations ne se font plus en haut de parcelle qui évolue alors différemment du bas de la parcelle. Enfin, l'hétérogénéité à l'intérieur du sol en fonction de la profondeur et de l'épaisseur de l'horizon prélevé n'est pas négligeable.

51.2. Les résultats.

Ils sont résumés en huit tableaux et trois figures rassemblés en fin de paragraphe.

On a d'abord sélectionné un certain nombre de résultats analytiques "instantanés" permettant de constater la variation des caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon le plus sensible (0-10 cm).

1. à la surface des parcelles considérées comme des bassins versants (tableau 51.1.),
2. à l'intérieur de l'horizon meuble (0-20 cm) (tableau 51.2.),
3. d'une parcelle à l'autre, en fin d'expérimentation, en fonction de l'érosion qu'elles ont subie - (tableau 51.3.).

Etant donné la faiblesse des variations observées en fonction des traitements et l'absence d'étude statistique de leur signification il est difficile d'en tirer des conclusions détaillées. On peut cependant constater que certains résultats analytiques moyens (moyenne de 5 à 6 analyses d'échantillons composés de 9 à 15 prises) varient généralement dans le même sens, ce qui suggère les conclusions suivantes :

Tableau 51.1.

1. Sous culture et sol nu on constate un décapage de l'horizon sableux humifère superficiel et une lixiviation sans compensation des éléments solubles en haut de pente. En bas de pente, la sédimentation des sables grossiers dissociés des colloïdes organiques et minéraux (perte par le marigot) entraîne une dégradation de la structure, une texture plus grossière et une diminution du taux de matières organiques.
2. Sous forêt, l'énergie cinétique du ruissellement en nappe est trop faible pour déplacer les agrégats et les gros grains de sable si bien qu'on observe actuellement un appauvrissement général en particules fines par érosion sélective, la lixiviation des solubles sans compensation en haut de pente mais pas de colluvionnement sableux en bas de pente.

Tableau 51.2.

3. Quinze ans après le défrichement, ce sol cultivé et labouré chaque année à la houe sur 15 à 20 cm présente encore certains caractères d'un sol forestier dont la richesse chimique est concentrée à la limite de la litière en décomposition et de l'horizon humifère (0-10 cm) : les teneurs en argile et limons (0 à 50 microns) augmentent avec la profondeur tandis que celles des éléments fertilisants diminuent. Les phénomènes d'appauvrissement en particules fines de la croûte superficielle du sol (0-2 cm) et la lixiviation qui l'accompagne sont bien marqués sous culture dix mois après le labour annuel.

Tableau 51.3.

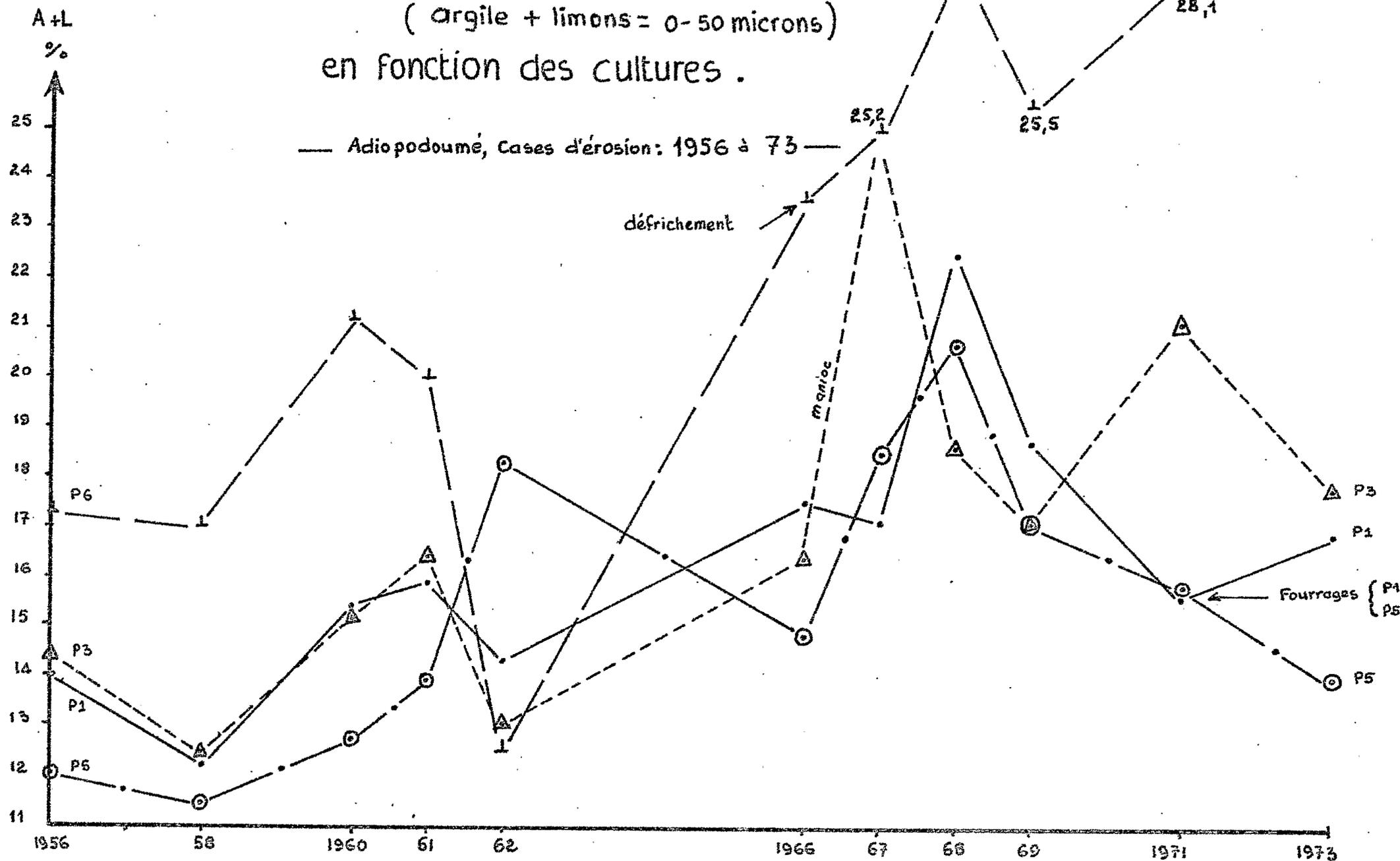
4. Si, après 17 années d'expérimentation, on compare un échantillon moyen (15 prises) de l'horizon superficiel (0-10 cm) sous forêt (pente 7 %) à des échantillons moyens semblables de parcelles de plus en plus érodées (culture et sol nu), On constate que, lorsque l'érosion augmente :
- les teneurs en particules fines (A+L) augmentent (13,6 à 17,8 %) (fonte et décapage de l'horizon sableux),
 - les teneurs en carbone et azote décroissent (C 18,7 % sous forêt à 7 % sous sol nu ; N = 1,4 % sous forêt à 0,6 % sous sol nu).

Le pH est acide sous forêt et sol nu (4 et 4,2) mais s'améliore quelque peu sous culture fertilisée (5 à 5,6) parallèlement à la somme des bases échangeables et au phosphore total et échangeable.

Il semble donc que moyennant une fumure minérale appropriée on puisse assez facilement maintenir et même améliorer quelque peu le niveau de fertilité chimique des sols forestiers défrichés. Par contre, les propriétés physiques se dégradent nettement par la culture après défrichement qu'il s'agisse de la porosité, de la densité apparente, de l'eau utile ou de la vitesse d'infiltration.

Aux tableaux 51.4. à 51.7. et aux figures 51.1. à 51.3. on a tenté de montrer la dynamique des phénomènes d'appauvrissement, de décapage et de lixiviation et donc leur vitesse d'action en fonction des traitements auxquels sont soumis quatre parcelles d'érosion depuis 1956 jusqu'en 1973.

Fig.51-1. Evolution du taux de Particules fines
 (argile + limons = 0-50 microns)
 en fonction des cultures .



A voir ces tableaux et figures il semble tout d'abord que les résultats analytiques évoluent de façon anarchique probablement plus en fonction du mode de prélèvement, de manipulation, d'analyse et des aléas de l'hétérogénéité naturelle du sol que des traitements d'ailleurs trop nombreux. Cependant quelques exemples de vitesse d'évolution sont assez clairs pour être cités.

La texture (fig. 51.1.)

- Lorsqu'en 1967 on a défriché la forêt sur la parcelle 6 l'érosion est passée brutalement de 0,1 t/ha/an à 520 t/ha/an et le taux d'argile + limons (A+L) est passé de 12-16 % à 23-25 % puis 28 % après 2 ans. pente 23%

- Par contre sous culture fourragère protectrice (parcelle P1 et P5) le taux de A+L a diminué de 19-22 % à 12-16 % en trois ans. pente 7%

Le décapage par érosion est donc très rapide sur pente forte mais l'appauvrissement en particules fines est également un phénomène assez rapide lorsque le sol est bien couvert.

Le carbone et l'azote (fig. 51.2.)

- En parcelle 3 sous jachère nue le taux de carbone diminue de 11 à 7,3 % de 1956 à 1960 et de 12 à 7,2 % de 1966 à 1969.

Par contre ce taux remonte doucement de 7,5 à 11,9 % en 4 ans de jachère de régénération (*Digitaria*).

- Le taux de carbone de la parcelle 6, sous forêt jusqu'en 1966, diminue de 17,9 % avant défrichement à 11,7 % un an après le défrichement, 8,6 % après trois ans et se stabilise autour de 7,3 % en 1973.

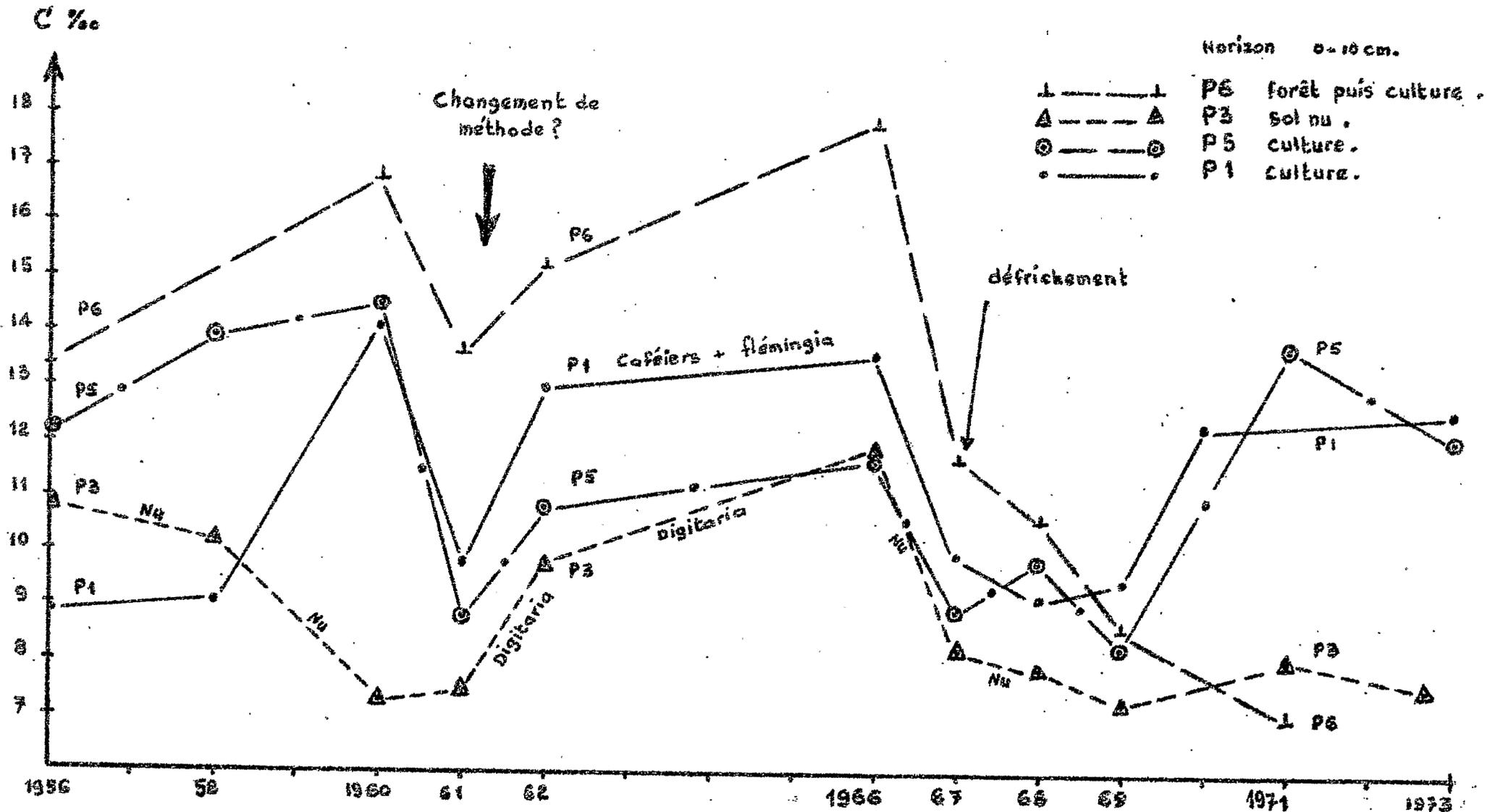
- Sous culture l'enfouissement de 40 t/ha de fumier ne marque plus sur le taux de carbone organique un an après l'enfouissement. Par contre l'influence du paillage, d'une plante de couverture ou d'une culture fourragère fertilisée se fait sentir dès la première année.

L'évolution de l'azote est parallèle et aussi rapide que celle du carbone.

On constate donc que l'évolution du carbone et de l'azote est très rapide durant les deux premières années dans un sens comme dans l'autre puis leurs taux se stabilisent à un nouvel équilibre. Tout se passe comme s'il existait deux types

Fig. 51-2. Evolution du carbone en fonction des cultures.

— Adiapodoumé, Cases d'érosion: 1956 à 73 —



de matières organiques l'un stable qui fixe le niveau de base (C = 7 %) en fonction des conditions écologiques des dix dernières années et l'autre très instable qui évolue d'une année à l'autre de 0 à 10 % en fonction des conditions de fertilisation, de production et d'enfouissement de matières organiques.

La somme des bases échangeables. (fig. 51.3.)

- En parcelle 6, la somme des bases échangeables tombe rapidement de 0,8 mé/100 gr. sous forêt à 0,2 mé/100 gr. après 4 années de jachère nue (décapage et lixiviation).
- En parcelle 3, la somme des bases échangeables diminue de 0,9 mé/100 gr. en 1968 à 0,3 mé/100 gr. après 3 années de jachère nue.

Ceci donne une estimation de la vitesse de lixiviation des bases dans ces sols sableux sous climat subéquatorial.

Les propriétés physiques du sol telles que la stabilité de la structure, la vitesse d'infiltration et la porosité totale ont toutes régressé sérieusement lors du défrichement puis se sont stabilisées à des niveaux en relation avec le taux de carbone organique du sol.

51.3. Discussion.

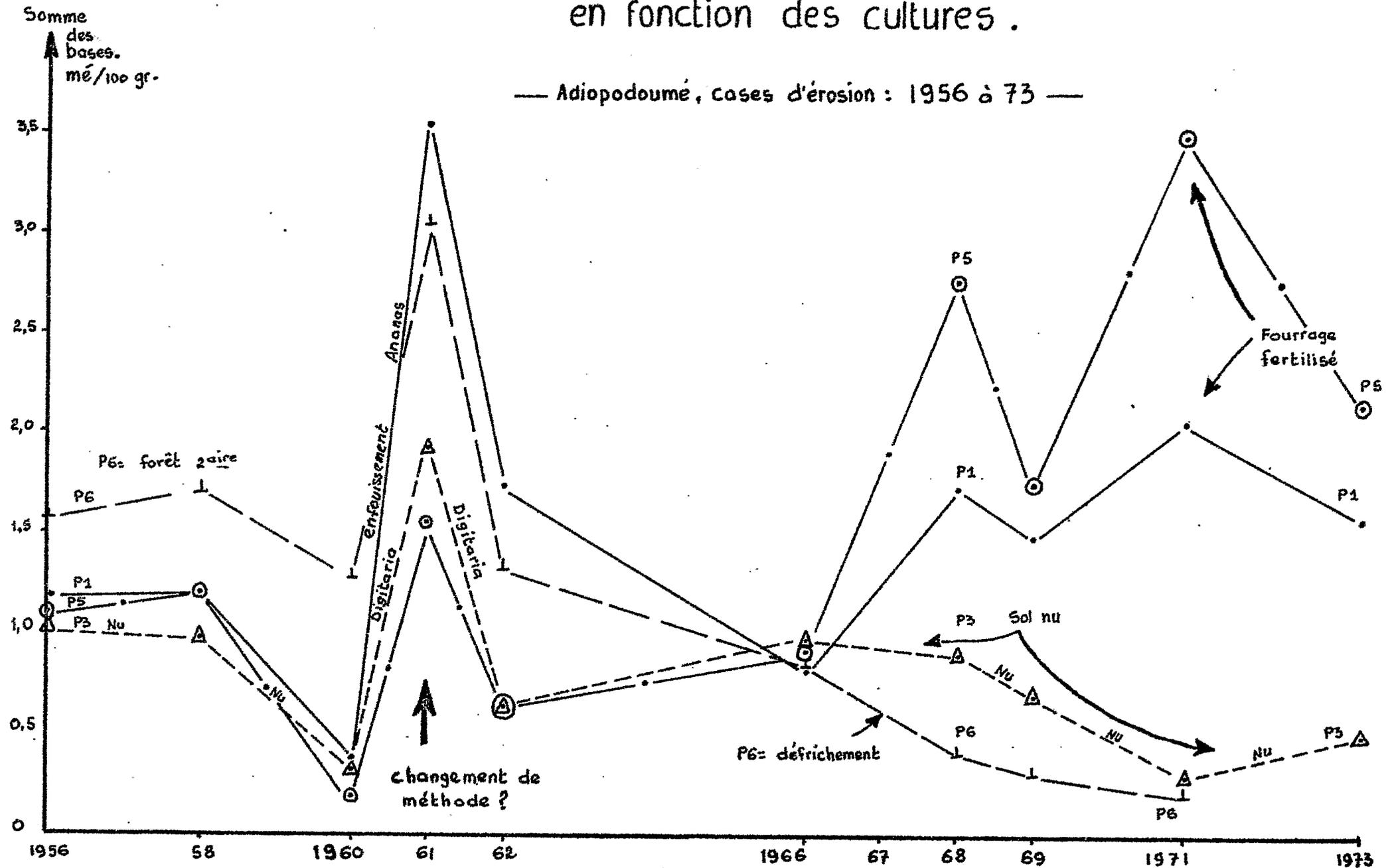
Cette étude de l'évolution du sol en place n'a porté que sur les 10 centimètres supérieurs, les plus sensibles puisque les plus riches en éléments nutritifs organiques et minéraux. Il faudrait cependant pouvoir se rendre compte jusqu'où les phénomènes secondaires de l'érosion font sentir leurs effets à l'intérieur du profil pédologique.

Malgré les imprécisions de cette étude il ressort quelques conclusions d'ensemble :

- en plus du décapage de l'horizon humifère superficiel, les phénomènes d'érosion entraînent des pertes sélectives en particules fines (moins de 50 microns) et en éléments nutritifs (lixiviation de surface).

Plus le sol est couvert et en pente douce, plus l'horizon superficiel va s'appauvrir. Plus le sol est découvert et en pente forte, plus l'érosion est décapante (possibilité de transport des particules de toutes tailles) et plus on constate la fonte de l'horizon sableux de surface et le mélange de cet horizon avec les niveaux plus argileux du sous-sol lors des labours.

Fig. 51-3 Evolution de la somme des bases échangeables (mé/100 gr). en fonction des cultures.



- la culture continue d'un sol forestier ne met pas nécessairement en péril sa productivité. Moyennant une fertilisation minérale suffisante pour compenser les pertes par drainage et par l'érosion et l'exportation par les récoltes et à condition d'utiliser des techniques culturelles bien adaptées à la région on peut augmenter légèrement son potentiel de production. Il faut cependant noter que la mise en culture d'un sol entraîne nécessairement une dégradation de ses propriétés physiques et hydrodynamiques encore que certaines cultures fourragères (jachère cultivée) pourraient contrecarrer cette tendance fâcheuse. Un gros effort devrait être fourni pour adapter à l'écologie équatoriale les techniques culturelles souvent importées telles que celles des régions tempérées qui ne connaissent pas une agressivité climatique aussi redoutable.
 - A Séfa (ROOSE, 1966) nous avons également remarqué que le potentiel de production des parcelles d'érosion n'avait pas baissé grâce à l'usage des engrais minéraux : le taux de carbone a diminué sur parcelle cultivée et celui des particules fines (A+L) a augmenté sur les parcelles les plus érodées.
 - A Bouaké, LE BUANEC (1971) est arrivé à des conclusions semblables en ce qui concerne le niveau de fertilité chimique des sols d'un bassin versant d'une dizaine d'hectares dans la station agricole de Bouaké après dix années de culture motorisée. Des rotations d'igname, maïs, coton, riz et *Desmodium asperum* n'ont entraîné aucune dégradation du potentiel de fertilité (défini par le taux d'argile, de matières organiques, de phosphore total, de pH, la capacité d'échange de bases et la somme des bases échangeables) sur les sols ferrallitiques rajeunis de ce bassin versant.
- LE BUANEC note seulement une augmentation des sables dans le bas-fond (sédimentation) et une légère augmentation des matières organiques (non significative) sur les autres sols.

Le décapage de l'horizon sableux superficiel et la perte d'une certaine masse de terre n'est pas catastrophique en soit : il ne faut cependant pas oublier que ce sont les éléments les plus fertiles qui s'en vont les premiers laissant le sol démuné de minéraux directement assimilables pour les plantes. Un apport d'éléments nutritifs sur les sols érodés peut donc favoriser le démarrage de la végétation laquelle peut recréer un horizon humifère et fertile en 3 ou 4 années. Mais en culture extensive où l'usage des engrais minéraux est exclus, la perte de fertilité d'un sol par érosion peut se faire sentir durant de longues années. La fertilisation minérale est donc une arme très efficace pour le conservateur des eaux et des terres.

Enfin, tous les sols tropicaux ne sont pas aussi homogènes et aussi profonds que les sols ferrallitiques sur sables tertiaires. Lorsqu'une cuirasse ou une nappe gravillonnaire compacte se trouve en-dessous de 10 à 15cm de sol arable, il faut lutter contre toute perte de substance pour éviter de diminuer encore l'épaisseur de la couche arable.

Il n'est donc pas inutile de souligner l'importance des aspects qualitatifs des phénomènes d'érosion à côté de l'aspect quantitatif généralement mieux étudié et plus facile à saisir.

TABLEAU 51.1. - Comparaison des caractéristiques analytiques des échantillons moyens de l'horizon 0-10 cm sur les parties hautes - moyennes et basses des parcelles d'érosion d'Adiopodoumé en 1966.

Moyennes de 6 parcelles cultivées de 7 % de pente
et 1 parcelle sous forêt de 23 % de pente.

	Pente 7 % : cultures				Pente 23% : forêt				en 1958
	Haut	Milieu	Bas	7% moyenne 1966	1958	Haut	Milieu	Bas	
Granulométrie %									
argile 0-2 microns	12,5	12,3	11,9	12,2	10,7	16,1	19,8	22,5	15,0
limons 2-50 microns	4,2	3,6	3,8	3,9	2,3	4,0	3,8	4,6	2,0
sables fins 50-200 microns	28,6	28,6	28,9	28,7	30,8	26,7	25,2	27,6	29,4
sables grossiers 200-2000	54,1	54,5	54,5	54,4	51,0	53,0	49,1	42,6	49,0
carbone ‰	12,5	13,3	12,6	12,8	9,42	14,0	19,7	20,1	13,85
azote ‰	0,97	1,02	1,05	1,01	0,80	1,19	1,53	1,70	1,10
phosphore total ‰	0,664	0,660	0,611	0,645	0,764	0,716	0,630	0,979	0,905
phosphore ass. Truog. ‰	0,11	0,11	0,09	0,10	0,57	0,05	0,06	0,06	0,41
Bases échangeables mé/100 gr									
Ca	0,31	0,23	0,36	0,30	0,93	0,14	0,24	0,41	1,10
Mg	0,33	0,31	0,33	0,32	0,37	0,16	0,26	0,38	0,56
K	0,25	0,27	0,22	0,25	0,04	0,08	0,32	0,34	0,06
Na	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,07	0
S	0,92	0,84	0,95	0,90	1,36	0,41	0,86	1,20	1,72
T	6,68	6,33	6,79	6,60	-	7,75	8,40	9,28	-
V %	14	13	14	13,6	-	5	10	13	-
pH	4,9	5,0	5,0	5,0	4,4	4,5	4,6	4,6	4,2
Bases totales mé/100 gr									
Ca	0,68	0,72	0,75	0,72	3,00	0,16	0,61	0,86	4,96
Mg	1,09	1,07	1,00	1,05	-	0,58	0,90	0,95	-
K	0,74	0,71	0,57	0,67	0,43	0,42	0,40	0,45	0,52
Na	0,22	0,18	0,20	0,20	1,10	0,15	0,08	0,19	1,16
Total	2,73	2,68	2,52	2,64	-	1,31	1,99	2,45	-
Instabilité structurale	1,51	1,40	1,58	1,50	-	1,09	1,12	1,04	-
Perméabilité K de Hénin (cm/h.)	21,2	18,9	24,9	21,7	70,0	64,0	43,6	48,3	70,0

TABLEAU 51.2. - Observation des gradients des teneurs dans l'horizon arable en fonction de la profondeur.

1971 - Adiopodoumé : moyennes de 5 parcelles de 7 % pente.

Adiopodoumé 1971						
Moyenne 5 parcelles cultivées	0-2 cm	2-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	
p = 7 %						
Granulométrie %						
Argile	9,4	10,3	14,4	17,2	12,2	
Limons	3,9	4,3	5,0	3,0	4,6	
Sables fins	35,2	28,5	24,1	28,4	27,6	
Sables grossiers	50,4	55,6	55,3	50,5	54,4	
Carbone %						
Carbone	10,9	12,2	11,5	8,0	11,6	
Azote	0,91	0,99	0,88	0,64	0,92	
C / N	12	12,3	13,1	12,5	12,6	
Phosphore total	0,88	0,85	0,79	0,75	0,83	
Phosphore ass. Olsen	0,62	0,70	0,26	0,22	0,46	
Bases échangeables mé/100 gr						
Ca	2,07	1,15	1,06	0,57	1,29	
Mg	0,73	0,67	0,92	0,63	0,81	
K	0,28	0,09	0,14	0,07	0,15	
Na	0,05	0,06	0,06	0,02	0,06	
S	3,13	1,97	2,18	1,29	2,31	
T	4,09	4,56	4,77	4,61	4,57	
V = S/T x 100	77 %	43 %	46 %	28 %	51 %	
pH	5,40	4,90	4,91	4,61	5,00	
Bases totales mé/100 gr						
Ca	4,15	2,62	1,64	1,03	2,44	
Mg	2,58	2,61	1,65	1,83	2,12	
K	0,75	0,66	1,12	1,15	0,91	
Na	0,23	0,25	0,47	0,43	0,36	
Total	7,71	6,14	4,88	4,44	5,83	

TABLEAU 51.3.- Comparaison des résultats analytiques d'échantillons moyens (sur 15 prises) de l'horizon superficiel (0-10 cm) prélevés en février 1973 sur des parcelles soumises à différents traitements (forêt, cultures fertilisées, sol nu dégradé).

- Adiopodoumé, parcelles d'érosion, pente 7 % -

Adiopodoumé		"2/73: parcelle d'érosion pente 7 %"				2/1973	1/1958 (DABIN)
Cases d'érosion: horizon 0 - 10 cm		Forêt en place	P5 culture protégée	P1 culture érodée	P3 Sol nu	pente 7 % moyenne 3 parcelles	pente 7 % moyenne 3 parcelles
argile 0-2 microns	"	9,7	9,5	11,3	13,2	11,4 x	10,3 x
limons 2-50 "	"	3,9	4,5	5,6	4,6	5,0	2,3
sables fins 50-200	"	25,9	28,3	28,5	30,5	29,5	34,3
sables grossiers 200-2000	"	58,2	56,4	52,9	50,9	54,1	53,1
Carbone %	"	18,7	12,1	12,6	7,6	10,8	8,7
Azote	"	1,43	0,90	1,03	0,60	0,84	0,76
Acides humiques	"	2,59	1,43	2,00	0,92	1,45	-
Acides fulviques	"	2,72	1,36	1,51	1,52	1,46	-
Taux C humifié	"	28,4	23,1	28,0	32,0	27,7	-
A. Fulv./A. hum.	"	1,05	0,95	0,75	1,65	1	-
Matières organiques C / N	"	32,3	20,8	21,6	13,1	18,5	15,0
	"	13,1	12,0	12,2	12,5	12,9	11,4
Phosphore total %	"	0,72	1,12	1,29	0,93	1,11	0,73
Phosphore assim. Olsen	"	0,05	0,22	0,44	0,09	0,25	0,05
Ca échang. mé/100 gr.	"	0,20	1,61	0,83	0,03	0,82	0,85
Mg "	"	0,30	0,50	0,60	0,27	0,46	0,24
K "	"	0,04	0,04	0,20	0,19	0,14	0,03
Na "	"	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
Somme bases échangeables	"	0,56	2,16	1,64	0,51	1,43	1,14
Capacité échange bases	"	4,28	3,72	3,67	3,53	3,63	-
V = S/T x 100	"	13 %	58 %	45 %	14 %	39 %	-
pH eau	"	4,25	5,60	4,95	3,95	4,85	4,20
Ca total mé/100 gr	"	0,55	3,25	2,50	0,50	2,08	2,97
Mg "	"	1,70	2,25	2,40	1,65	2,10	-
K "	"	1,04	1,07	1,33	1,20	1,20	0,39
Na "	"	0,34	0,34	0,67	0,48	0,50	0,96
Total bases totales	"	3,63	6,91	6,90	3,83	5,88	-
Densité réelle	"	2,59	2,62	2,62	2,64	2,63	-
Densité apparente	"	0,99	1,45	1,49	1,55	-	-
Porosité totale %	"	61,8	44,6	43,1	40,8	-	-
Instabilité structurale I _s	"	1,05	0,95	0,75	1,65	1,12	-
Perméabilité K Hénin cm/h	"	70,5	39,2	14,9	16,3	23,5	-
Vitesse infiltr. au champ	"	120	60	-	10	40	-
Var. Stock d'eau du sol sur 3 mètres mm	"	forêt 206	Panicum 157	Cynodon 107	Sol nu 96	Moyenne ± 120	-

x Valeurs ramenées à 100 % de matière minérale.

TABLEAU 51.4. - Evolution des caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon arable (0-10cm) de 1956 à 1973
 aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
 Parcelle 1 : cultures, pente 7 %

Adiopodoumé pente 7 %		1/1958 Crotalaire igname E) fort	1/1960 Panicum fumier 3/59	2/1961 Caféier+ fumure/ trou	2/1962 Caféier+ Flemingia paillage	2/1966 4/64 fumier	2/1967 4/66 fumier manioc	2/1968 maïs pas éro- sion	2/1969 4/68 fumier nu	2/1971 engrais NPKCa Mg	2/1973 engrais NPKCa Mg	2/1973 forêt d'à côté
argile 0-2microns %	13,0	9,0	11,7	7,2	12,8	13,3	13,6	13,1	12,6	11,4	11,3	9,7
limons 2-50	1,0	3,2	3,7	8,7	1,5	4,2	3,5	9,4	6,1	4,2	5,6	3,9
sables fins 50-200	27,5	32,1	48,3	26,9	25,2	29,4	31,5	26,5	25,0	26,7	28,5	25,9
sables grossiers <2000	57,5	50,2	35,0	56,5	56,7	52,4	50,0	51,0	56,0	56,9	52,9	58,2
Carbone %	8,86	9,07	14,1*	9,8	13,0	13,6	9,98	9,22	9,51	12,3	12,6	18,7
Azote	0,74	0,77	0,81*	0,75	0,89	1,07	0,83	0,80	0,78	1,04	1,03	1,43
C/N	12	11,7	17,4	13	14,4	12,7	12,0	11,5	12,2	11,8	12,2	13,0
Phosphore total	0,800	0,710	0,630	-	0,930	0,715	0,630	0,930	1,080	0,880	1,290	0,72
assim.	Truogg	0,48	-	-	-	0,12	-	Olsen	0,18	0,54	0,44	0,05
Ca échange. mé/100 gr	0,80	0,90	0,28*	1,15+	0,90	0,32	-	0,82	0,67	1,15	0,83	0,20
Mg	0,30	0,24	0,04	2,35+	0,74	0,34	-	0,64	0,53	0,58	0,60	0,30
K	0,04	0,03	0,06+	0,05	0,05	0,15	-	0,21	0,20	0,30	0,20	0,04
Na	0,03	0,03	-	-	0,02	0,02	-	0,04	0,05	0,05	0,01	0,02
Somme	1,17	1,20	0,38	3,55+	1,71	0,83	-	1,71	1,45	2,08	1,64	0,56
T. Capacité échange	-	-	-	-	4,77	6,18	-	4,39	3,78	4,74	3,67	4,28
pH eau	3,88	4,29	4,48	4,6	5,1	4,9	5,4	-	4,9	4,6	5,0	4,25
Ca total mé/100 gr	-	2,00	-	-	-	0,73	0,22	-	0,93	2,65	2,50	0,55
Mg	-	-	-	-	-	1,12	0,66	-	0,86	2,07	2,40	1,70
K	-	0,34	-	-	-	0,67	0,68	-	0,64	0,94	1,33	1,04
Na	-	1,08	-	-	-	0,15	0,25	-	0,42	0,32	0,67	0,34
Total	-	-	-	-	-	2,67	1,81	-	2,95	5,98	6,90	3,63
Instabilité struct. Is	-	-	-	0,41	-	1,62	-	-	-	-	0,75	1,05
Perméab. K Hénin cm/h	-	-	5,0	6,2	5,3	16	-	-	-	-	15	70
Porosité totale	-	-	48,5	48,5	50	-	-	-	-	-	?	62 %

TABLEAU 51.5.- Evolution des caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon arable (0-10cm) de 1956 à 1973
aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
Parcelle 3 : sol nu, pente 7 %.

Adiopodoumé	"	1/1958!	1/1960!	2/1961!	2/1962!	2/1966!	2/1967!	2/1968!	2/1969!	2/1971!	2/1973!	
Pente 7 %	" 4/1956	nue 2 ans E très fort	+ nu pas fumier	Digitaria pas fu- mier	Digitaria	4/64 fumier	fumier 4/66 ma- nioc	Nu	Nu pas fumier	Nu	Nu	
Argile 0-2 microns	% "	11,6	9,7	12,7	12,2	11,0	12,1	20,3	11,2	12,8	13,2	13,2
limons 2-50	" "	2,8	2,7	2,5	4,2	2,0	4,3	4,9	7,4	4,3	8,0?	4,6
sables fins 50-200	" "	30,0	31,4	40,8	28,2	27,2	30,2	29,0	29,0	30,0	27,4	30,5
sables gros. 200-2000	" "	55,3	50,2	42,7	55,2	57,5	51,9	45,5	51,5	52,5	51,6	50,9
Carbone	% "	10,75	10,02	7,30	7,50	9,8	11,9	8,25	7,93	7,26	8,11	7,60
Azote	" "	0,78	0,87	0,59	0,70	0,66	0,95	0,57	0,67	0,60	0,64	0,60
C/N	" "	13,8	12,4	10,7	14,8	12,5	14,4	11,8	12,1	12,7	12,5	12,5
Phosphore total	" "	0,75	0,78	0,40	-	0,81	0,63	0,54	-	0,78	0,70	0,93
assim.	" Truogg	0,07	-	-	-	0,01	-	-	Olsen	0,10	0,24	0,09
Ca échang. mé/100 gr	" "	0,76	0,70	0,12	0,90	0,47	0,30	-	0,40	0,29	0,15	0,03
Mg	" "	0,20	0,24	-	1,00(?)	0,12	0,35	-	0,35	0,22	0,11	0,27
K	" "	0,04	0,04	0,18	0,06	0,04	0,29	-	0,11	0,17	0,01	0,19
Na	" "	0,03	0,01	0,01	-	0,01	0,04	-	0,03	0,01	0,02	0,02
Total Somme échangeable	" "	1,03	0,99	0,31	1,96	0,64	0,98	-	0,89	0,69	0,29	0,51
Capacité d'échange bases	" "	-	-	-	-	4,39	5,99	-	2,87	3,26	4,08	3,53
V = S/T x 100	" "	-	-	-	-	14 %	16 %	-	31 %	21 %	7 %	14 %
pH eau	" "	3,84	4,15	4,26	4,2	4,2	5,0	4,5	-	-	4,37	3,95
Ca total mé/100 gr	" "	-	2,84	-	-	-	0,64	0,44	-	0,45	0,52	0,50
Mg	" "	-	-	-	-	-	1,11	0,80	-	0,50	0,99	1,65
K	" "	-	0,45	-	-	-	0,70	0,37	-	0,58	0,76	1,20
Na	" "	-	0,98	-	-	-	0,24	0,20	-	0,42	0,29	0,48
Total	" "	-	-	-	-	-	2,69	1,81	-	1,95	2,56	3,83
Instabilité struct.: Is	" "	-	-	-	0,34	-	1,48	-	-	-	-	1,65
Perméab. K de Hénin cm/h	" "	-	7,9	6,0	4,3	21,6	-	-	-	-	-	16
Densité réelle	" "	-	-	2,53	2,53	-	-	-	-	-	-	2,64
Densité apparente	" "	-	-	1,39	1,42	-	-	-	-	-	-	?
Porosité totale	" "	-	49,5	45	44	-	-	-	-	-	-	?
pF 4,2	" "	-	7,9vol	6,0vol	6,5vol	-	-	-	-	-	-	?
Capacité au champ	" "	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,7 pond
Eau utile	" "	-	2,1vol	4,7vol	2,4vol	-	-	-	-	-	-	-

TABLEAU 51.6. - Evolution des caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon arable (0-10 cm)
de 1956 à 1973 aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
- Parcelle 5 peu érodée, cultures diverses, pente 7 % -

Adiopodoumé	4/1956	1/1958	1/1960	2/1961	2/1962	2/1966	2/1967	2/1968	2/1969	2/1971	2/1973
Pente 7 %	"	ananas	ananas	enfouisse- ment ananas Pennisetum pas fumure!	enfouisse- ment Pennisetum	4/64 fumier	4/66 fumier manioc	maïs pas fumier	4/68 fumier maïs	N P K Ca Mg Panicum	N-P-K-Ca Mg Panicum
argile 0-2 microns %	10,2	10,7	10,5	10,7	16,3	11,1	14,2	13,6	11,5	11,1	9,5
limons 2-50 "	1,8	0,7	2,2	3,2	2,0	3,7	4,3	7,1	5,6	4,7	4,5
sables fins 50-200 "	33,0	33,9	40,5	23,1	21,8	28,2	33,0	23,5	30,0	29,0	28,3
sables gros. 200-2000 "	55,0	50,1	44,1	62,0	57,5	56,2	47,5	54,5	53,0	55,0	56,4
Carbone %	12,12	13,85	14,4	8,8	10,8	11,7	8,95	9,88	8,30	13,8	12,1
Azote	0,82	1,10	0,94	0,71	0,56	0,83	0,76	0,78	0,73	1,05	0,90
C/N	14,8	-	15,4	12,4	19,2	14,1	11,8	12,7	11,4	13,1	12,0
Matières organiques	-	-	24,5	15,2	-	-	15,4	17,0	14,3	23,7	20,8
Phosphore total	0,750	0,905	0,500	-	0,750	0,594	0,420	1,020	0,810	0,820	1,12
Phosphore assim.	Truogg	0,41	-	-	-	0,09	-	0,15	0,120	0,720	0,22
Ca échang. mé/100 gr.	0,80	0,94	0,12?	0,50	0,41	0,22	-	1,17	1,00	2,07	1,61
Mg	0,24	0,24	-	1,00(?)	0,20	0,33	-	1,19	0,58	1,23	0,50
K	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,36	-	0,35	0,14	0,12	0,04
Na	0,03	0,01	0,01	-	0,01	0,04	-	0,07	0,03	0,10	0,01
Somme des bases échang.	1,11	1,22	0,18?	1,55	0,67	0,95	-	2,78	1,75	3,52	2,16
Capacité d'échange bases	-	-	-	-	4,37	6,48	-	3,00	4,28	4,52	3,72
V = S/T x 100	-	-	-	-	15 %	15 %	-	93 %	41 %	78 %	58 %
pH eau	4,08	4,24	4,26	4,4	4,5	4,9	5,3	-	5,3	5,5	5,6
Ca totales mé/100 gr.	-	4,06	-	-	-	0,57	0,75	-	1,20	4,23	3,25
Mg	-	-	-	-	-	0,97	1,30	-	1,16	3,17	2,25
K	-	0,38	-	-	-	0,80	0,63	-	0,35	0,92	1,07
Na	-	0,82	-	-	-	0,27	0,30	-	0,15	0,43	0,34
Total bases totales	-	-	-	-	-	2,61	2,98	-	2,86	8,75	6,91
Instab. structurale : I _s	-	-	0,86	0,28	-	1,55	-	-	-	-	0,95
Perméab. K de Hénin cm/h	-	-	12,7	5,7	3,7	21,1	-	-	-	-	39

TABLEAU 51.7. - Evolution des caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon arable (0-10 cm) de 1956 à 1973 aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.

- Parcelle 6 ; forêt puis sol nu, pente 23 % -

Adiopodoumé	" 4/1956	! 1/1958	! 1/1950	! 2/1961	! 2/1962	! 2/1966	! 2/1967	! 2/1968	! 2/1969	! 2/1971	! 2/1967
Pente 23 %	" forêt " secon- " daire	! forêt ! secon- ! daire	! défriche- ! ment 4/66 ! + fumi- ! 4/66	! arachide	! Nu	! Nu	! forêt ! pente 7 % ! d'à côté ! profil F				
argile 0-2 microns %	" 15,5	! 15,0	! 16,0	! 17,0	! 10,3	! 19,5	! 19,8	! 19,0	! 21,1	! 24,8	! 9,7
limons 2-50 "	" 1,8	! 2,0	! 5,2	! 3,0	! 2,3	! 4,1	! 5,2	! 9,4	! 4,4	! 3,4	! 3,9
sables fins 50-200 "	" 24,0	! 29,4	! 35,9	! 24,2	! 32,8	! 26,5	! 25,5	! 22,0	! 22,0	! 31,3	! 25,9
sables gros. 200-2000 "	" 56,0	! 49,0	! 40,1	! 53,5	! 52,8	! 48,2	! 49,0	! 49,0	! 52,5	! 40,7	! 58,2
Carbone %	" 13,40	! 13,85	! 16,8	! 13,6	! 15,2	! 17,9	! 11,67	! 10,64	! 8,62	! 7,32	! 18,7
Azote	" 1,14	! 1,10	! 1,51	! 1,05	! 1,20	! 1,47	! 0,89	! 0,77	! 0,71	! 0,67	! 1,43
C/N	" 11,8	! 11	! 13	! 12,6	! 13,1	! 13,8	! 12,1	! 10,9	! 10,9	! 12,0	! 12,0
Phosphore total	" 0,850	! 0,905	! 0,550	! -	! 0,880	! 0,715	! 0,28	! 1,000	! 1,050	! 0,940	! 0,72
assim.	" Truogg	! 0,41	! -	! -	! -	! 0,06	! -	! Olsen	! 0,04	! 0,10	! 0,05
Ca échang. mé/100 gr.	" 1,12	! 1,10	! 0,76	! 1,50(?)	! 0,98	! 0,26	! -	! 0,13	! 0,05	! 0,08	! 0,20
Mg "	" 0,44	! 0,56	! 0,52	! 1,50(?)	! 0,28	! 0,27	! -	! 0,12	! 0,12	! 0,06	! 0,30
K "	" 0,06	! 0,06	! 0,01(?)	! 0,05	! 0,05	! 0,25	! -	! 0,10	! 0,04	! 0,02	! 0,04
Na "	" 0,04	! 0	! 0,01	! 0,04	! 0,01	! 0,04	! -	! 0,03	! 0,08	! 0,03	! 0,02
Somme des bases échang.	" 1,66	! 1,72	! 1,30	! 3,09 ?	! 1,32	! 0,82	! -	! 0,38	! 0,29	! 0,19	! 0,56
Capacité d'échange bases	" -	! -	! -	! -	! 5,95	! 8,48	! -	! 6,33	! 4,43	! 5,09	! 4,28
V = S/T x 100	" -	! -	! -	! -	! 22 %	! 10 %	! -	! 6 %	! 7 %	! 4 %	! 13 %
pH eau	" 3,8	! 4,24	! 4,6	! 4,4	! 4,3	! 4,6	! 4,6	! -	! 4,1	! 4,6	! 4,25
Ca total mé/100 gr.	" -	! 4,96	! -	! -	! -	! 0,54	! 0,30	! -	! 0,43	! 0,43	! 0,55
Mg "	" -	! -	! -	! -	! -	! 0,81	! 0,56	! -	! 0,76	! 2,41?	! 1,70
K "	" -	! 0,52	! -	! -	! -	! 0,42	! 0,60	! -	! 0,78	! 1,32	! 1,04
Na "	" -	! 1,16	! -	! -	! -	! 0,14	! 0,29	! -	! 0,17	! 0,32	! 0,34
Total bases totales	" -	! -	! -	! -	! -	! 1,91	! 1,75	! -	! 2,14	! 4,48	! 3,63
Instab. structurale: I _s	" -	! -	! 0,95	! 0,18	! -	! 1,08	! -	! -	! -	! -	! -
Perméab. K de Hénin cm/h.	" -	! -	! 25,9	! 10,2	! 15	! 52	! -	! -	! -	! -	! -

§ 52. Essai de schéma de bilan hydrique.

Il n'est pas question de calculer un bilan hydrique exact avec les données observées uniquement aux parcelles d'érosion classiques. Cependant, il est possible d'établir un schéma global permettant d'avoir une bonne compréhension du bilan hydrique et des phénomènes de drainage et de ruissellement dans des conditions culturales semblables à celles des parcelles d'érosion. Pour ce faire, il faut disposer outre des précipitations et du ruissellement, d'une évaluation la plus exacte possible de l'évapotranspiration potentielle et des variations maximales d'humidité du sol (humidité volumique en pleine saison des pluies ou capacité au champ et humidité en fin de saison sèche). Ce schéma peut s'établir par décade et par mois pour des cas précis (telle année, telle culture) ou pour des conditions moyennes régionales : c'est le cas des conditions régionales moyennes qui sera exposé ici.

52.1. Méthode.

La formule à appliquer est la suivante :

$$- \left[\text{Pluie} = \text{Ruiss.} + \text{Drainage} + \text{ETR} + \text{Var. stock eau du sol} \right]$$

- où
- P est la pluviosité mensuelle moyenne de 1948 à 1972 au poste météo d'Adiopodoumé exprimée en millimètres ;
 - Ruiss. est le ruissellement moyen observé sur parcelle et exprimé en millimètres ;
 - Drainage est le drainage : il comporte toute l'eau infiltrée qui s'échappe des horizons explorés par les racines. On ne le mesure pas mais on va essayer de l'estimer car on considère que c'est un des moteurs de la pédogénèse actuelle.
 - E.T.R. c'est l'évapotranspiration réelle ou l'eau réellement perdue par le sol et par les plantes sous l'effet de l'énergie solaire.

L'ETR n'est pas connue mais sera estimée comme étant la plus grande partie de l'ETP (évapotranspiration potentielle c'est-à-dire celle d'un gazon bas constamment maintenu en état d'alimentation hydrique optimal) compatible avec l'eau susceptible de s'évaporer c'est-à-dire la pluie moins le ruissellement plus l'eau disponible du sol.

L'ETP mensuelle a été calculée selon la formule de TURC pour le poste Adiopodoumé météo (GOSSE, ELDIN, 1973) de 1956 à 1972.

. Les variations du stock d'eau du sol mesurées ne sont pas des variations mensuelles ou décennales mais bien les différences entre les états hydriques extrêmes du sol considérés comme la capacité au champ (mesurée le 3ème jour après une irrigation de 600 mm sur 1 m², sous forêt, sol nu et Panicum) et le profil hydrique le plus sec de l'année (en fin de saison sèche) lorsque la végétation a épuisé les réserves d'eau à portée de ses racines.

D'après les études de profils hydriques à l'humidimètre à neutrons, faites à Adiopodoumé et au Banco depuis 1965 par LESPINAT, DAUDET, TALINEAU, ELDIN, HUTTEL, MARINI et ROOSE les variations du stock d'eau du sol seraient négligeables à partir de 1,5 à 3,5 mètres de profondeur dans la région d'Abidjan en fonction de la couverture végétale et de son mode d'exploitation. A partir de cette profondeur, l'humidité du sol serait toujours voisine de la capacité au champ et tout apport d'eau à ce niveau doit se traduire par une augmentation de l'eau libre au niveau de la nappe phréatique.

En pratique, on procède de la façon suivante :

- on aligne mois par mois les données moyennes de pluie, d'ETP et de ruissellement ;
- on soustrait la lame d'eau ruisselée des précipitations (= eau évaporable) ;
- en saison sèche $P - R$ est inférieur à ETP : il n'y a pas de drainage et $ETR = (P - R)$;
- en saison des pluies $(P - R)$ est supérieur à ETP ; $\frac{ETR}{ETP} = 1$ et Drain. = $P - R - ETP$;
- on additionne les ETR mensuels bruts et on leur ajoute les variations maximales du stock d'eau du sol sur toute l'épaisseur du sol explorée par les racines ;
- on additionne les drainages mensuels bruts et on leur soustrait ces mêmes variations maximales du stock d'eau du sol (= drainage rectifié).

En effet après la saison des pluies l'évapotranspiration réelle est plus grande que la pluie utile ($P - R$) car le stock d'eau du sol diminue. Par contre au début de la saison des pluies il faut regarnir le stock d'eau du sol avant de constater du drainage. THORNTWAITE soustrayait systématiquement 100 millimètres du drainage calculé pour compenser les variations du stock : ceci demanderait à être précisé dans chaque cas particulier (sol et végétation) car l'assèchement du sol en saison sèche sera fonction du volume exploré par le système racinaire (donc l'épaisseur du sol exploité).

Quelques profils en saison sèche, en sec et 48 à 72 heures après une forte irrigation (pour trouver la capacité au champ) doivent suffire pour cette détermination des variations maximales du stock à condition de connaître la densité apparente de chaque horizon du sol (et éventuellement le % des gravillons).

52.2. Les résultats. (voir fig. 52.1.)

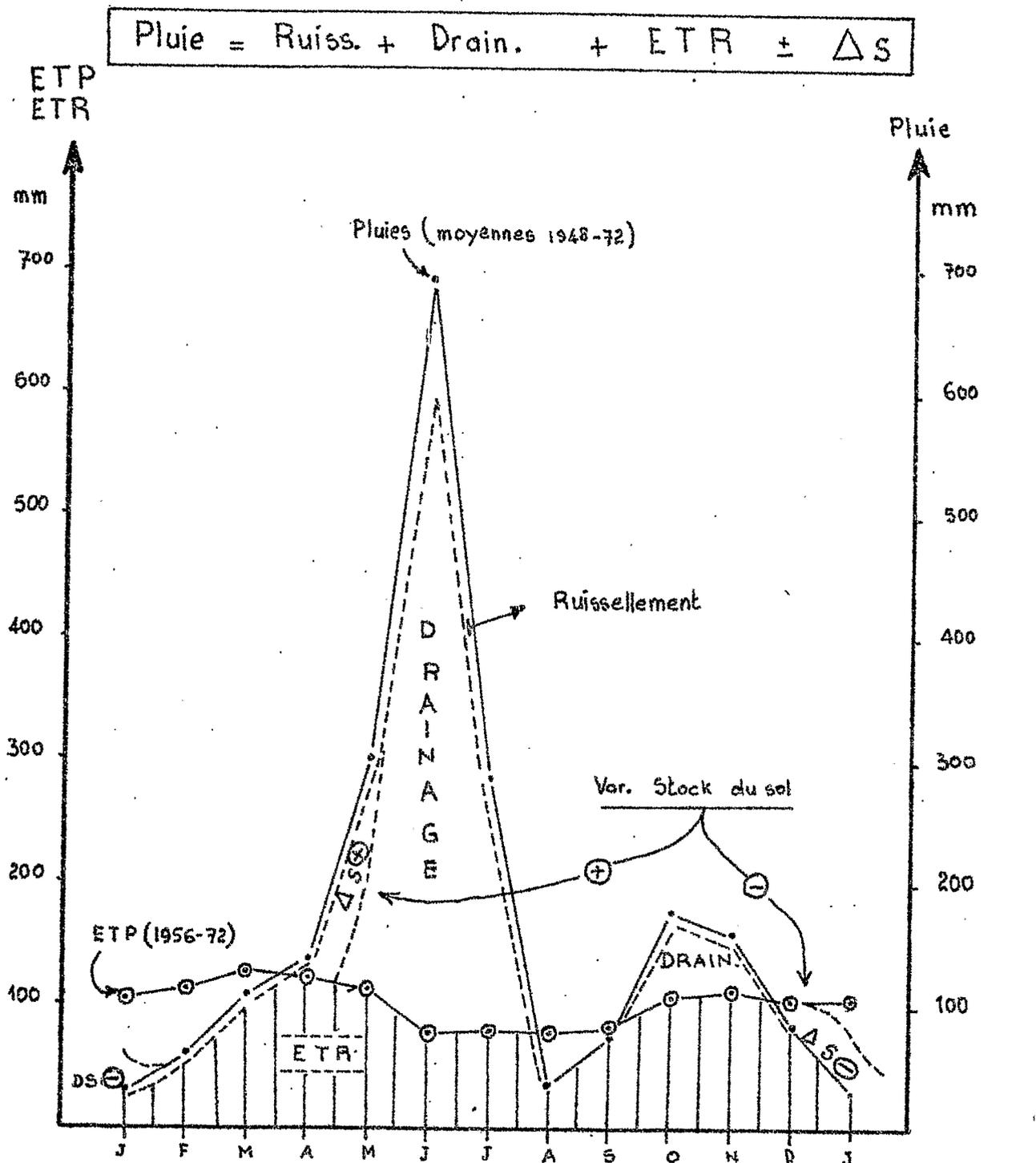
Ils sont reportés en détail au tableau 52.1. et résumé au tableau 52.2. dans le cas d'une forêt secondaire de la région d'Abidjan (Pluie = 2100 mm) (Ruiss. = 0,5 % en saison sèche et 1 % en saison des pluies), d'une parcelle nue (Ruiss. = 20 % en saison sèche et 35 % en saison humide) et d'une culture de Panicum couvrant bien le sol (Ruiss. % = 10 % en saison sèche et 25 % en saison des pluies c'est-à-dire de mai à juillet et octobre-novembre).

TABLEAU 52.2. - Résumé du schéma de bilan hydrique annuel dans la région d'Abidjan.

Végétation	Pluie	Ruiss. %	ETR brut	Var. stock ^x	ETR rectifié	D V rectifié
Forêt	2157,6	0,9 %	52,4 %	200 mm	55,9 %	43,2 % 932 mm
Culture	2157,6	21,3 %	44,9 %	120 mm	50,5 %	28,2 % 608 mm
Sol nu	2157,6	31,3 %	42,2 %	96,3 mm	46,7 %	22,0 % 476 mm

Fig. 52-1. Schéma de bilan hydrique pour la région d'Abidjan.

— Moyennes mensuelles d'Adiopodoumé d'après Gosse et Eldin (1972) —



	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	Total	%
Pluie mm	31	60	109	159	302	693	287	38	75	178	160	86	2158 mm		
ETP mm	105	113	128	121	113	77	79	77	81	108	112	105	1219 mm	56,5	
Ruiss.	0	0	1	1	3	7	3	0	0	2	2	0	19 mm	0,8	
ETR brut	31	60	108	121	113	77	79	38	75	108	112	86	1008 mm	46,7	
Drain. brut	0	0	0	17	186	609	205	0	0	68	46	0	1131 mm	52,4	
Bilan annuel moyen			Ruiss.		Drain. brut		Var. Stock du sol		Drainage rectifié						
Sous forêt			19 mm		1131 mm		200 mm		931 mm				43,1	%	
Sur sol nu			674 mm		592 mm		100 mm		472 mm				21,9	%	

On constate que si le ruissellement augmente de 0,9 à plus de 31 % lorsque le couvert végétal diminue, les variations du stock diminuent de 200 à 100 mm si bien que le drainage diminue de 930 à 480 mm (soit de 43 à 22 %).

L'indice de drainage calculé de HENIN et AUBERT (voir note) s'élève à 725mm pour un coefficient B de texture = 2.

Il y a donc en moyenne chaque année une lame de 1000 à 500 millimètres qui s'infiltré à travers le sol et s'échappe de la zone intéressante pour les racines : on conçoit que le lessivage des colloïdes et la lixiviation des éléments solubles soient les moteurs de la pédogénèse actuelle de ces sols à kaolinite largement dominante dont la capacité d'échange dépasse rarement 2 à 4 mé/100 gr de terre et est en étroite relation avec la teneur en matières organiques (ROOSE, 1971).

Ceci pose un problème fondamental pour l'utilisation rationnelle des engrais, à savoir peut-on améliorer le stock d'éléments nutritifs du sol (à quel prix ?) ou bien vaut-il mieux satisfaire "à la demande" les besoins physiologiques de la plante cultivée, à mesure de sa croissance tout en surveillant l'acidité du sol ? (ROOSE, GODEFROY, 1967 ; GODEFROY, MULLER, ROOSE ; 1970).

A titre de comparaison rappelons qu'en zone tropicale sèche, près de Ouagadougou on a obtenu les valeurs suivantes (ROOSE, BIROT ; 1971) :

! Végétation !	! Pluie !	! Ruiss. % !	! ETP !	! ETR rectifié !	! Drain. rectifié !
				! en % de la pluie !	! en % de la pluie !
! savane !	! 860 !	! 2,6 !	! 1905 !	! 90,5 !	! 6,9 !
! Culture !	! 860 !	! 15,0 !	! 1905 !	! 85 !	! 0 !

Le drainage n'est plus un facteur très actif du bilan dans ces régions sèches et la lixiviation des éléments nutritifs en saison des pluies est compensée par les remontées par évaporation en saison sèche : la fertilisation nécessaire est voisine des exportations par les récoltes et le reste peut être stocké dans le sol.

(Note) Drainage calculé de HENIN et AUBERT.

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

où D = drainage calculé en mètre.

p = pluviosité annuelle moyenne en mètre.

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

T = température annuelle moyenne en degrés centigrades.

On peut constater (tableau 52.2.) que si le ruissellement augmente, l'ETR diminue mais nettement moins que le drainage. Si on compare (tableau 52.3.) des schémas de bilan pour des années excédentaires (1962) et déficitaires (1967) par rapport à la normale on constate que, là encore, les variations des précipitations portent surtout sur le drainage et relativement peu sur l'évapotranspiration surtout si l'excédent de pluie survient en saison humide comme c'est souvent le cas. Pour des études de dynamique actuelle des sols il est donc important d'étudier les variations du ruissellement et du drainage pour des années exceptionnellement humides ou sèches. On voit au tableau 52.3. que si l'ETR varie peu (750 mm pour une année excédentaire et 773 mm pour une année déficitaire) le drainage passe du simple au double (1997 mm au lieu de 830,5 mm) en année excédentaire.

TABLEAU 52.3. - Schéma de bilan hydrique en année exceptionnellement sèche (1967) ou humide (1962) sous forêt (Ruiss. = 1%).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
<u>1962</u>													
Pluie	24,9	14,5	148,8	168,7	168,2	1377,5	401,5	24,3	5,4	221,2	205,3	15,5	2775,8
													mm %
ETP	96	99	114	110	111	66	70	79	83	97	99	83	1107
Ruiss.	0,2	0,1	1,5	1,7	1,7	13,8	4,0	0,2	0	2,2	2,1	0,2	27,7
ETR *	24,7	14,4	114,0	110,0	111,0	66,0	70,0	24,1	5,4	97,0	99,0	15,3	750,9
brut													27,0
Drain *	0	0	33,3	57,0	55,5	1297,7	327,5	0	0	122,0	104,2	0	1997,2
brut													72,0
<u>1967</u>													
Pluie	1,7	21,8	71,6	90,4	197,8	752,2	189,9	14,1	59,9	10,0	104,0	105,9	1619,3
													mm %
ETP	125	127	134	127	124	88	86	65	80	113	128	123	1320
Ruiss.	0	0,2	0,7	0,9	2,0	7,5	1,9	0,1	0,6	0,1	1,0	1,1	16,1
ETR *	1,7	21,6	70,9	89,5	124,0	88,0	86,0	14,0	59,3	9,9	103,0	104,8	772,7
D V *	0	0	0	0	71,8	656,7	102,0	0	0	0	0	0	830,5

* Note - Il s'agit de ETR et DV bruts qu'il faut rectifier au moyen des variations du stock d'eau du sol.

En conclusion, ce simple schéma de bilan hydrique a permis de constater l'importance du drainage limité à 3 ou 4 mois de l'année mais si concentré en juin et juillet qu'il délave le sol très poreux de la majeure partie des éléments nutritifs : d'où un degré de saturation très faible des sols ferrallitiques de basse Côte d'Ivoire.

TABLEAU 52.1. - Schéma de bilan hydrique à Adiopodoumé

- P = Ruiss. + Drain. + ETR ± Var. Stock du sol.

{ Sous forêt (R% = 0,5 en s. sèche et 1 % en s. pluie)
 Sous sol nu (R % = 20 % en s. sèche et 35 % en saison pluie)
 Sous culture (R % = 10 % en s. sèche et 25 % en saison pluie)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	T O T A L	
													mm	%
FORET														
E T P (Turc)	105	113	128	121	113	77	79	77	81	108	112	105	1219	
Pluie	31,0	60,3	109,1	139,1	301,8	692,7	287,3	38,1	74,5	178,2	159,5	86,0	2157,6	100
Ruiss.	0,2	0,3	0,5	0,7	3,0	6,9	2,9	0,2	0,4	1,8	1,6	0,4	18,9	0,9
E T R	30,8	60,0	108,6	121,0	113,0	77,0	79,0	37,9	74,1	108,0	112,0	85,6	1007,0	46,7
Drainage	0	0	0	17,4	185,8	608,8	205,4	0	0	68,4	45,9	0	1131,7	52,4
SOL NU														
Ruiss.	6,2	12,1	21,8	27,8	105,6	242,4	100,6	7,6	14,9	62,4	55,8	17,2	674,4	31,3
E T R	24,8	48,2	87,3	111,3	113,0	77,0	79,0	30,5	59,6	108,0	103,7	68,8	911,2	42,2
Drainage	0	0	0	0	83,2	373,3	107,7	0	0	7,8	0	0	572,0	26,5
CULTURE														
Ruiss.	3,0	6,0	10,9	13,9	75,5	173,2	71,8	3,8	7,5	44,5	39,9	8,6	458,6	21,3
E T R	28,0	54,3	98,2	121,0	113,0	77,0	79,0	34,3	67,0	108,0	112,0	77,4	969,2	44,9
Drainage	0	0	0	4,2	113,3	442,5	136,5	0	0	25,7	7,6	0	729,8	33,8

§ 53. Pertes chimiques et colloïdales dues aux phénomènes d'érosion.

Rappelons d'abord qu'il ne s'agit toujours que des phénomènes d'érosion à la surface du sol exclusivement : les pertes par les eaux de drainage font l'objet d'autres études en cours depuis 1965.

Cette approche consiste à comptabiliser et analyser tout ce qui sort des parcelles : l'eau et les ions en solution, les terres fines en suspension, les terres de fond et les matières organiques peu évoluées qui flottent à la surface des eaux de ruissellement. Cette méthode est beaucoup plus précise car elle intègre toute les hétérogénéités des parcelles. Elle demande un très gros effort tant au laboratoire d'analyse que sur le terrain mais permet de déceler en deux ou trois années les principales voies d'évolution actuelle du sol soumis à un traitement particulier.

Cela a été réalisé à plusieurs reprises à Adiopodoumé (DABIN, LENEUF, 1958 ; ROOSE, 1967) (ROOSE, 1968) et on ne rapportera ici qu'un résumé des principaux résultats sous forêt, sur jachère nue et sous culture sans apport d'engrais minéral.

53.1. Résultats.

Les pertes en éléments nutritifs du sol varient plus en fonction des quantités de matériaux érodés sur les parcelles qu'en fonction des conditions expérimentales (DABIN, LENEUF, 1958). C'est pourquoi on peut se contenter de moyennes pour tenter d'évaluer les pertes à Adiopodoumé sous sol nu et parcelles cultivées sans engrais minéral. Ceci est probablement inexact sous forêt (sol beaucoup plus riche en carbone et azote) et sous culture fertilisée de façon intensive où l'érosion est faible mais très sélective vis-à-vis des éléments nutritifs et des colloïdes (voir tableau 53.1.).

Jusqu'en 1970 les cultures ont été menées de façon extensive sur les parcelles d'érosion (fumier mais pas de fumure minérale) et il n'a pas été procédé à l'analyse des produits érodés depuis lors : on n'étudiera donc pas le cas des cultures intensives. Par contre on dispose d'analyse des eaux et des suspensions sous forêt secondaire à Adiopodoumé : on a donc distingué le schéma sous forêt et sous culture/sol nu.

Au tableau 53.1. sont résumés l'ensemble des résultats analytiques moyens exprimés en % de l'oxyde des produits érodés et de l'horizon 0-10cm du sol en place sous forêt et sous culture.

En ce qui concerne l'horizon superficiel du sol en place on constate qu'il est plus riche sous forêt en carbone, azote et sable grossier. Par contre sous culture il s'est enrichi en calcium et surtout potassium échangeable et enfin en argile + limons.

Les suspensions recueillies sous forêt sont plus riches en carbone, azote, phosphore, calcium échangeable et total, argile et limons. Par contre les suspensions sous culture ont des teneurs plus élevées en potassium, magnésium et sodium totaux et échangeables.

Enfin sous forêt, les teneurs des eaux de ruissellement sont plus élevées pour le carbone, l'azote et les bases échangeables et totales.

On constate donc que les produits de l'érosion sous forêt sont généralement plus riches en carbone, azote et particules fines mais on peut trouver un enrichissement en certaines bases et en phosphore dans les sédiments érodés sur parcelles cultivées.

Aux tableaux 53.2., 53.3. et 53.4. sont détaillées les pertes par érosion :

sous forêt	(E = 0,11 t/ha; Susp. = 0,1 t/ha; mat.org. = 0,01 t/ha; Ruiss. = 1 %; Pluie = 2100 mm)
sous culture	(E = 32 t/ha; Susp. = 4,8 t/ha; mat.org. = 0,2 t/ha; Ruiss. = 25 %; Pluie = 2100 mm)
sous sol nu	(E = 138 t/ha; Susp. = 12,9 t/ha; mat.org. = 0,1 t/ha; Ruiss. = 30 %; Pluie = 2100 mm)

d'après les résultats obtenus à Adiopodoumé sur des pentes de l'ordre de 7 %.

Au tableau 53.5. sont résumées les pertes par érosion totale et les proportions de ces pertes dans les terres de fond, les suspensions, les matières organiques brutes et en solution dans les eaux de ruissellement sous forêt, culture extensive et sol nu.

Notons que la somme des produits érodés (colonne 1) est inférieure à l'érosion annoncée puisqu'il manque les valeurs de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (argiles) et surtout du résidu insoluble à l'attaque triacide (quartz = sables).

TABLEAU 53.1. - Résultats analytiques de l'horizon superficiel des cases d'érosion d'Adiopodoumé et des produits érodés. - Valeurs moyennes en % -

		Terres de fond 1965/67*		Eau de ruissellement		Suspensions		Matières organiques brutes 1965/67*	Sol en place (0-10 cm)	
				Culture 1966	Forêt 1966	Culture 1966	Forêt 1969 (R2)		Culture 1966	Forêt 1973 (F)
Carbone total	%	1,312		0,001234	0,003116	7,516	16,021	37,90 ‡	1,280	1,870
Azote total	%	0,115		0,000750	0,001080	0,514	1,099	1,62 ‡	0,101	0,143
P ₂ O ₅ total	%	0,073		0,000066	0,000057	0,100	0,372	0,258	0,0645	0,072
Bases échangeables	%									
CaO		0,0535		0,00061	0,00137	0,0557	0,1078	0,3640	0,0084	0,0056
MgO		0,0084		0,00047	0,00101	0,0364	0,0292	0,1456	0,0064	0,0060
K ₂ O		0,0132		0,00024	0,00053	0,0263	0,0254	0,1137	0,0235	0,0019
Na ₂ O		0,0025		0,00015	0,00026	0,0186	0,0102	0,0248	0,0019	0,0006
Bases totales	%									
CaO		0,0678 ‡		0,00061	0,00137	0,1204	0,7246	0,4903 ‡	0,0202	0,0154
MgO		0,0204		0,00047	0,00101	0,1746	0,1310	0,1983	0,0210	0,0343
K ₂ O		0,0230		0,00024	0,00053	0,3346	0,1466	0,1175	0,0630	0,0658
Na ₂ O		0,0087		0,00015	0,00026	0,0477	0,0101	0,0260	0,0124	0,0105
Texture % de matière minérale										
Argile		8,5		-	-	59,3	64,5	-	13,1	9,9
Limons (2-50 microns)		2,4		-	-	31,9	33,8	-	2,7	4,0
Sable fin (50-200 microns)		17,6		-	-	8,8	1,7	-	28,8	26,5
Sable grossier (200-2000 m.)		71,5		-	-	0	0	-	55,4	59,6
		100				100	100		100	100

Toutes les analyses ont été réalisées aux laboratoires de l'ORSTOM à Adiopodoumé en 1965-66-67 par Mesdames PERRAUD et GAVINELLI, Mr. PETARD, toute l'équipe des techniciens africains sous la direction de Mr. NALOVIC. Qu'ils trouvent ici notre reconnaissance pour l'imposant travail analytique qu'ils ont réalisé.

* Moyennes de 45 analyses effectuées en 1967 sur les terres érodées des parcelles P2 - P3 et P5.

La croissance des pertes chimiques est presque parallèle à celle des pertes en terre en fonction de la décroissance du couvert végétal. Les teneurs en éléments nutritifs dans les substances érodées baissent quelque peu lorsque l'érosion croît mais cette baisse est sans proportion avec l'augmentation des pertes en terre et en eau.

Parmi les éléments nutritifs érodés il faut distinguer ceux qui sont directement assimilables ou échangeables de ceux qui forment la réserve minérale (bases et phosphore total) : l'appauvrissement par l'érosion a des retentissements à court et à moyen terme.

L'érosion et le ruissellement sous forêt sont faibles ($E = 0,11 \text{ t/ha}$ et $R = 1 \%$). Lorsqu'on passe à une culture extensive classique (manioc par exemple) les pertes en terre et en eau sont respectivement 290 et 25 fois plus fortes à Adiopodoumé. Si on passe de la forêt à un sol nu, les pertes en terre et en eau deviennent respectivement 1255 et 30 fois plus fortes. On voit que le ruissellement croît beaucoup moins fort que les pertes en terre lorsque le couvert végétal diminue. Ceci va avoir des répercussions sur l'importance relative des voies de migration des éléments nutritifs : la proportion de carbone, azote, phosphore, bases échangeables et totales qui migre sous forme solide (terre de fond et suspension) augmente lorsque le couvert diminue.

La migration du carbone et du phosphore se fait principalement sous forme solide (terre de fond ou suspension).

La migration de l'azote, des bases totales et surtout des bases échangeables se fait presque exclusivement en solution sous forêt et en forte proportion en solution sous culture et sol nu. Parmi les bases totales, le calcium semble lié aux terres de fond et le potassium aux suspensions fines. Parmi les bases échangeables, calcium et potassium se retrouvent liés aux sédiments grossiers.

Sous forêt, les pertes chimiques par les phénomènes d'érosion sont faibles : 26,4 kg de carbone, 3,5 kg d'azote, 0,5 kg de phosphore et quelques kg de bases échangeables ou totales.

TABLEAU 53.5.- Résumé des pertes annuelles par érosion superficielle

sous forêt (E = 0,11 t/ha; Susp.= 0,1 t/ha; mat.org.= 0,01 t/ha; Ruiss.= 1 %; Pluie = 2100 mm)
 sous culture (E = 32 t/ha; Susp.= 4,8 t/ha; mat. org.= 0,2 t/ha ; Ruiss. = 25 %)
 sous sol nu (E = 138 t/ha; Susp.= 12,9 t/ha ; mat. org. = 0,1 t/ha ; Ruiss. = 30 %)
 sur une pente de 7 % à Adiopodoumé. - Résultats analytiques de 1965-1966-1967 et 1973 -

	Erosion totale kg/ha/an (1)			"Terres de fond" " (2)			Suspensions (3)			"Matières organi-" "ques brutes (4)			Solutions (5) (ruiss.)			"Indice de sélecti-" " vité* (6)		
	Forêt	Culture	Sol nu	Forêt	Cul- ture	Sol nu	Forêt	Cul- ture	Sol nu	Forêt	Cul- ture	Sol nu	Forêt	Cul- ture	Sol nu	Forêt	Culture	Sol nu
Carbone total	26,35	855,60	2.725,20	0	41	60	61	42	36	14	9	1	25	8	3	12,8	2,09	1,54
Azote totale	3,53	98,34	258,93	0	32	56	31	25	26	5	3	0	64	40	18	22,5	3,04	1,86
Phosphore total	0,52	28,50	110,89	0	69	82	71	17	12	6	2	2	23	12	4	6,6	1,38	1,25
CaO échangeable	3,03	49,88	112,86	0	29	59	4	5	6	1	2	1	95	64	34	491,9	18,49	9,70
MgO	2,16	28,99	44,96	0	8	23	1	6	10	1	1	1	98	85	66	327,3	14,09	5,07
K ₂ O	1,15	17,66	35,12	0	20	47	2	7	10	1	2	0	97	71	43	550,2	2,35	1,08
Na ₂ O	0,56	9,50	15,00	0	7	21	2	9	16	0	1	0	98	83	63	848,5	15,39	5,64
CaO total	3,65	57,10	139,20	0	32	61	20	10	11	1	2	0	79	56	28	215,5	8,83	4,99
MgO	2,27	38,97	77,83	0	14	33	6	22	29	1	1	0	93	63	38	60,2	5,80	2,69
K ₂ O	1,27	35,11	87,15	0	18	33	12	46	50	1	0	0	87	36	17	17,6	1,74	1,00
Na ₂ O	0,57	12,58	26,51	0	19	41	4	18	23	0	0	0	66	63	36	49,4	3,16	1,55
argile 0-2 microns	64,5	5.142	18.275	0	45	58	100	55	42	-	-	-	-	-	-	5,9	1,23	1,01
limons 2-50 "	33,8	2.179	7.115	0	30	42	100	70	58	-	-	-	-	-	-	7,7	2,52	1,91
sable fin 50-200	1,7	5.174	23.135	0	92	95	100	8	5	-	-	-	-	-	-	0,05	0,56	0,58
sable gros.200/2000	0	19.305	89.375	0	100	100	0	0	0	-	-	-	-	-	-	1,09	0,56	1,16
Terre t/ha	0,11	32	138	0	27	145	0,10	4,8	12,9	0,01	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-
Ruiss. m ³ /ha													210	5250	6300			

* L'indice de sélectivité traduit la proportion d'un élément érodé comparé aux quantités de cet élément qu'on trouverait dans la même épaisseur de sol.

Il se calcule en divisant le total érodé par le produit de la quantité observée dans 1 mm de sol (horizon 0-10 cm) par le rapport poids terre érodée/poids terre 1 mm sol en place.

Sous culture extensive les pertes en éléments nutritifs par érosion ne sont plus négligeables sous ce climat très humide et très agressif : 855 kg de carbone, 98 kg d'azote, 28,5 kg de phosphore, 57 kg de chaux, 39 kg de magnésie, 29 kg de potasse et 12,6 kg de soude.

TABLEAU 53.6. - Pertes par ruissellement et érosion superficielle traduites en termes d'engrais en fonction du couvert végétal. - pente 7 % -
- kg/ha/an -

Adiopodoumé	Forêt	Culture	Sol nu
Cases d'érosion : pente 7 % 1965 - 1966 - 1967			
Fumier frais à 12,3 % de carbone	214	6.956	22.156
Sulfate d'ammoniaque à 21 % d'azote	16,8	468	1.233
Superphosphate à 18 % de P ₂ O ₅	2,9	158	616
<u>Erosion à court terme</u>			
Dolomie à 30 % de CaO 20 % de MgO	10,8	166	376
Chlorure de potasse à 60 % de potasse	1,9	29	59
<u>Erosion à moyen terme</u>			
Dolomie à 30 % de CaO 20 % de MgO	12,2	195	464
Chlorure de potasse à 60 % de potasse	2,1	59	145

S'il fallait compenser ces pertes par des apports d'engrais, il faudrait compter (voir tableau 53.6.) 7 tonnes de fumier frais, 470 kg de sulfate d'ammoniaque, 160 kg de superphosphate, 200 kg de dolomie et 60 kg de chlorure de potasse.

On comprend qu'après deux années de culture en basse Côte d'Ivoire le sol soit épuisé surtout qu'il faut encore ajouter les pertes par les eaux de drainage qui sont bien plus considérables.

Sur parcelle nue les pertes sont encore plus graves :

- 2.725 kg de carbone soit 22,1 t/ha de fumier frais,
- 259 kg d'azote soit 1.233 kg de sulfate d'ammoniaque,
- 87 kg de potasse soit 145 kg de chlorure de potassium,
- 139 kg de chaux soit 464 kg de dolomie.
- 78 kg de magnésie

Ces chiffres sont assez parlant à l'agriculteur pour le convaincre que l'érosion n'est pas seulement un transport de masses de terre plus ou moins considérables mais qu'elle provoque aussi des pertes en eau et en éléments nutritifs pour les plantes dont il tire ses profits. Il a donc tout intérêt à couvrir sa terre.

53.2. Discussion.

L'érosion en nappe entraîne dans les champs un décapage du sol à peine perceptible à l'échelle humaine (0,1 à 10 mm par an à Adiopodoumé sur une pente de 7 %). Il faut cependant attirer l'attention sur des pertes en particules fines (A+L) et en éléments fertilisants de 1,3 à 18 fois supérieures à celles qu'on pourrait attendre d'un tel décapage du sol en place (voir tableau 53.5. dernière colonne). Cette sélectivité avait déjà été notée par DABIN et LENEUF (1958) et par l'auteur (1967) à Adiopodoumé et à Séfa au Sénégal (1965).

Sous forêt cette sélectivité est extrêmement poussée et s'adresse aux éléments solides (appauvrissement en particules fines de l'horizon superficiel) et plus encore aux solubles (lixiviation par les eaux ruisselantes et désaturation de l'horizon superficiel). La sélectivité diminue lorsque l'érosion s'accroît soit que la pente augmente soit que le couvert végétal s'éclaircisse.

A Bouaké, BERTRAND a publié en 1967 un schéma de bilan des pertes par érosion sous culture. Comme il ne tient compte que des terres de fond, son bilan est largement sousestimé. On peut cependant retenir que les terres de fond sont riches en carbone et phosphore. En comparant l'analyse de l'horizon superficiel des parcelles les plus érodées à une parcelle témoin en jachère herbacée régulièrement rabattue, il constate qu'il y a peu de différence du point de vue chimique (baisse de 30 % des bases échangeables en 5 ans) mais une nette augmentation de l'indice d'instabilité culturale (I_s de HENIN passe de 0,75 sous jachère à 1,06 et même 1,70 sous culture) BERTRAND en conclut

qu'une fertilisation minérale relativement faible peut compenser les pertes chimiques par érosion superficielle mais que le travail à la houe n'arrive pas à créer une structure correcte du sol.

A Agonkamey (Dahomey), (VERNEY, VOLKOFF et WILLAIME, 1967-1968) les analyses ont été faites exclusivement sur les terres de fond : là aussi les conclusions sur les pertes chimiques par l'érosion sont biaisées et faussées par défaut.

On peut cependant retenir les fortes teneurs en carbone, phosphore et azote des terres grossières entraînées ; les bases sont du même ordre de grandeur sur les terres de fond érodées et le sol des cases d'érosion.

Si on compare l'horizon superficiel d'une parcelle témoin en dehors des parcelles d'érosion avec le même horizon sous culture, on constate une nette baisse en carbone, azote, phosphore total et assimilable et bases (sauf pour le potassium), ceci malgré une fumure minérale moyenne des parcelles d'érosion en 1967. Les sédiments de fond ont une texture plus grossière que le sol en place (observé également à Adiopodoumé et Bouaké). Par contre l'horizon superficiel des cases érodées est plus riche en particules fines ($A + L = 0$ à 50 microns) que celui de la parcelle témoin.

Là aussi une fumure minérale plus suivie pourrait compenser facilement les pertes chimiques par érosion superficielle.

A Gampela (Haute-Volta) (BIROT, GALABERT, ROOSE, ARRIVETS ; 1969) sur faible pente on a mesuré des pertes chimiques par érosion assez faibles mais des indices de sélectivité très élevés.

A Saria (Haute-Volta) (ARRIVETS, ROOSE, 1972) les résultats d'une première campagne de mesure vont dans le même sens.

53.3. Conclusions.

- L'ébauche d'un schéma de bilan des pertes par l'érosion ne peut être correcte que si elle comprend l'analyse à la fois des sédiments de fond, des particules fines en suspension et des éléments en solution dans les eaux de ruissellement : les matières organiques brutes quoique riches en carbone et azote sont trop peu importantes pour jouer un rôle significatif dans ce bilan.

- L'érosion en nappe entrainerait donc non seulement le décapage mécanique de la surface du sol mais aussi l'appauvrissement en colloïdes et la lixiviation des bases des premiers centimètres du sol. Ces deux phénomènes, si délicats à mettre en évidence par l'étude des échantillons de sol prélevés depuis 17 années sur les parcelles, apparaissent clairement après trois années d'observation et d'analyse des éléments exportés par l'eau hors des parcelles expérimentales.

TABLEAU 53.2. - Pertes annuelles moyennes en kg/ha/an par érosion superficielle sous une forêt secondaire.
 Adiopodoumé : pente 7 à 30 % (E = 0,1 t/ha dont 100 % suspension ; R = 1 % ; pluie = 2100 mm)

	Terre de fond G kg (1)	Ruissellement (solution) 210 m ³ /ha (2)	Suspension 0,1 t/ha (3)	Matières orga- niques 0,01t/ha (4)	Total érodé (5)	"Sol en place! sur 1 mm (da = 1) (6)	Indice de sélectivité (7)	Transport soluble (8)				
		% de (5)	% de (5)	% de (5)								
Carbone total	0	6,54	25	16,02	61	3,79	14	26,35	"	187,00	12,81	25
Azote total	0	2,27	64	1,10	31	0,16	5	3,53	"	14,30	22,45	64
P ₂ O ₅ total	0	0,12	23	0,37	71	0,03	6	0,52	"	7,20	6,56	23
Bases échangeables									"			
CaO	0	2,88	95	0,11	4	0,04	1	3,03	"	0,56	491,88	95
MgO	0	2,12	98	0,03	1	0,01	1	2,16	"	0,60	327,27	98
K ₂ O	0	1,11	97	0,03	2	0,01	1	1,15	"	0,19	550,24	97
NNa ₂ O	0	0,55	98	0,01	2	0,00	0	0,56	"	0,06	848,48	98
Bases totales									"			
CaO	0	2,88	79	0,72	20	0,05	1	3,65	"	1,54	215,46	79
MgO	0	2,12	93	0,13	6	0,02	1	2,27	"	3,43	60,16	93
K ₂ O	0	1,11	87	0,15	12	0,01	1	1,27	"	6,58	17,55	87
Na ₂ O	0	0,55	96	0,02	4	0,00	0	0,57	"	1,05	49,35	96
Texture									"			
Argile	0	-		64,5		-		64,5	"	990,0	5,93	-
Limons	0	-		33,8		-		33,8	"	400,0	7,68	-
Sables fins	0	-		1,7		-		1,7	"	2650,0	0,05	-
Sables grossiers	0	-		0		-		0	"	5960,0	-	-
Terre érodée t/ha	0	-		0,1		0,01		0,11	"	10 t/ha		

TABLEAU 53.3. - Pertes annuelles moyennes en kg/ha par érosion superficielle sous une culture (manioc) sans engrais minéraux.

. Adiopodoumé : pente 7 %, érosion = 32 t/ha, suspension = 4,8 t/ha, Ruiss.= 25 %, Pluie = 2100 mm.

	" Terre de fond 27 t/ha (1)	" Ruissellement (solution) 5250 m ³ /ha (2)	" Suspension 4,8 t/ha (3)	" Mat. organ. brutes 0,2 t/ha (4)	" Erosion totale (5)	" Sol en place 1mm da= 1,4 14t/ ha (6)	" Indice de sélectivité (7)	" Transport sous forme soluble solide (8) (9)	
	% de (5)	% de (5)	% de (5)	% de (5)					
! Carbone total	" 354,24! 41	! 64,79! 8	! 360,77! 42	! 75,80! 9	! 855,60!	! 179,20!	! 2,09!	! 8!	! 92!
! Azote total	" 31,05! 32	! 39,38! 40	! 24,67! 25	! 3,24! 3	! 98,34!	! 14,14!	! 3,04!	! 40!	! 60!
! Phosphore total	" 19,71 69	! 3,47 12	! 4,80 17	! 0,52 2	! 28,50	! 9,03	! 1,38	! 12!	! 88!
Bases échangeables									
! CaO	" 14,45! 29	! 32,03! 64	! 2,67! 5	! 0,73! 2	! 49,88!	! 1,18!	! 18,49!	! 64!	! 36!
! MgO	" 2,27! 8	! 24,68! 85	! 1,75! 6	! 0,29! 1	! 28,99!	! 0,90!	! 14,09!	! 85!	! 15!
! K ₂ O	" 3,56! 20	! 12,60! 71	! 1,27! 7	! 0,23! 2	! 17,66	! 3,29	! 2,35	! 71!	! 29!
! Na ₂ O	" 0,68! 7	! 7,88! 83	! 0,89! 9	! 0,05! 1	! 9,50!	! 0,27!	! 15,39!	! 83!	! 17!
Bases totales									
! CaO	" 18,31! 32	! 32,03! 56	! 5,78! 10	! 0,98! 2	! 57,10!	! 2,83!	! 8,83!	! 56!	! 44!
! MgO	" 5,51! 14	! 24,68! 63	! 8,38! 22	! 0,40! 1	! 38,97!	! 2,94!	! 5,80!	! 63!	! 37!
! K ₂ O	" 6,21! 18	! 12,60! 36	! 16,06! 46	! 0,24! 0	! 35,11!	! 8,82!	! 1,74!	! 36!	! 64!
! Na ₂ O	" 2,35! 19	! 7,88! 63	! 2,30! 18	! 0,05! 0	! 12,58	! 1,74	! 3,16	! 63!	! 37!
Texture (microns)									
! argile (0-2)	" 2.295! 45	! -!	! 2.847! 55	! -!	! 5.142!	! 1.834!	! 1,23!	! -!	! 100!
! limons (2-50)	" 648! 30	! -!	! 1.531! 70	! -!	! 2.179!	! 378!	! 2,52!	! 1,45!	! 100!
! sable fin (50-200)	" 4.752! 92	! -!	! 422! 8	! -!	! 5.174!	! 4.032!	! 0,56!	! 0,91!	! 100!
! sable gros. (-2000)	" 19.305! 100	! -!	! 0!	! -!	! 19.305!	! 7.756!	! 1,09!	! -!	! 100!
! Terre érodée t/ha	" 27 t/ha	! -!	! 4,8 t/ha	! -!	! 32 t/ha!	! 14 t/ha!	! -!	! -!	! -!

TABLEAU 53.4. - Pertes annuelles moyennes en kg/ha par érosion superficielle sous une jachère nue.

Adiopodoumé : pente 7 %, Erosion = 138 t/ha, Suspension = 12,9 t/ha, Ruiss. = 30 %; Pluie = 2100 mm.

E = 138 t/ha	"	Terre de fond	Ruissellement (solution) 6300 m ³ /ha	Suspension	Mat. organ. brutes	Erosion totale	Sol en place sur "1 mm da = "	Indice de sélectivité	Transport sous forme soluble	Transport sous forme solide				
S = 12,9 t/ha	"	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)				
R = 30 %	"	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)				
		% de (5)	% de (5)	% de (5)	% de (5)									
Carbone total	"	1.640,00	60	77,74	3	1969,58	36	37,90	1	2.725,20	179,20	1,54	3	97
Azote total	"	143,75	56	47,25	18	66,31	26	1,62	0	258,93	14,14	1,86	18	82
Phosphore total	"	91,25	82	4,16	4	12,90	12	0,258	2	110,89	9,03	1,25	4	96
Bases échangeables	"													
Ca O	"	66,88	59	38,43	34	7,19	6	0,36	1	112,86	1,18	9,70	34	66
Mg O	"	10,50	23	29,61	66	4,70	10	0,15	1	44,96	0,90	5,07	66	34
K ₂ O	"	16,50	47	15,12	43	3,39	10	0,11	0	35,12	3,29	1,08	43	43
Na ₂ O	"	3,13	21	9,45	63	2,40	16	0,02	0	15,00	0,27	5,64	63	37
Bases totales	"													
Ca O	"	84,75	61	38,43	28	15,53	11	0,49	0	139,20	2,83	4,99	28	72
Mg O	"	25,50	33	29,61	38	22,52	29	0,20	0	77,83	2,94	2,69	38	62
K ₂ O	"	28,75	33	15,12	17	43,16	50	0,12	0	87,15	8,82	1,00	17	83
Na ₂ O	"	10,88	41	9,45	36	6,15	23	0,03	0	26,51	1,74	1,55	36	64
Texture microns	"													
argile 0-2	"	10.625	58	-	-	7.650	42	-	-	18.275	1.834	1,01	-	100
limons 2-50	"	3.000	42	-	-	4.115	58	-	-	7.115	378	1,91	-	100
sable fin 50-200	"	22.000	95	-	-	1.135	5	-	-	23.135	4.032	0,58	-	100
sable gros. -2000	"	89.375	100	-	-	0	0	-	-	89.375	7.756	1,16	-	100
Terre érodée kg/ha	"	125 t/ha				12,9 t/ha		0,1 t/ha		138 t/ha	14 t/ha			

§ 54. Conclusions sur l'évolution du sol soumis à l'érosion.

Que ce soit par l'analyse répétée durant de longues années de l'horizon superficiel du sol ou par la méthode plus précise de l'analyse systématique de tout ce qui sort des parcelles expérimentales durant 2 ou 3 années on aboutit aux mêmes conclusions.

- 1) L'utilisation d'une fumure minérale correcte permet de rompre le cercle de la dégradation du sol par l'érosion qui veut que, en culture extensive, plus un sol est pauvre, moins les cultures couvrent la terre et plus l'érosion est forte et appauvrit le sol.

Au contraire, sous culture fertilisée intensive on arrive à améliorer quelque peu le niveau de fertilité du sol par rapport à ce qu'il était sous forêt mais on est bien vite limité du fait du drainage très important (600 à 1000 mm) dans la zone sub-équatoriale et de la faiblesse de la capacité d'échange de bases des sols ferrallitiques (kaolinite). Le niveau de fertilité dépend dans une large mesure du taux des matières organiques durables du sol.

- 2) Les phénomènes d'érosion superficielle en nappe provoquent non seulement un décapage de l'horizon superficiel de l'ordre de 0,1 à 10 mm par an mais aussi un entraînement sélectif des particules fines jusqu'à 50 microns (A + L) (l'appauvrissement serait transmis en profondeur soit par le labour soit par l'activité de la mésofaune : vers de terre, termites, etc...) et des éléments solubles (lixiviation par les eaux ruisselantes). Les voies préférentielles de migrations des éléments nutritifs diffèrent : le carbone et le phosphore sont liés préférentiellement aux terres de fond tandis que l'azote et les bases s'échappent principalement en solution. Donc on ne peut négliger ni les eaux ruisselantes, ni les suspensions fines ni les sédiments grossiers pour avoir un fidèle reflet des phénomènes d'érosion. Dans le cadre plus général d'un bilan du sol, il ne faut pas négliger les pertes par les eaux de drainage, ni les apports par les pluies, les remontées biolo-

giques (minéralisation de la litière, remontées par les termites, vers de terre, etc...), les engrais et les eaux d'irrigation.

3) Le couvert végétal a un rôle essentiel sur les phénomènes d'érosion non seulement du point de vue quantitatif mais également sur le plan qualitatif. La sélectivité de l'érosion en nappe sera d'autant plus forte que le sol est bien couvert et la pente faible : la comparaison d'une parcelle nue et d'une parcelle sous végétation naturelle est très instructive à cet égard.

4) La méthode des parcelles d'érosion ne se limite pas à comparer différents traitements sur le plan de la conservation de l'eau et du sol.

Moyennant quelques efforts supplémentaires elle permet une meilleure compréhension de la dynamique actuelle du sol en particulier en ce qui concerne les phénomènes de lixiviation des solubles et appauvrissement en colloïdes des horizons superficiels du sol.

Cette méthode d'étude de l'évolution actuelle du sol au départ de l'eau et de ce qu'elle transporte a été étendue à la troisième dimension c'est-à-dire au drainage : (cases ERLO et DV) par l'auteur. Les résultats de ces travaux entrepris depuis 1965 en huit sites écologiques bien distincts entre Abidjan et Ouagadougou avec la collaboration des Instituts de Recherche Appliquée feront l'objet de publications ultérieures.

CHAPITRE 6 - CONCLUSIONS.

=====

En 17 ans, les mesures d'érosion et de ruissellement sous pluies naturelles ont abouti à un certain nombre de résultats intéressants sur les plans scientifiques et pratiques. Leur interprétation à l'aide de l'équation de WISCHMEIER a permis de faire apparaître l'importance relative de chaque facteur dans les conditions écologiques de la Basse Côte d'Ivoire et de les comparer aux résultats obtenus dans des régions très différentes d'Afrique, de Madagascar et des Etats-Unis d'Amérique. Certains résultats présentés dans ce mémoire doivent encore être précisés mais on dispose dès à présent des éléments d'information nécessaires pour appliquer à l'aménagement rationnel du territoire ivoirien la formule de prévision de l'érosion qui sert de base aux USA pour la conservation de l'eau et du sol.

Les études entreprises par l'ORSTOM à Adiopodoumé dès 1956 ont bien mis l'accent sur l'importance d'une part de l'agressivité des pluies des zones subéquatoriales (fortes hauteurs, intensités élevées, concentration des pluies en quelques décades) et d'autre part de l'action protectrice du couvert végétal (variation 1 à 1000) qui domine largement tous les autres facteurs.

Dans la mesure où le sol n'est pas entièrement couvert interviennent d'abord le gradient de la pente (variation 1 à 50)

puis les techniques culturales (variation 1 à 10) et les techniques antiérosives (variation 1 à 10).

Il reste un gros effort à fournir pour mettre au point les techniques culturales adaptées au danger d'érosion qui provient de l'agressivité des pluies des régions subéquatoriales (2 à 6 fois plus agressives qu'en région tempérée) et non des sols qui semblent plus résistants (variation 1 à 10) que bien des sols lessivés sur loess des régions tempérées.

Dans la mesure où les techniques culturales (labour profond, fertilisation, mécanisation) favorisent le recouvrement du sol par la végétation, elles participent à la conservation de l'eau et du sol. Cependant il ne faut pas oublier que tout travail du sol augmente sa porosité mais diminue sa cohésion et par conséquent augmente sa sensibilité à l'érosion. Il reste à prouver

que le travail du sol est un mal nécessaire au développement des plantes : le paillage, l'utilisation des résidus de récolte, le "minimum tillage" et même le "zéro tillage" forment l'objet d'études très intéressantes aux USA et son application en Afrique (pluies plus agressives) devrait être envisagée sérieusement.

On voit qu'un esprit nouveau devrait féconder les recherches dans le domaine de la lutte contre l'érosion. La défense et la restauration des sols a été trop longtemps réduite à des concepts défensifs supprimant la liberté d'exploitation de certaines zones rurales trop dégradées par l'homme et l'animal. La croissance démographique et sa concentration le long de certains axes et l'extension des cultures d'exportation nous pousse désormais à envisager les problèmes d'érosion sous l'angle agronomique de l'exploitation rationnelle et continue du milieu sans dégradation du capital "sol et eau".

Les techniques de conservation du sol sont donc à ranger aux côtés de la fertilisation, l'irrigation, la sélection et la protection sanitaire pour l'exploitation intensive et pérenne du milieu.

Par ailleurs, dans les régions tropicales où les sols peuvent être très profonds mais la fertilité (assez réduite en réalité) concentrée dans un mince horizon de surface il faut faire intervenir les notions d'érosion qualitativement sélective. Or la méthode qui consiste à mesurer tout ce qui sort d'une parcelle expérimentale comme les cases d'érosion permet une approche bien plus rapide et plus fine de la dynamique actuelle des sols que l'analyse d'échantillons du sol en place.

Ces considérations d'ordre qualitatif doivent compléter semble-t-il les résultats quantitatifs classiques pour guider le planificateur qui doit décider des possibilités d'exploitation des terres.

Enfin, ces études de l'érosion sur parcelles fixes sous pluies naturelles gagnent à être complétées par des tests au simulateur de pluie qui, étant mobile, permet d'étendre à des conditions de sols, de couvertures végétales et de techniques culturales très variées les résultats observés en des conditions qui pour des raisons financières sont limitées, en Côte

d'Ivoire, à 2 stations principales (Adiopodoumé et Bouaké) et quelques stations secondaires (Man, Ferkéssédougou, Korhogo, Anguédédou, Azaguié et Divo).

C'est dans ce sens que l'O.R.S.T.O.M. envisage de continuer sa mission scientifique dans le domaine de l'érosion.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ADAMS (J.E.) - 1966 -
Influence of mulches on runoff, erosion and soil moisture depletion.
Proc. Soil. Sc. Soc. Am. 30, 110-114.

- 2 - ANDERSON (H.W.) - 1951 -
"Physical characteristics of soils related to erosion".
J. Soil and Water Conserv. 6 (3) p. 129-133.

- 3 - AUBERT (G.) et SEGALEN (P.) - 1966 -
Projet de classification des sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol. IV, 4, p. 97-112.

- 4 - AUBREVILLE (A.) - 1938 -
"La forêt coloniale. Les forêts de l'A.O.F."
Ann. Ac. Sc. Col., t. IX, 244 p., Paris.

- 5 - AUBREVILLE (A.) - 1949 -
"Climats, forêts et désertification de l'Afrique
Tropicale".
Soc. Ed. Géogr. Marit. Col., Paris, 351 pp.

- 6 - ARRIVETS (J.) ROOSE (E.) - 1972 -
Etude de l'érosion, du ruissellement et du drainage
oblique et vertical sur deux sols ferrugineux tropi-
caux du plateau Mossi : Campagne 1971 à la station
de Saria.
I.R.A.T., Haute-Volta, ORSTOM, Abidjan, p. multigr.

- 7 - AVENARD (J.M.), ROOSE (E.J.) - 1972 -
Quelques aspects de la dynamique actuelle sur versants
en Côte d'Ivoire.
Rapport multigr. ORSTOM, Abidjan, 25 p., 8 fig., 5
tabl., 27 réf.

- 8 - BARNETT (A.P.) - 1958 -
How intense rainfall affects runoff and soil erosion.
Agricultural Engineering, Vol. 39, n° 1, p. 703-707,
4 tabl., 24 réf.

- 9 - BARNETT (A.P.), DISEKER (E.G.), RICHARDSON (E.C.) - 1967 -
Evaluation of mulching methods for erosion control on newly prepared and seeded highway backslopes.
Agronomy Journal, Vol. 59, p. 83-85, 3tabl., 1 fig.,
9 réf.
- 10 - BARROW (H.L.) and KILMER (V.J.) - 1963 -
Plant nutrient losses from soils by water erosion.
Advances in Agronomy volume 15, 1963, p. 303-316,
43 réf., 1 fig.
- 11 - BENNET (H.H.) - 1939 -
"Elements of soil conservation".
2d éd. New-York, Mac Grow-Hill.
- 12 - BERGER (J.M.) - 1964 -
Parcelles pour l'étude expérimentale de l'érosion hydrique au CRA de Bouaké - 1960 - 61 - 62 - 63 -
Rapport multigr., Rép. Côte d'Ivoire, 18 tableaux.
- 13 - BERTRAND (R.) - 1967 -
"Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays baoulé".
Coll. sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive 19-25/11/67, n° 106, p. 1281-1295, 9 réf.
- 14 - BERTRAND (R.) - 1967 -
L'érosion hydrique.
Nature et évolution des matériaux enlevés.
Relation et conséquences sur le sol érodé (Station de Bouaké).
Coll. sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (19-25/11/67), n° 107, p. 1296-1301, 4 réf.
- 15 - BIROT (Y.), GALABERT (J.), ROOSE (E.), ARRIVETS (J.) -1968-
Deuxième campagne d'observations sur la station de mesure de l'érosion de Gampela : 1968.
Rapport multigr. CTFT, 40 p., 27 tabl., 26 fig.
- 16 - BOBKO (R.V.) - 1943 -
Erosion as an unaccounted part of nutrient balance in soil.
Pedology : n° 3, p. 41-48.

- 17 - BORST (H.L.) and WOODBURN (R.) - 1940 -
"Rain simulator studies of the effect of slope on erosion and runoff".
U.S. Dept. Agr. SCS-TP. 36.
- 18 - BRUNET-MORET (Y.) - 1967 -
"Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République de Côte d'Ivoire".
Rapport ORSTOM - Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, multigr., juin 1967, 20 p., 11 gr.
- 19 - CHARREAU (C.) - 1969 -
Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.
Agron. Trop. 24, 9, p. 836-842, 2 fig., 5 tabl., 10 réf.
- 20 - CHARREAU (C.) et SEGUY (L.) - 1969 -
Mesure de l'érosion et du ruissellement à Séfa en 1968.
Agron. Trop. 24, n° 11, p. 1055-1097, 20 fig., 20 tabl.
- 21 - CHARREAU (C.) et FAUCK (R.) - 1970 -
Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa.
Agron. Trop. 25, 2, p. 151-191, 21 tabl., 39 réf.
- 22 - CHARREAU (C.) - 1970 -
Note synthétique sur le travail du sol et son incidence agronomique dans la zone tropicale sèche de l'Ouest africain. Document provisoire.
Rapport IRAT - Sénégal, multigr., 82 p., 11 tabl.
- 23 - CHARREAU (C.) NICOU (R.) - 1970 -
L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-africaine et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest).
Sénégal, Ministère du Développement Rural, IRAT, 1970. - Rapport multigraphié, annexes, tabl., fig., pp. 249-339, 102 réf., t. 4, 339 p.

- 24 - CHARREAU (C.) NICOU (R.) - 1970 -
L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-africaine et ses incidences agronomiques d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). Sénégal, Ministère du Développement Rural ; IRAT, 1970. Rapport multigr. + annexes, tabl., fig. 102 réf. t. 3, 248 p.
- 25 - CHARREAU (C.) - 1972 -
"Problèmes posés par l'utilisation agricole des sols tropicaux par des cultures annuelles".
Communication au Séminaire sur les sols tropicaux, Ibadan, 22-26 mai 1972, 54 p., 10 tabl., 33 réf.
- 26 - CHRISTOI (R.) - 1966 -
"Mesure de l'érosion en Haute-Volta".
Oléagineux, août-sept. 21, 8-9, p. 531-534.
- 27 - CORMARY (Y.), 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.
Cahier ORSTOM, Série Pédol., vol. 2, n° 3, p. 3-26.
- 28 - C. T. F. T. - 1966 -
"L'équation universelle de perte de sols de Wischmeier".
Rapport multigr. CTFT, Madagascar, 15 p., 1 tabl., 6 réf.
- 29 - C. T. F. T. - 1971 -
Erosion, ruissellement et bilan de l'eau à Befandriana Nord. Campagnes : 1967-68 ; 1969-70.
Madagascar, CTFT, Ministère de l'Agriculture et de l'Expansion rurale. 57 p., multigr. + annexes ; cartes, fig., tabl.
- 30 - C. T. F. T. - 1971 -
Défense et restauration des sols. Station de Gampela.
Rapport annuel 1971.- Haute-Volta, Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et des Eaux et Forêts, CTFT, 1971, 18 p., multigr., tabl., graph.

- 31 - C. T. F. T. - 1971 -
Erosion, ruissellement et bilan de l'eau à Befandriana Nord.
CTFT, Madagascar ; multigr., 58 p. + annexes.
- 32 - DABIN (B.), LENEUF (N.) - 1957 -
"Note sur le fonctionnement des parcelles expérimentales pour l'étude de l'érosion à la station d'Adiopodoumé".
Année 1957.
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan, 11 p.
- 33 - DABIN (B.) et LENEUF (N.) - 1958 -
"Etude de l'érosion et du ruissellement en basse Côte d'Ivoire". Mai 1956-1958.
Rapport multigr. ORSTOM, 20 p.
- 34 - DABIN (B.) - 1959 -
"Etude expérimentale de l'érosion Adiopodoumé".
Rapport multigr. ORSTOM, Abidjan, inédit, 8 p.
- 35 - DAGNELIE (P.) - 1969 -
"Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques".
Vol. 1, 378 p. ; Vol. 2, 451 p. ; Ed. J. Duculot SA, Gembloux.
- 36 - DENNIS (H.W.) and GRIFFIN (E.C.) - 1971 -
Some effects of trincheras on small river basin hydrology.
J. of Soil and Water Cons., 26, 6, pp. 240-242.
- 37 - DULEY (F.L.) and HAYS (O.E.) - 1932 -
"The effect of the degree of slope on runoff and soil erosion".
J. Agr. Res., 45 ; p. 349-360.
- 38 - DULEY (F.L.) and KELLY (L.L.) - 1939 -
"Effect of soil type, slope, and surface conditions on intake of water".
Nebraska Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 112.

- 39 - DUMAS (J.) - 1965 -
Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. III, n° 4, pp. 307-333, bibliogr.
- 40 - EKERN (P.C.) - 1951 -
Raindrop impact as force initiating soil erosion.
Soil Sci. Proc., 15, p. 7.
- 41 - EKERN (P.C.) - 1954 -
Rainfall intensity as a measure of soil erosivity.
Soil Sci. Proc., 18, p. 212-216.
- 42 - ELLISON (W.D.) - 1945 -
Some effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration.
Trans. Am. Géophys. Un., 26, p. 415.
- 43 - EPSTEIN (E.), GRANT (W.J.) STRUCHTEMEYER (R.A.) - 1966 -
"Effects of stones on runoff, erosion and soil moisture".
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (Madison), 30, 5, p. 638-640, 5 tabl., 1 fig., 9 réf.
- 44 - F. A. O. - 1967 -
"La défense des terres cultivées contre l'érosion hydrique".
Coll. FAO, Progrès et mise en valeur, Agriculture n° 81, Rome 1967., 202 p., 114 fig., 13 tabl., nombreuses réf.
- 45 - FAUCK (R.) MOURLAUX (Cl.) et THOMANN (Ch.) - 1969 -
Bilans de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue.
Agron. Trop. 24, 3, p. 263-301, 40 réf.
- 46 - FEODOROFF (A.) - 1965 -
Mécanismes de l'érosion par la pluie.
Revue géogr. phys. Géol. dyn. (Paris) 2 p. 149-163, 55 réf.
- 47 - FILLONNEAU (C.) - 1972 -
Analyse des composantes du rendement des graminées fourragères tropicales en exploitation intensive.
I - Panicum maximum Jacq.
ORSTOM Abidjan, 62 p., multigr., fig., tabl., bibliogr., + annexes.

- 48 - FOURNIER (F.) - 1954 -
La parcelle expérimentale.
Méthode d'étude expérimentale de la conservation du sol, de l'érosion et du ruissellement.
Extrait du rapport de la Mission O.E.C.E. "Etude des Sols" aux Etats-Unis (T.A. 38-63) ORSTOM, Bondy.
- 49 - FOURNIER (F.) - 1960 -
"Climat et érosion".
Presses Universitaires de France, Paris, 201 p.
- 50 - FOURNIER (F.) - 1967 -
"La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain".
Sols africains, vol. 12, n° 1, p. 5-53, 5 fig., 32 tabl.
- 51 - FREE (G.R.) - 1952 -
Soil movement by raindrops.
Agricultural Engineering. Vol. 33, n° 8, p. 491-494, 5 fig., 3 tabl., 13 réf.
- 52 - FREE (G.R.) and BAY (C.E.) - 1969 -
"Tillage and slope effects on runoff and erosion".
Trans. Am. Soc. Agr. Engr. 12, 2, pp. 209-211, 215.
- 53 - GODEFROY (J.), MULLER (M.) et ROOSE (E.) - 1970 -
Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de basse Côte d'Ivoire".
Fruits, 25, 6, p. 403-423, 5 fig., 13 tabl., 11 réf.
- 54 - 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.
- 55 - GOUJON (P.) - 1968 -
Conservation des sols en Afrique et à Madagascar :
1ère Partie : les facteurs de l'érosion et l'équation universelle de Wischmeier.
Bois et Forêts des Tropiques, n° 118, p. 3-17.

- 56 - HARROY (J.P.) - 1944 -
"Afrique, Terre qui meurt. La dégradation des sols africains sous l'influence de la colonisation".
p. 557 - Bruxelles.
- 57 - HENIN (S.) - -
"Le mécanisme de l'érosion par l'eau".
Bull. Tch. Information. Ing. du service Agricole,
n° 50-51.
- 58 - HEUSCH (B.) - 1969 -
"L'érosion dans le bassin du Sébou : une approche quantitative".
Revue Géogr. du Maroc n° 15
p. 109-128 ; 36 réf., 3 fig., 16 tabl., résumé fr., arabe.
- 59 - HEUSCH (B.) - 1969 -
L'expérimentation.
(Projet Sébou) - Campagnes 1966-1967 -
1967-1968.
Rapport multigr., 181 p., nombreuses fig. et graph., 42 réf.
- 60 - HEUSCH (B.) - 1970 -
L'érosion hydraulique au Maroc : son calcul et son contrôle.
Rapport multigr., Dir. Eaux et Forêts du Maroc, 16 p.,
12 tabl., 5 fig., 9 réf.
- 61 - HEUSCH (B.) - 1970 -
L'érosion du pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif Occidental.
(in : Annales de la Recherche Forestière au Maroc,
Numéro spécial, Etudes sur l'érosion, 1970, t. 12,
Rabat, pp. 9-176, 6 cartes, 21 fig., bibliogr.
- 62 - HUDSON (N.W.) - 1957 -
Soil erosion and tobacco growing.
Rhodesia Agric. Journ., Vol. 54, n° 6, nov.-déc. 1957.,
p. 547-555, 7 fig., 4 réf.

- 63 - HUDSON (N.W.) - 1958 -
"Run-off and soil loss from arable land in southern Rhodesia".
Général assembly of the international union for the Conservation of nature and its resources.
7th Technical session - Athens - Sept. 1958, 12 p.
- 64 - HUDSON (N.W.) - 1961 -
Raindrop size distribution, kinetic energy, and intensity of sub-tropical rainfall.
C.C.T.A./C.S.A. Hydrological Conference Nairobi.
7 p., 3 fig., 8 réf.
- 65 - HUTTEL (Ch.) - 1971 -
"Estimation du bilan hydrique dans une forêt sempervirente de basse Côte d'Ivoire".
AIEA - IAEA / SM - 151 / 46 - Symposium on the use of isotopes and radiation in research on soil-plant relationships including applications in Forestry, Vienne, 13-17 déc. 1971, 12 p., 6 fig., 20 réf.
- 66 - KALMAN (R.) - 1970 -
Ruissellement et érosion en nappe. (Expérimentation au simulateur de pluie).
(in : Annales de la Recherche Forestière au Maroc, Numéro spécial, Etudes sur l'érosion, 1970, t. 12, Rabat, pp. 177-287, 24 tabl., 40 fig., 2 fotogr., bibliogr.
- 67 - LAWS (J.O.) - 1940 -
"Recent studies in raindrops and erosion".
Agricultural Engineering 21 : p. 431-433.
- 68 - LE BUANEC (B.) - 1971 -
Dix ans de culture motorisée sur un bassin versant du Centre Côte d'Ivoire. - Bilan général -
Rapport multigr., IRAT/CI, Bouaké, 32 p., 15 tabl., 17 fig., 20 réf.
- 69 - LISON (L.) - 1968 -
Statistique appliquée à la biologie expérimentale. La planification de l'expérience et l'analyse des résultats. Gauthier-Villars, Paris, 346 p., tabl.
(Collection Science et Technique d'aujourd'hui, sous la dir. de M.P. LEPINE).

- 70 - MANNERING (J.V.) MEYER (L.D.) - 1961 -
The effects of different methods of cornstalk residue management on runoff and erosion as evaluated by simulated rainfall.
Soil Science Society of America Proceedings, vol. 25, n° 6, Nov-Déc. 1961, p. 506-510, 13 réf., 4 fig.
- 71 - MARYNEN (T.), DE SLOOVER (J.) - 1963 -
La mesure écologique des sommes d'éclairement.
Agricultura - Louvain, Vol. XI, 2 série n° 4, p. 393-411, 4 fig., 7 réf.
- 72 - MASSEY (H.F.) and JACKSON (M.L.) - 1952 -
Selective erosion of soil fertility constituents.
Proc. Soil Sci. Soc. Amer., vol. 16, p. 333-356.
- 73 - MEYER (L.D.) MANNERING (J.V.) - 1961 -
Minimum tillage for corn : its effect on infiltration and erosion.
Agriculture Engineering, vol. 42, n° 2, Févr. 1961, p. 72-75, 86, 5 fig., 3 tabl., 16 réf.
- 74 - MEYER (L.D.) MANNERING (J.V.) - 1963 -
Crop residues as surface mulches for controlling erosion on sloping land under intensive cropping.
Transactions of the ASAE - Michigan, vol. 6, n° 4, 1963, p. 322-323, 327, 2 fig., 26 réf.
- 75 - MOE (P.G.) MANNERING (J.V.) JOHNSON (C.B.) - 1967 -
Loss of fertilizer nitrogen in surface runoff water.
Soil science, vol. 104, n° 6, p. 389-394, 1 tabl., 11 réf.
- 76 - MOLDENHAUER (W.C.) WISCHMEIER (W.H.) - 1960 -
Soil and water losses and infiltration rates on Ida siltloam as influenced by cropping systems, tillage practices and rainfall characteristics.
Soil Science Society of America Proceedings, Vol. 24, n° 5, 1960, p. 409-413, 4 fig., 3 tabl., 7 réf.

- 77 - NALOVIC (Lj.) - 1968 -
Les méthodes d'analyses des sols et des eaux utilisées
au laboratoire du Centre d'Adiopodoumé.
Adiopodoumé, ORSTOM, s.d. - 123 p., multigr., tabl.,
fig., Bibliogr.
- 78 - NEAL (J.H.) and BAVER (L.D.) - 1938 -
The effect of the degree of slope and rainfall charac-
teristics on runoff and soil erosion.
MO.U. RES. BUL. 280.
- 79 - RODIER (J.), AUVRAY (C.) - 1965 -
Estimation des débits de crues décennales pour les
bassins versants de superficie inférieure à 200 km²
en Afrique Occidentale.
Rapport ORSTOM - CIEH, 30 p., multigr.
- 80 - ROOSE (E.J.) - 1965 -
Etude de la méthode des bandes d'arrêt pour la conser-
vation des sols. I. Protocole et premiers résultats.
Campagne 1964 aux cases d'érosion d'Adiopodoumé.
ORSTOM, 12 p., 6 tabl., multigr.
- 81 - ROOSE (E.J.) - 1966 -
Etude de la méthode des bandes d'arrêt pour la conser-
vation de l'eau et des sols.
II. Résultats des cases d'érosion d'Adiopodoumé en 1965.
Station ORSTOM d'Adiopodoumé, ronéo, p. 23, 7 tabl.
- 82 - ROOSE (E.J.) - 1967 -
"Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique
sur les cultures".
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive
19-25/11/67 : Communication n° 113, pp. 1385-1404,
14 fig., 21 réf.
- 83 - ROOSE (E.J.) - 1967 -
Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement
au Sénégal.
Agron. Trop. vol. 22, n° 2, pp. 123-152, 6 fig., 21
tabl., 28 réf.

- 84 - ROOSE (E.J.) - 1968 -
Mesure de l'érodibilité d'un sol (facteur K) sur la parcelle de référence de Wischmeier.
Deuxième projet de protocole standard et sa discussion.
Note multigraphiée ORSTOM, Abidjan, 4 + 6 p.
- 85 - ROOSE (E.J.), BIROT (Y.) - 1970 -
Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau Mossi (Gonsé : Haute-Volta).
I. Résultats des campagnes 1968-1969.
Rapport ORSTOM (Abidjan) - CTFT (Ouagadougou) multigr., 148 p., 36 tabl., 25 fig., 72 réf.
- 86 - ROOSE (E.J.) et BERTRAND (R.) - 1971 -
Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest.
Résultats expérimentaux et observations sur le terrain.
Agron. Trop. 26, 11, pp. 1270-1283, 9 fig., 1 tabl., 19 réf.
- 87 - ROOSE (E.J.) - 1971 -
Influence des modifications du milieu naturel sur l'érosion, le ruissellement, le bilan hydrique et chimique, suite à la mise en culture sous climat tropical. Synthèse des observations en Côte d'Ivoire et en Haute-Volta.
Rapport multigr., ORSTOM Abidjan, 22 p., 2 tabl., 2 fig., 25 réf.
Communic. au Séminaire des sols tropicaux, Ibadan, mai 1972.
- 88 - ROOSE (E.J.) et HENRY DES TUREAUX (P.) - 1971 -
"Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire.
Campagne 1970 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé".
Rapport multigr. ORSTOM, 91 p., 12 fig., 23 tabl., 50 réf.
- 89 - ROOSE (E.) - 1972 -
Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.
Campagne 1968 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan. 26 p. - annexe, 12 fig., tabl.

- 96 - ROOSE (E.J.) - 1973 -
Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.
Campagnes 1962 et 1963 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
ORSTOM, Abidjan, 19 p., multigr. + annexes, tabl., 3 fig., bibliogr.
- 97 - ROOSE (E.J.) - 1973 -
Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.
Campagne 1966 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
ORSTOM, Abidjan, 19 p., multigr. + annexes, tabl. 4 fig., bibliogr.
- 98 - ROOSE (E.J.) - 1973 -
Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.
Parcelles d'érosion d'Adiopodoumé : campagne 1967.
ORSTOM, Abidjan, 21 p., multigr. + annexes, tabl., 2 fig., bibliogr.
- 99 - ROOSE (E.J.) - 1973 -
Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.
Campagne 1972 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan, 27 p, nbreux tabl., 2 fig., annexe.
- 100 - SMITH (D.D.) and WISCHMEIER (N.H.) - 1957 -
"Factors affecting sheet and rill erosion".
American Geophysical Union Transactions, 38 (6), pp. 889-896.
- 101 - SMITH (D.D.) and WISCHMEIER (W.H.) - 1962 -
"Rainfall erosion".
Advances in Agron. 14 : p. 109-148, Academic Press, Inc, New-York, p. 109-148 ; 3 tabl., 4 fig., 155 réf.
- 102 - STALLINGS (J.H.) - 1951 -
"Soil fertility losses by erosion".
Better crops with plant food 33, p. 123-128.

- 90 - ROOSE (E.) - 1972 -
Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire.
Campagne 1969 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
ORSTOM, Abidjan., 45 p., multigr., tabl., 3 fig.
- 91 - ROOSE (E.J.) - 1972 -
"Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de Basse Côte d'Ivoire".
Campagne 1971 sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé.
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan, 49 p., 3 fig., tabl., 7 réf.
- 92 - ROOSE (E.) - 1972 -
Contribution à l'étude de la résistance à l'érosion de quelques sols tropicaux.
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan. 11 p., 3 tabl., fig., bibliogr.
Projet de communication au Congrès de Science du Sol de Moscou, 1974.
- 93 - ROOSE (E.J.) - 1972 -
Quelques effets des pluies sur la mise en valeur des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux.
Rapport multigr. ORSTOM, Abidjan, 16 p., 4 fig., 5 tabl.
Communication au Séminaire des Sols Tropicaux, Ibadan, mai 1972.
- 94 - ROOSE (E.J.) - 1972 -
"Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne".
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan, 24 p., 5 fig. 4 tabl., 34 réf.
Communication aux Journées d'Etude du Génie Rural à Florence du 12-16/9/1972.
- 95 - ROOSE (E.J.) - 1972 -
"Contribution à l'étude de l'appauvrissement de quelques sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux situés entre Abidjan et Ouagadougou par l'utilisation de méthodes expérimentales de terrain".
ORSTOM, Bull. liaison thème A n° 1, p. 19 à 41, 8 fig., 33 réf.
Comm. à la Journée des pédologues de l'ORSTOM, 28 sept. 1971.

- 103 - STALLINGS(J.H.) - 1953 -
"Continuous plant cover - the key to soil and water conservation".
J. Soil and Water Cons. 8, pp. 63-68.
- 104 - STALLINGS (J.H.) - 1957 -
"Soil conservation".
Prentice - Hall, New-York., 575 p.
- 105 - STALTENBERG (N.L.) and WHITE (J.L.) - 1953 -
"Selective loss of plant nutrients by erosion".
Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 17, p. 406-410.
- 106 - SWANSON (N.P.) and DEDRICK (A.R.) - 1965 -
"Protecting soil surface against water erosion with organic mulches".
Annual Meeting of the Amer. Soc. of Agronomy 10 p.
31/10 - 5/11 - 1965 - Colombus Ohio, 8 réf.
- 107 - SWANSON (N.P.), DEDRICK (A.R.), DUDECK (A.E.) - 1967 -
Protecting steep construction slopes against water erosion.
Highway Research Record 206, p. 46-52, 3 tabl., 3 réf.,
1 fig.
- 108 - TONDEUR (G.) - 1950 -
Erosion du sol spécialement au Congo-Belge.
Publication des services de l'agriculture du Ministère
des colonies et du Gouvernement général du Congo-Belge.
Bruxelles, 3ème édition.
- 109 - VERNEY (R.), VOLKOFF (B.), WILLAIME (P.) - 1967 -
"Etude de l'érosion sur "Terres de Barre".
Comparaison sol nu - jachère arbustive - Année 1965 -
Rapport multigr., ORSTOM, 14 p + annexe 20 p, 5 tabl.
- 110 - VERNEY (R.), VOLKOFF (B.) - 1967 -
"Etude de l'érosion sur "Terres de Barre".
Erosion sous culture de maïs sans fumure minérale
- Année 1966 -
Rapport multigr., ORSTOM, 18 p. + Annexe, 17 p., 7 tabl.

- 111 - VERNEY (R.) ; VOLKOFF (B.) - 1967 -
Etude de l'érosion sur "Terres de Barre"; Erosion
sous culture de maïs sans fumure minérale - Année 1966 -
Rapport multigr., ORSTOM, Cotonou, 18 + 17 p., 7 tabl.
- 112 - VERNEY (R.), VOLKOFF (B.) - 1968 -
Etude de l'érosion sur "Terres de Barre" - érosion
sous culture de maïs : maïs avec fumure minérale.
Année 1967.
Rapport multigr., ORSTOM, 21 p., nb. tabl. + annexe,
22 p.
- 113 - VERNEY (R.), VOLKOFF (B.) - 1969 -
"Etude de l'érosion sur Terres de Barre - Erosion
sous culture d'arachide - Année 1968".
Rapport ORSTOM, multigr., 17 p. + annexe, 35 p.,
nbreux tabl.
- 114 - WISCHMEIER (W.H.) and SMITH (D.D.) - 1958 -
Rainfall energy and its relationship to soil loss.
Trans. Amer. Géophys. Union, n° 39, p. 285-291, 13 réf.
- 115 - WISCHMEIER (W.H.) - 1960 -
Cropping management factor evaluations for a universal
soil-loss equation.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc., p. 322-326, vol. 24, n° 4,
July, August 1960, 2 tabl., 11 réf.
- 116 - WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.) - 1960 -
A universal soil-loss estimating equation to guide
conservation farm planning.
7th Intern. Congr. Soil Science, 1960, vol. I, p. 418-
425.
- 117 - WISCHMEIER (W.H.) - 1961 -
A universal equation for predicting rainfall-erosion
losses.
An aid to conservation farming in humid regions.
Agr. Research Service 22-66. United States Department
of Agriculture. 11 p., 1 tabl., 3 fig.

- 118 - WISCHMEIER (W.H.) - 1962 -
Rainfall erosion potential. Geographic and Location differences of distribution.
Agricultural Engineering n° 43, P. 212-215, 8 réf.
- 119 - WISCHMEIER (W.H.) SMITH (D.D.) - 1965 -
Predicting rainfall-erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation.
A.R.S. - U.S.D.A. - Agriculture handbook n° 282, 47 p., 12 tabl., 21 fig., 28 réf.
- 120 - WISCHMEIER (W.H.) MANNERING (J.V.) - 1969 -
Relation of soil properties to its erodibility.
Soil Science Society of America Proceedings, vol. 33, n° 1, January-February 1969, p. 131-137, 4 tabl., 1 fig., 17 réf.
- 121 - WISCHMEIER (W.H.), JOHNSON (C.B.) and CROSS (B.V.) - 1971-
"A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites".
J. of soil and water conservation, vol. 26, n° 5, p. 189 à 192, 2 fig., 1 tabl., 7 réf.
- 122 - WOODBURN (R.) - 1948 -
"The effect of structural condition on soil detachment by raindrop action".
Agr. Eng. 29, p. 154-156.
- 123 - ZINGG (A.W.) - 1940 -
"Degree and length of land slope as it affect soil loss and runoff".
Ag. Eng., 21, p. 59-64.
-

A N N E X E 2

Résumé des traitements et des phénomènes d'érosion sur les parcelles d'érosion d'Adiopodoumé
Campagnes 1956 - 1957 - D'après DABIN et LENEUF -

N° Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Pente	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	23 %	4,5 %
1956	h (mm) = 252 + 1534 + 639 = 2425 mm						
Pluie	RUSA = 160 + 1006 + 261 = 1427 unités.						
Traitements	Crotalaire ret. à plat semis 7/5	Manioc sur butte repiquage 7/5	Sol nu désherbé -	Flemingia cong. à plat semis 7/5	Ananas isohypse/plat -	Forêt 2aire -	pas installée -
Erosion t/ha	5-7 : 47,5 8-12 : 0,3	89,6 3,2	79,0 39,3	41,7 0,8	14,4 1,1	2,3 0,3	- -
Ruiss. %	5 à 7 : 26,7 8-12 : 5,1	26,6 17,0	28,2 25,7	24,8 3,1	21,9 5,2	2,7 0,9	- -

1957	h (mm) = 237 + 1541 + 605 = 2383 mm						
Pluie	RUSA = 160 + 1005 + 261 = 1427 unités						
Traitements	1) Crotalaire suite 2) Igname/butte semis mars 3) malade=sol nu en scût	manioc/butte manioc/butte mimosa = nu à plat	sol nu tassé sol nu tassé sol nu tassé sol nu tassé	Flemingia " mulch " mulch " mulch	Ananas 2d an " à plat " à plat " à plat	Forêt 2aire " " "	- Ananas billon isohypse 20/6 "
Erosion t/ha	1 à 4 : 0,1 5 à 7 : 42,7 8 à 12 : 5,2	0,3 1,6 26,6	12,7 76,5 15,3	0 0 0	0,1 0,1 0	0 0,2 0	- 1,5 0
R %	1 à 4 : 2,2 5 à 7 : 20,8 8 à 12 : 11,7	6,7 6,9 10,8	17,3 32,3 26,7	1,2 0,9 0,7	1,4 1,1 0,8	2,5 0,9 0,6	- 9,6 0,5

Résumé des campagnes 1958-1959 à Adiopodoumé
- d'après DABIN et LENEUF -

N° Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Pente	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	23 %	4,5 %
1958	Pluie h(mm) = 489 + 1147 + 309 = 1945 mm RUSA = 450 + 1006 + 137 = 1593 unités						
Traitements	1) Nu-Crotalaire en mars	Mimosa 2d an	Nu, tassé	Flemingia 3d an	Ananas suite	Forêt 2aire	Ananas
	2) Developp.lent	à plat	Centrosema en mai	maïs médiocre	Ananas/Ananas	"	Ananas billon isohypse
	" "	"	" dev. nul	" "	" à plat	"	" "
	3) " "	"	" "	" "	" "	"	" "
Erosion t/ha	1 à 4 : 11,2	30,1	15,6	0,5	0,3	0	0
	5 à 7 : 135,9	5,5	115,8	34,5	8,0	0,1	0
	8 à 12 : 2,1	0	1,5	0,5	0,3	0	0
Ruiss. %	1 à 4 : 12,1	17,8	14,6	1,6	1,0	0,2	0,1
	5 à 7 : 41,2	12,9	30,5	21,1	22,0	0,4	0,2
	8 à 12 : 5,0	0,2	5,6	1,3	1,7	0,1	0,2
1959	Pluie h(mm) = 383 + 1518 + 441 = 2342 mm RUSA = 318 + 950 + 136 = 1404 unités						
Traitements	1) Crotalaire à plat 2 d an	mimosa dense	Nu/Titonia nul	Guatemala	Ananas billonné	Forêt 2aire	Ananas billon
	2) Panicum+fumier	Digitaria+fum.	Digitaria méd.	" bien dév.	"	"	Pennisetum+fum.
	3) " "	" "	" Médiocre	" "	"	"	" "
Erosion t/ha	1 à 4 : 3,1	0,7	1,2	0,1	0	0,04	0,1
	5 à 7 : 42,7	31,7	95,3	0,1	0,1	0,02	0,3
	8 à 12 : 0	0	0,2	0	0	0	0
Ruiss. %	1 à 4 : 5,3	2,2	6,0	1,3	0,9	0,6	1,1
	5 à 7 : 29,0	25,9	31,0	5,4	3,7	0,4	4,5
	8 à 12 : 0,3	0,1	1,0	0,1	0,4	0,2	0,1

Résumé des campagnes 1962 - 1963 à Adiopodoumé
- d'après les résultats de A. PERRAUD -

N° Parcelle	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Pente	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	23 %	4,5 %
1962	Pluie h(mm) = 389 + 1902 + 482 = 2773 mm RUSA = 270 + 1392 + 265 = 1927 unités						
Traitements	1) Caféier+Fleming.	Palmier+Centros.	Digitaria umfolozi	Bananier+paillis	Caf.+Stylosant	Forêt 2aire	Jachère natur.
	2) " " "	Centrosema	" "	Sol nu ?	Crotalaire ?	"	Cacaoyer+manioc
	3) " " "	" "	" "	Sol nu ?	Pueraria ?	"	" ornemental
Erosion t/ha	1 à 4	0	0	0	0	0	0
	5 à 7	0	0,1	0	96,2	22,0	0,01
	8 à 12	0	0	0	4,2	0	0
Ruiss. %	1 à 4	0,5	0,6	0,1	0,3	0,4	0,5
	5 à 7	0,9	1,8	1,8	47,9	37,2	0,1
	8 à 12	0,3	0,6	0,8	10,3	4,1	0,2
=====							
1963	Pluie H(mm) = 320 + 1523 + 591 = 2434 mm RUSA = 181 + 890 + 296 = 1367 unités						
Traitements	- Caf.+Flemingia	Palm.+Centros.	Digitaria	Sol nu ?	Pueraria	Forêt 2aire	Cacaoyer + ?
	- " + Flemingia	" +Centrosema	"	Panicum ?	Pueraria	"	" + manioc or- nemental
	- " + Flemingia	" "	"	Panicum ?	Pueraria	"	" "
Erosion t/ha	1 à 4	0	0	0	1,4	0	0
	5 à 7	0	0	0	0,1	0,2	0
	8 à 12	0	0	0	0	0	0
Ruiss. %	1 à 4	0	0,3	0,1	10,4	2,3	0,2
	5 à 7	0,6	1,0	0,8	0,9	1,4	0,2
	8 à 12	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1

ANNEXE 2 - Résumé des traitements et des phénomènes d'érosion sur les parcelles d'Adiopodoumé
Campagnes 1964 à 1966. - D'après les résultats de E.J. ROOSE -

N° Parcelle	P1 7 %	P2 7 %	P3 7 %	P4 7 %	P5 7 %	P6 23 %	P7 4,5 %
1964	Pluie $h(\text{mm}) = 191 + 1084 + 373 = 1648 \text{ mm}$ $R_{USA} = 59 + 765 + 260 = 1084 \text{ unités}$						
Traitements	1) Caf.+Flemingia 2) Bande arrêt = 1m Manioc/butte	Palmier+Centros! B.A. = 3 m Manioc/butte	Digitaria B.A. = 2 m Manioc/butte	Panicum (?) B.A. = 3 m Manioc/butte	Pueraria B.A. = 2 m Manioc/butte	Forêt 2aire " "	Cacaoyer+ manioc? B. A. = 1 m. Manioc/butte
Erosion t/ha	1 à 4 5 à 7 8 à 12	0 17,9 1,5	0 30,8 1,2	0 21,1 1,6	0 37,4 1,9	0 12,6 1,2	0 2,7 0,5
Ruiss. %	1 à 4 5 à 7 8 à 12	0,2 18,0 12,6	0,1 19,0 10,4	0,1 19,2 6,7	0,2 21,0 12,1	0 18,9 11,7	0,4 17,2 10,2
1965	Pluie $h(\text{mm}) = 448 + 1566 + 285 = 2299 \text{ mm}$ $R_{USA} = 350 + 1220 + 103 = 1673 \text{ unités}$						
Traitements	1) B.A. = 1 puis 0m - manioc/butte/fumier	B.A.=3 puis 4m Manioc/butte	B.A. = 2 m Manioc/butte	B.A.=3 puis 4m Manioc/butte	B.A. = 2 m Manioc/butte	Forêt 2aire " "	B.A=1 puis 0m. Manioc/butte " en quinconce
Erosion t/ha	1 à 4 5 à 7 8 à 12	0,5 35,5 0	0 1,8 0	0,1 12,0 0	0 2,6 0	0 0,9 0	0 1,8 0
Ruiss. %	1 à 4 5 à 7 8 à 12	4 38 4	1 9 0,3	1 22 0,1	1 13 0,2	1 12 0,1	0,3 15 0,2
1966	Pluie $h(\text{mm}) = 195 + 973 + 301 = 1469 \text{ mm}$ $R_{USA} = 43 + 503 + 68 = 614 \text{ unités}$						
Traitements	1) B.A. = 0 mètres Manioc/butte	B.A. = 4 m Manioc/butte	B.A. = 2 m Manioc/butte	B.A. = 4 m Manioc/butte	B.A. = 2 m Manioc/butte	Forêt 2aire " "	B.A. = 0 m Manioc/butte Manioc/butte
Erosion t/ha	1 à 4 5 à 7 8 à 12	0 25,9 3,8	0 30,4 2,0	0 24,6 2,9	0 24,6 2,2	0 21,7 0,6	0 7,4 0,2
Ruiss. %	1 à 4 5 à 7 8 à 12	0,6 28,7 8,5	0,6 32,1 6,5	0,4 27,6 7,1	0,4 26,9 7,8	0,3 30,6 2,3	0,2 17,7 1,8

ANNEXE 2 - Résumé des traitements et des phénomènes d'érosion sur les parcelles d'Adiopodoumé

Campagnes de 1967 à 1969. - D'après les résultats de E.J. ROOSE -

N°	Parcelle	P1 7 %	P2 7 %	P3 7 %	P4 7 %	P5 7 %	P6 23 %	P7 4,5 %
1967	Pluie	h(mm) = 183 + 1214 + 248 = 1645 mm						
		RUSA = 57 + 648 + 124 = 829 unités						
Traitements	1) Sol nu billonné	Sol nu billonné	Nu billonné	Nu billonné	Nu billonné	Nu billonné	Nu billonné	Nu billonné
	2) Maïs/butté (20/4)	Arachide/plat(20/4)	Nu à plat	Nu à plat	maïs/butté (20/4)	Arach./plat(20/4)	Arach./plat (20/4)	Arach./plat (20/4)
	3) " (14/9)	" (14/9)	"	"	" (14/9)	" (14/9)	" (14/9)	" (14/9)
Erosion	1 à 4	0,2	1,8	1,3	2,4	1,0	6,1	0,3
t/ha	5 à 7	74,8	118,3	144,2	174,9	100,2	348,2	29,3
	8 à 12	0,8	1,4	7,3	9,1	2,2	73,0	0,3
Ruiss. %	1 à 4	2,1	2,2	2,2	3,8	2,7	2,3	2,7
	5 à 7	33,3	31,3	31,8	30,1	35,9	30,3	21,0
	8 à 12	13,3	6,2	15,0	16,1	12,0	15,1	6,8
1968	Pluie	h(mm) = 318 + 997 + 770 = 2085 mm						
		RUSA = 160 + 408 + 293 = 861 unités						
Traitements	1) Sol nu tassé /billon	Nu tassé /plat	Nu tassé plat	Nu tassé plat	Nu tassé billon	Nu tassé plat	Nu tassé plat	Nu tassé plat
	2) Nu + fumier (40 t/ha)	Maïs + fumier	Nu	Arach.+fumier	Maïs+ fumier	Nu	Nu	Nu
	3) " + 0	" + 0	Nu	" + 0	"	Nu	Nu	Nu
Erosion	1 à 4	9,6	2,3	18,5	22,2	18,6	96,4	0,5
t/ha	5 à 7	38,1	77,1	47,1	35,3	46,5	351,8	25,8
	8 à 12	21,7	54,2	30,6	32,0	24,4	174,1	7,9
Ruiss. %	1 à 4	22,6	5,8	23,8	26,7	23,4	14,0	6,0
	5 à 7	43,0	38,4	25,5	26,1	34,5	29,5	28,5
	8 à 12	24,1	27,8	13,4	18,3	23,1	23,0	24,0
1969	Pluie	h(mm) = 313 + 1214 + 424 = 1951 mm						
		RUSA = 150 + 703 + 135 = 988 unités						
Traitements	1) Nu/plat	Nu/plat	Nu/ratissé 5cm	Nu/plat	Nu/plat	Nu/plat	Nu/plat	Nu/plat
	2) 23/4 lab.+fumier	lab.+ fumier	labour	lab. + fumier	lab. + fumier	labour	labour	labour
	- Arachide/plat	sol nu	Nu travaillé/mois	maïs/billon	maïs/billon	nu	nu	nu
	3) 18/10	"	"	"	"	nu	nu	nu
Erosion	1 à 4	11,2	15,2	16,9	3,2	15,6	62,9	4,2
t/ha	5 à 7	51,0	111,9	119,3	67,3	75,1	267,1	56,6
	8 à 12	7,9	22,6	27,7	12,5	14,7	234,2	13,0
Ruiss. %	1 à 4	21,8	16,4	14,9	5,2	17,0	22,8	24,2
	5 à 7	31,1	41,8	45,7	26,5	32,3	27,9	28,2
	8 à 12	23,0	23,6	25,1	21,2	17,4	23,1	28,4

ANNEXE 2 - Résumé des traitements et des phénomènes d'érosion sur les parcelles d'Adiopodoumé
- Campagnes de 1970 à 1972. - D'après les résultats de E.J. ROOSE -

N°	Parcelle	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1970	Pluie	h(mm) = 387	+ 882	+ 386	= 1655 mm	+ 121	mm			
		RUSA = 207	+ 848	+ 139	= 1194 unités	+ 70				
Traitements	1) nu tassé	nu tassé	nu tassé	nu travaillé	nu billon	nu billon	nu tassé	nu tassé		
	2) 1 au 4/5/70 labour planage et plantation	Stylosanthes	Cynodon	Nu+Curasol	nu	Panic.+Curas	Panicum	nu	nu	Nu+Curasol
	3) "	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	4) "	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Erosion	1 à 4/70	-	17,2	18,9	29,4	22,6	11,5	247,4	16,1	-
t/ha	5 à 7	21,3	83,5	63,4	132,3	22,4	88,6	451,7	61,9	111,5
	8 à 12	1,5	0,6	5,4	8,9	0,2	0,5	47,6	8,8	17,3
	1 au 3/71	0,1	0,1	5,9	8,8	0,1	0,1	32,8	3,5	13,2
Ruiss. %	1 à 4	-	34,0	29,4	26,4	25,0	20,8	32,0	44,2	-
	5 à 7	19,7	46,9	31,4	47,7	15,0	40,4	36,3	41,1	13,2
	8 à 12	8,3	2,2	6,6	28,0	0,8	2,9	21,2	43,4	11,8
	1 à 3/71	0,7	0,6	18,1	38,3	0,4	0,4	17,1	37,7	5,9
1971	Pluie	h(mm) = 1217	+ 354	+ 245	= 1816 mm					
		RUSA = 776	+ 119	+ 128	= 1023 unités					
Traitements	1-2-3 Cynodon	Stylosant.	Nu	Nu+Curasol	Panicum	Panic+Curas	Nu + Curas	Nu	Nu	
	1 au 15/4	labour, planage, plantation								
Erosion	4 à 7	0,2	13,1	121,3	65,6	3,9	1,2	295,6	48,5	514,1
t/ha	8 à 12	0,1	0,8	7,9	5,4	0,2	0	38,5	6,6	55,1
	1 à 3/72	0,0	0,0	10,1	6,2	0,0	0	31,1	4,6	48,5
Ruiss. %	4 à 7/71	18,8	21,7	33,0	35,2	15,5	11,9	23,2	49,2	17,5
	8 à 12	0,2	5,1	24,7	23,8	0,3	0	24,2	33,2	11,4
	1 à 3/72	0,1	0,2	29,7	30,9	0,1	0,1	24,1	31,8	13,5
1972	Pluie	h(mm) = 1045	+ 344	+ 173	= 1562 mm					
		RUSA = 580	+ 110	+ 128	= 818 unités					
Traitements	Stylosanth.	Cynodon	Nu+Curasol	Nu	Pan.+ Curas	Panicum	Nu	Nu	Nu + Curas.	
	Labour, planage et plantation									
				du 28 au 31 mars 1972						
Erosion	4 au 7/72	1,3	1,9	50,6	99,4	0,1	1,2	245,5	41,5	129,4
t/ha	8 au 12	0	0	3,8	9,9	0	0	21,0	2,6	13,8
	1 au 3/73	0	0	2,4	4,3	0	0	6,4	1,4	13,6
Ruiss. %	4 au 7/72	7,2	13,1	28,4	41,3	1,6	10,2	23,3	45,3	13,1
	8 au 12	0	0	17,7	35,3	0	0	14,2	40,1	10,5
	1 au 3/73	0	0	20,6	22,8	0	0	10,6	15,3	15,2