

CENTRE D'ADIOPODOUME

Laboratoire de Pédologie

COMPARAISON DES CAUSES DE L'EROSION ET DES PRINCIPES
DE LUTTE ANTIEROSIVE EN REGION TROPICALE HUMIDE, TROPICALE
SECHE ET MEDITERRANEENNE.

par

ROOSE (E.J.)

Maître de Recherches en Pédologie à l'ORSTOM

Projet de Communication aux Journées d'Etude de la 1ère
Section de la Commission Internationale du Génie Rural.

- Florence, 12 au 16 Septembre 1972 -

397

R E S U M E

L'auteur rapporte les résultats de mesure du ruissellement et de l'érosion en parcelles expérimentales (100 à 5000 m²) et en bassins versants (1 à 16000 km²) en trois sites écologiques bien distincts. De l'étude des causes et des facteurs il en conclut les techniques antiérosives à appliquer.

En région tropicale humide les pentes sont moyennes (5 à 20 %) et les précipitations très fortes. Il faut couvrir le sol, travailler en courbe de niveau et prévoir l'évacuation des excès d'eau.

En région tropicale sèche (moins de 1000 mm) les pentes sont faibles (0,5 à 3 %), les sols peu perméables et les précipitations trop irrégulières pour assurer une croissance correcte des cultures. Il faut tendre vers une absorption totale des eaux de pluie sur place tant par l'intensification des cultures (bonne couverture végétale) que par le travail du sol et les aménagements antiérosifs en courbe de niveau (gros billons enherbés).

En région méditerranéenne à très forte pente (20 à 60 %) les sols sont souvent riches en argiles gonflantes et les roches très friables (marnes, schistes, calcaires tendres). Il convient d'abord de stabiliser la base des versants (épis en gabion et seuils empierrés) que des défrichements abusifs ont déséquilibré. Parallèlement il faut développer une culture intensive dans les stations les plus favorables afin de diminuer la pression démographique sur les terres marginales.

S U M M A R Y

The author gives data about runoff and erosion obtained in runoff plots (100 to 5000 m²) and in watersheds (1 to 16.000 km²) of three ecological stations of Africa. From studies of causes and factors he concludes the antierosive techniques which are to be applied.

In humid tropical area the slopes are middle (5 to 20 %) but rainfall are very hard. The soil must be well covered by plants, contourcropped and the excess of water must be evacuated.

In dry tropical area (less than 40 inches) the slopes are very slight (0,5 to 3 %), the soils little permeable and the rainfall too irregular to insure a correct growth of crops. All the rainfall must be absorbed in the field thanks to intensive cultivation, fertilization, tillage and land-formed structures (big ridges under grass).

In mediterranean area the slopes are very hard (20 to 60 %) ; the soils are often rich in swelling clay and the rocks very friable (marl, schist and soft limestone). First we have to stabilize the basis of the versants (stony trincheras or gabions). At the same time intensive cultivation must be developed in the most acceptable plots in order to reduce the demographic pressure on the marginal land.

INTRODUCTION

Le problème de l'érosion se pose sous une forme ou sous une autre depuis des millénaires dans presque toutes les régions habitées du globe. Aussi les recherches sur les méthodes antiérosives sont-elles fort nombreuses et on pourrait se demander ce qu'il reste encore à découvrir dans ce domaine.

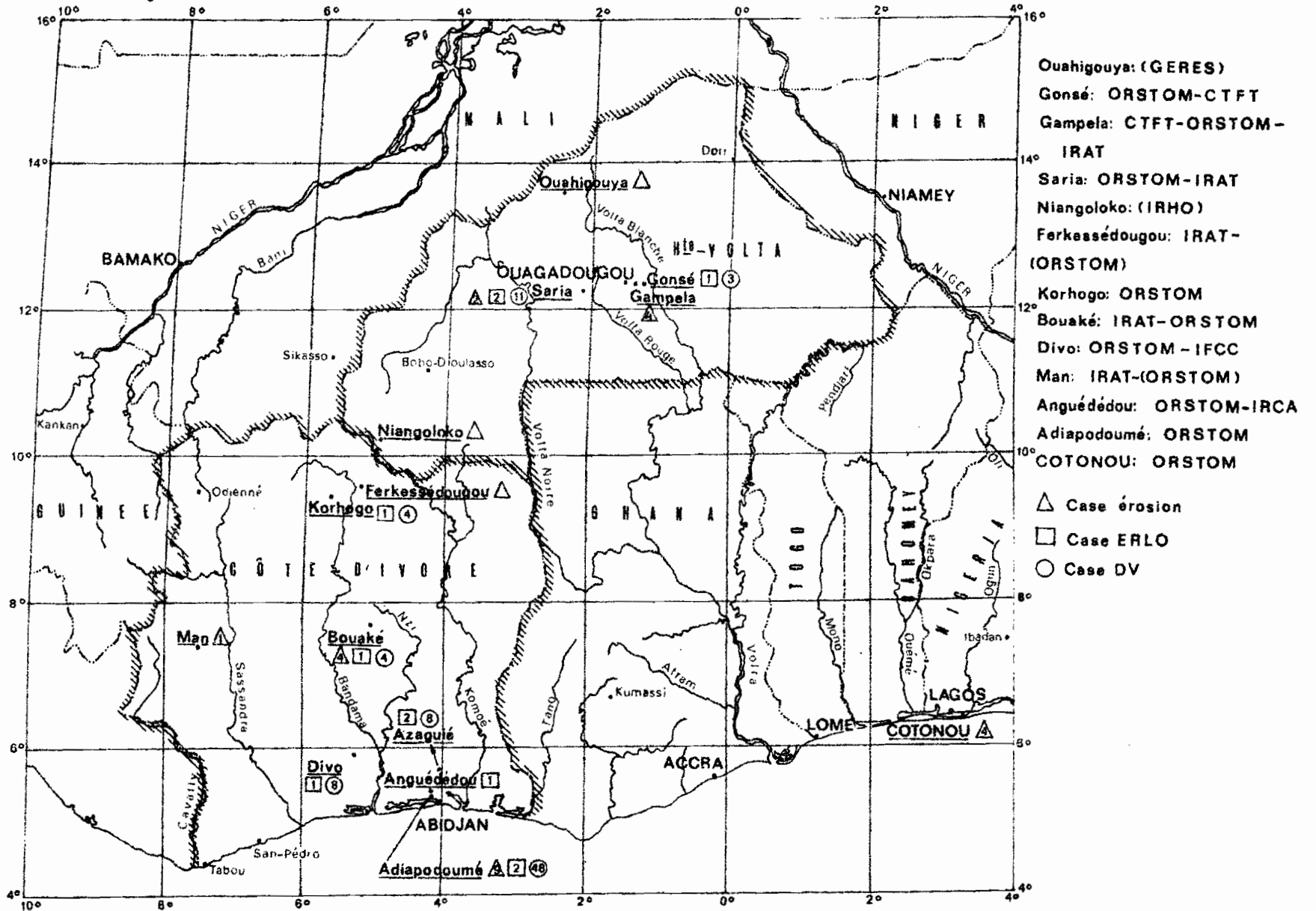
Pourtant les exemples ne manquent pas de vastes projets de lutte antiérosive régionaux qui engloutissent les maigres ressources dont disposent les pays en voie de développement et aboutissent à des échecs soit parce qu'on n'a pas tenu compte du milieu humain où se déroulait l'opération soit parce qu'on a négligé l'étude des causes régionales et des facteurs déterminant l'amplitude des phénomènes et le choix de la méthode de lutte antiérosive à préconiser.

Aux USA, les Services de l'Aménagement du Territoire ont fait d'énormes progrès depuis que WISCHMEIER et SMITH (1960) ont fait la synthèse des très nombreux résultats d'expérimentation en cases d'érosion et en bassins versants obtenus par leurs collaborateurs : ils ont exprimé une équation de prédiction de l'érosion tenant compte de l'agressivité du climat, de la pente, du type de sol, du couvert végétal et des techniques culturales.

Ces résultats pourraient s'appliquer sur de vastes zones des vieux socles européens, asiatiques et africains tandis que des approches très différents s'imposent dans les régions à relief jeune et dont les sols sont riches en argiles gonflantes.

A l'aide de quelques exemples choisis en Afrique nous voudrions montrer comment ajuster les méthodes de lutte antiérosive aux circonstances régionales.

Fig.1 CARTE DE SITUATION DES STATIONS DE MESURE DE L'EROSION ET DU DRAINAGE.



CHAPITRE I - EROSION EN REGION TROPICALE HUMIDE.

§ 1.1. Le milieu.

Nous prendrons pour exemple le Centre d'Adiopodoumé situé à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest d'Abidjan en basse Côte d'Ivoire (5°20' lat. N ; 4°08' long. O ; alt. 30 mètres).

Le climat est subéquatorial à 4 saisons : il est caractérisé :

- par des précipitations annuelles de l'ordre de 2.100 mm réparties très irrégulièrement en deux saisons des pluies (voir fig 1);
- par des températures variant peu autour de la moyenne (26,2°C);
- par une humidité relative de l'air oscillant entre 80 et 90 %.

L'évapotranspiration potentielle annuelle (GOSSE et ELDIN, 1972) s'élève à 1.220 mm : elle dépasse la pluviosité durant 6 mois de l'année.

Les précipitations journalières peuvent dépasser 150 millimètres une fois chaque année et 200 millimètres tous les 4 ou 5 ans.

A l'occasion de ces pluies exceptionnelles on peut enregistrer des intensités de l'ordre de 150 mm/heure durant dix minutes, de 80 mm/heure durant trente minutes et de 60 mm/heure pendant une heure.

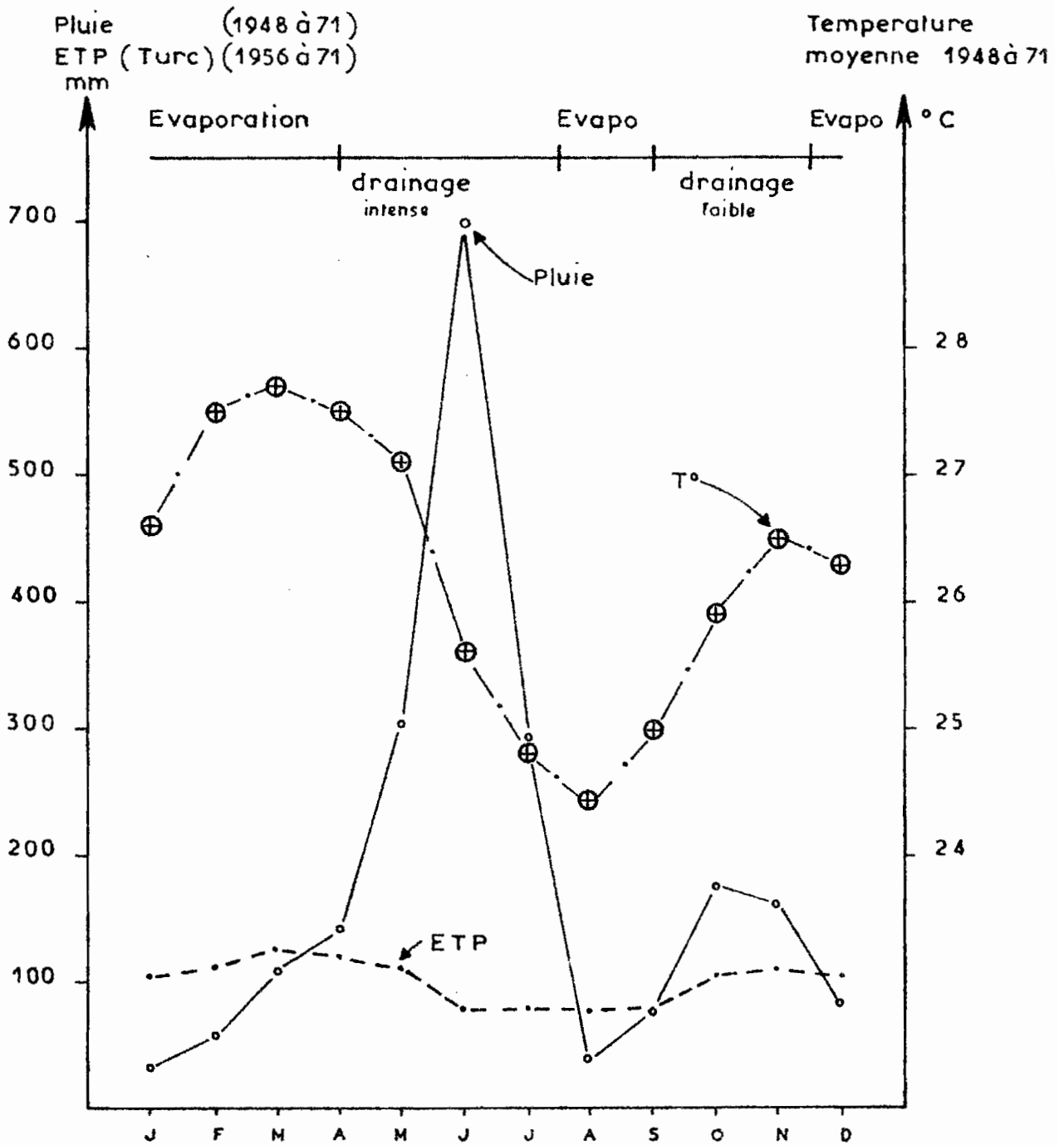
La végétation naturelle est une forêt dense humide partout secondarisée du fait des cultures itinérantes (manioc, maïs, café, cacao, palmier à huile et divers).

Le sol est ferrallitique très désaturé (AUBERT et SEGALIN, 1966) sur sables tertiaires (donc sableux, perméable et assez résistant). Plus de 90 % de la région a des pentes de moins de 20 % : le paysage se présente comme un plateau en pente douce (3 à 10 %) vers la mer entaillé profondément par des ruisseaux permanents.

§ 1.2. La méthode expérimentale. (FOURNIER, 1958) (DABIN, LENEUF, 1958).

Les essais ont été réalisés en cases d'érosion : ce sont des petites parcelles (90 m²) isolées par des tôles et au

FIG.2 Précipitations , ETP (Turc) et Temperature .
 Moyennes Mensuelles - Adiopodoumé -
 - Basse Côte d'Ivoire -



bas desquelles on recueille les eaux ruisselantes et les particules érodées (fines et grossières) dans des cuves reliées entre elles par un partiteur. Pluviomètre et pluviographe à augets indiquent la hauteur et l'intensité instantanée des précipitations. Depuis leur installation en 1956 le nombre de parcelles expérimentales est passé de 6 à 7 en 1957 puis à 9 en 1970.

§ 1.3. Les résultats. (voir tableau 1)

Sous forêt dense humide quelque soit la pente (7 à 63%) l'érosion (0,03 à 1 t/ha) et le ruissellement (1%) sont extrêmement réduits. Par contre si on maintient le sol dénudé, les pertes en terre sont jusqu'à 600 fois plus élevées (150 t/ha pour des pentes de 7%) et les ruissellements 25 à 60 fois plus forts.

Un simple paillage de 1 cm d'épaisseur est aussi efficace qu'une forêt secondaire de 30 mètres de haut. Dès qu'une plante de couverture ou un pâturage recouvre complètement le sol (ce qui prend 3 mois pour certaines graminées très vivaces et 12 mois pour les légumineuses plus lentes à se développer) les pertes en terre et en eau sont ramenées à des valeurs semblables à celles qu'on trouve sous forêt. Aussi les cultures industrielles telles que le caféier, le palmier à huile et l'hévéa (ROOSE et coll. 1971) qui supportent la présence de plantes de couverture posent peu de problème d'érosion une fois que cette dernière est bien installée. Par contre l'ananas recouvre mal le sol durant les 8 premiers mois (Clean weeding) : sa culture mécanisée sur de grandes surfaces peut poser des problèmes délicats (ravinement).

Les cultures vivrières telles que maïs, arachide, manioc et igname surtout si elles sont buttées peuvent entraîner des pertes en terre importantes (13 à 131 t/ha) et des ruissellements annuels moyens de 15 à 30 %. De telles variations dans les résultats sont encourageants car elles prouvent qu'il existe des méthodes simples, à la portée de chaque agriculteur africain et qui réduisent considérablement les problèmes de lutte antiérosive.

Si on évalue les coefficients de l'équation de prédiction de l'érosion de WISCHMEIER et SMITH (1958) on montre que :

- le climat de cette région est extrêmement agressif ($R_{USA} = 800$ à 1.200) ;

- ce sol ferrallitique désaturé sableux est très résistant ($K = 0,08$ à $0,13$) ;
- l'érosion augmente de façon exponentielle avec la pente tandis que le ruissellement se stabilise et même diminue au-delà d'un certain seuil (4 %) ;
- la couverture végétale (vivante ou morte = paillis) et les techniques culturales (labour, billonnage cloisonné isohypse) ont une action très énergique sur les pertes en terre ($C = 0,9$ à $0,001$) et moins forte sur le ruissellement.

§ 1.4. Conclusions : les méthodes de lutte antiérosive.

Les résultats des mesures expérimentales montrent qu'une fois le sol couvert, les phénomènes d'érosion et de ruissellement sont réduits à des niveaux très acceptables. Quelques techniques culturales classiques (labours profonds isohypses, billonnage cloisonné à faible pente, paillage, rotations bandes alternées, bandes d'arrêt, etc...) compléteront l'aménagement en attendant que le couvert végétal soit suffisant.

Avec HUDSON (1958 et 1959) nous préconisons donc avant tout une méthode biologique d'exploitation agricole intensive. Il s'agit de choisir des plantes à développement vigoureux et rapide, de semer tôt, à forte densité, sur un sol bien préparé, d'utiliser des doses suffisantes d'engrais, de lutter contre les maladies et les insectes, de répandre un léger paillage au cas où la couverture vivante serait insuffisante et enfin de laisser sur le sol le plus possible de paille et autres déchets de culture.

Il s'agit donc de développer la couverture végétale vivante ou morte ainsi que l'enracinement en vue d'absorber l'énergie des gouttes de pluie et celle du ruissellement.

Des méthodes mécaniques de lutte antiérosive, nous ne retiendrons que le principe de la culture en courbe de niveau pour les plantes annuelles et les petites terrasses individuelles avec plantes de couverture dans les interlignes pour les cultures arbustives (hévéa, palmier, fruitiers, etc...). Les autres demandent des terrassements trop onéreux.

TABLEAU 1 - Erosion (t/ha) et ruissellement (%) mesurés aux cases d'érosion d'Adiopodoumé
(basse Côte d'Ivoire) de 1956 à 1971.

Couverture végétale	Pente	Erosion annuelle t/ha		Ruissellement %	
		Extrêmes	Moyennes	Moyenne annuelle	Max. journalier
Forêt secondaire	7 % 22 63	- 0,01 à 2,4 0,9 à 2,0	0,03 0,2 1,0	0,14 0,7 0,8	- (12)* -
Sol nu	4,5 7 22	40 à 90 90 à 170 500 à 750	75 150 650	40 32 26	82 76 73
Palmier et caféier avec une bonne plante de couverture	7	0,1 à 0,5	0,3	2,5	16
Bananier avec paillis	7	-	0,04	0,5	3
Ananas	7 %	6 à 15	10	14	51
{ à plat 1ère année	7	-	1,5	6	5
{ butté 1ère année	7	-	1,5	6	5
{ à plat ou butté 2ème année	7	0,04 à 0,3	0,3	2,5	12
Plantes de couverture : plantation tardive et faible densité ou faible développement					
- légumineuses : Flemingia, Crotalaire, Stylosanthes, Mimosa					
- graminées : Digitaria umfolozi Panicum maximum etc..					
1ère année	7 %	14 à 89	40	20 à 30 %	60 (75)
2ème année	7 %	0,1 à 1	0,5	0,5 à 3 %	17
Plante de couverture: plantation hâtive, fort développement. Pennisetum purpureum, Setaria, Guatemalagrass, Cynodon aethiopicus, Panicum maximum					
1ère année	7 %	0,2 à 4	0,5	3 à 15 %	25 (50)
Manioc	7 %	27 à 93	40	20	61 (83)
ou buttes cloisonnées 1ère année	7 %	13 à 32	22	15	61
Igname	7 %	-	2	15	23
Mais butté	7 %	35 à 131	85	13 à 33	60 (80)
Arachide à plat	7 %	59 à 69	65	25	60 (85)

() Valeur exceptionnelle

Enfin, dans ces zones tropicales humides où il peut tomber près de 700 mm en 3 ou 4 semaines, il n'est pas raisonnable de vouloir absorber sur place toutes les eaux de pluie. Il faut donc prévoir d'une part l'absorption des rares averses tombant en période sèche et d'autre part prévoir l'évacuation des excès temporaires soit par des seuils enherbés soit par des bandes d'arrêt.

Ces résultats ont été obtenus sur des sols ferrallitiques très désaturés sur les sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire. Leurs conclusions peuvent être étendues aux sols ferrallitiques sur granite et sur schiste (plus fragiles) de la zone de forêt dense humide mais probablement pas aux sols riches en argiles gonflantes (sols bruns tropicaux et vertisols).

CHAPITRE II - EROSION EN REGION TROPICALE SECHE.

§ 2.1. Le milieu.

Nous choisirons comme exemple les stations du Centre Technique Forestier Tropical de Gampela et de Gonsé situées à une trentaine de kilomètres à l'Est de Ouagadougou en plein plateau Mossi en Haute-Volta (12°22 lat. N ; 01°19 long. O ; alt. 300 mètres).

Le climat est tropical sec à deux saisons : il a été qualifié de sahélo-soudanais par AUBREVILLE (1965). Il est caractérisé (voir fig. 3) par des pluies annuelles très irrégulières de 860 mm en moyenne (sur 30 ans : Maxi 1.130 mm et mini - 498 mm) réparties en 4 mois de plus de 100 mm, 2 mois de plus de 30 mm et 6 mois quasi secs.

La température moyenne annuelle est élevée (28,1°C) ; les températures mensuelles varient fort (25°C en janvier à 39 en octobre). L'humidité relative moyenne est inférieure à 50 % durant les six mois secs et peut descendre jusqu'à moins de 20 %.

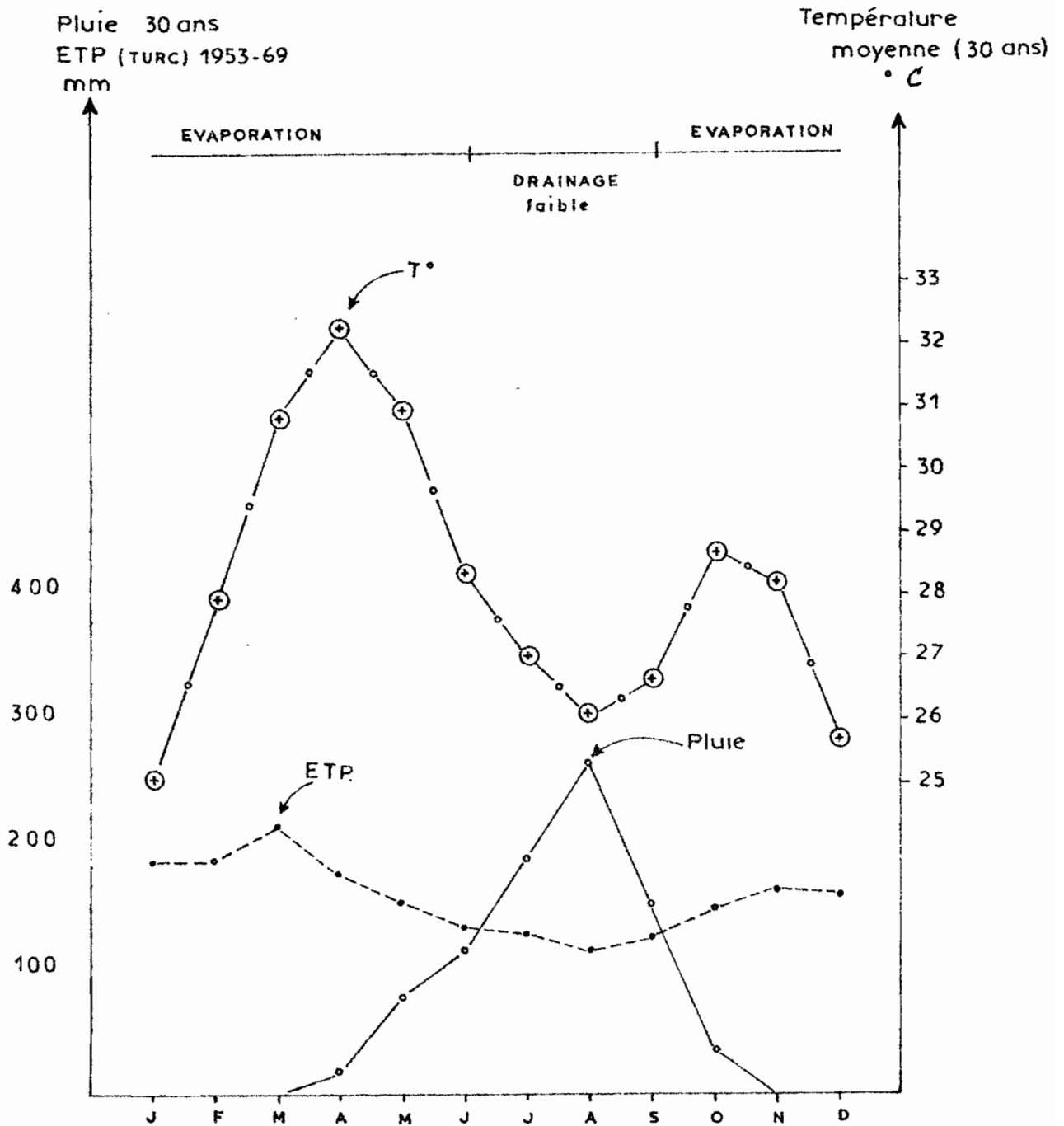
L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après la formule de TURC s'élève à 1.905 mm : elle dépasse les précipitations durant 9 mois pendant lesquels le déficit cumulé s'élève à 1.232 mm.

Les précipitations journalières peuvent dépasser 60 millimètres une fois chaque année et 92 mm tous les cinq ans. (BRUNET-MORET, 1963). A l'occasion de ces pluies exceptionnelles on peut enregistrer des intensités de l'ordre de 100 mm/heure pendant dix minutes, de 60 mm/heure durant trente minutes et de 40 mm/heure durant une heure.

La végétation naturelle est une savane arborée à *Byttospermum parkii*, *Parkia biglobosa*, *Combretum* et épineux divers (*Acacia*, *Ziziphus*). La dégradation de cette savane à hautes herbes (*Andropogon*) est très poussée du fait de la forte densité des populations et des troupeaux.

Le sol est ferrugineux tropical (C.P.S.C., 1967) fortement lessivé à tâches et concrétions à Gonsé et ferrugineux tropical sur carapace à très faible profondeur à Gampela. Ces deux sols sont issus de granite. Plus de 90 % de la région a des pentes de moins de 1% ; c'est un plateau à drainage externe très mal assuré.

Fig. 3 Précipitations , ETP (TURC) et Température.
 - Moyenne mensuelle - Ouagadougou -
 - Haute - Volta -



§ 2.2. La méthode expérimentale.

A Gampela les essais ont été réalisés depuis 1967 à l'échelle d'un champ de l'ordre de 5.000 m² au bas duquel le ruissellement est enregistré par un limnigraphe au niveau d'un déversoir tandis que la charge solide est déterminée par des prélèvements au cours de la pluie.

A Gonsé les essais ont été menés depuis 1968 sur une parcelle de 250 m² en aval de laquelle on a mesuré l'érosion, le ruissellement de surface et le drainage oblique (ROOSE, 1968). La pente de ces installations est de l'ordre de 0,5 à 0,8 %. Des pluviographes à augets basculants indiquent la hauteur et les intensités instantanées des précipitations aux 2 stations.

§ 2.3. Les résultats. (voir tableau 2)

Sous la savane arborée de Gonsé (pente 0,5 %) l'érosion (50 à 150 kg/ha) et le ruissellement (1 à 3 %) sont réduits surtout en absence de feu de brousse. Par contre si on dénude complètement le sol, les pertes en terre atteignent 20 tonnes à l'hectare et le ruissellement 40 à 60 %.

En culture traditionnelle où on gratte à peine le sol pour y enfouir la graine et pour sarcler, l'érosion est de l'ordre de 6 tonnes et le ruissellement de 20 % en moyenne annuelle avec des maxima journaliers de 50 %.

En culture mécanisée, lorsqu'on ne tient pas compte de la pente pour orienter les labours et les billons, l'érosion monte à 8 à 10 tonnes/ha et le ruissellement à 30 % de moyenne annuelle avec des maxima journaliers de l'ordre de 70 %.

Par contre si on oriente le labour et le billonnage dans le sens des courbes de niveau et si par surcroît on cloisonne les billons on abaisse l'érosion à moins de 1 tonne/ha et le ruissellement à moins de 5 % de moyenne annuelle et 30 % de maximum journalier.

En résumé, comme les pentes sont généralement très faibles (moins de 1%) les pertes en terre sont faibles mais les ruissellements sont très élevés. Le travail profond du sol peut améliorer l'infiltration mais diminue la cohésion du matériau et donc sa résistance à l'érosion.

TABLEAU 2 - Erosion (t/ha) et ruissellements (%) mesurés aux cases d'érosion de Gampéla et de Gonsé (Haute-Volta) de 1967 à 1971.

	! pente "	Erosion t/ha	"	Ruissellement %	!
	! % "		"		!
! <u>Gampéla</u> : CTFT (ORSTOM + IRAT)	!	" Extrêmes	! Moyenne	" Extrêmes	!
! Culture sorgho, mil, arachide (5000 m ²)	! 0,8	" observés	! probable	" annuels	!
				! observés	!
! 1 labour profond, billon isohypse cloisonné!	"	0,6	! 0,6	" 2,3 à 4	!
! 1bis idem " " non "	!	" 1,6 à 6,1	! 5,5	" 10,1 à 20,5	!
! 2 idem , billon selon la pente	!	" 2,5 à 10,3	! 8,5	" 12 à 45	!
! 3 grattage superficiel, culture tradit. à plat	!	" 1,5 à 6,5	! 5,5	" 15 à 24	!
! 4 parcelle nue (200 m ²)	!	" 2,7 à 21,1	! 20	" -	!
	!	"	!	"	!
! <u>Gonsé</u> : CTFT x ORSTOM	! 0,5	"	!	"	!
! Savane arbustive - protégée des feux	!	" 0,050	! 0,05	" -	!
! (250 m ²) - feux précoces annuels	!	" 0,150	! 0,15	" -	!
	!	"	!	"	!

Si on évalue les coefficients de l'équation de prédiction de l'érosion de WISCHMEIER et SMITH on montre que :

- l'agressivité du climat est moyenne ($R_{USA} = 250 \text{ à } 450$) ;
- ce sol ferrugineux tropical est moyennement résistant ($K = 20 \text{ à } 35$) ;
- le facteur pente est très faible sur l'érosion (0,112 pour Gampela) ;
- la couverture végétale et les techniques culturales peuvent avoir une action très énergique sur les pertes en terre et moins forte sur le ruissellement.

§ 2.4. Conclusions : les méthodes de lutte antiérosive.

Comme en région tropicale humide il convient de favoriser le développement d'une agriculture intensive où tous les soins sont concentrés sur les meilleures terres.

Malgré l'usage de techniques culturales modernes (labour profond puis billonnage isohypse, usage de semences sélectionnées, d'engrais et de produits phytosanitaires) on a constaté à Gampela des pertes en terre importantes (2 à 6 t/ha) (surtout à cause de la faible épaisseur de l'horizon arable et des pertes sélectives en colloïdes minéraux et organiques) et des pertes en eau intolérables du fait du déficit hydrique de la région.

Il nous semble donc que, dans cette zone sèche, il faut non seulement veiller à la couverture végétale complète du sol, effectuer des labours profonds pour améliorer l'infiltration de ces terres mais encore provoquer l'absorption totale des eaux de pluie sur place. Pour ce faire, il a été envisagé (ROOSE, 1971) de construire des diguettes isohypses de 50 cm de haut et de large protégées par des herbages contre l'agressivité des pluies et cela tous les 20 à 50 mètres en fonction de la pente (2 % à 0,5%) et de la largeur des outils de travail. A l'intérieur de ce cadre piqueté une fois pour toute l'agriculture intensive moderne peut voir le jour.

On peut y envisager des rotations, des labours en courbe de niveau, l'usage d'engrais et de fumier avec le minimum de perte (lixiviation par les eaux ruisselantes), le paillage éventuellement au départ des herbes fauchées sur les diguettes.

L'usage de cette méthode a d'ores et déjà montré qu'il était possible d'obtenir d'excellents rendements en année sèche alors que dans les champs où le ruissellement est toléré les récoltes ont terriblement souffert de la sécheresse.

CHAPITRE III - EROSION EN REGION MEDITERRANEEENNE.

Nous ne disposons pas de données précises dans la région méditerranéenne proprement dite.* Par contre si, du point de vue de l'érosion, nous définissons cette zone méditerranéenne par des précipitations annuelles de 400 à 1.200 mm concentrées en automne et au printemps, des paysages extrêmement tourmentés où abondent les schistes, les marnes, les calcaires (et tous les intermédiaires) et où les fortes pentes (20 à 60 %) dominent et ne sont maintenues en équilibre qu'à la faveur d'un couvert végétal dense et instable, nous pouvons alors choisir l'exemple du bassin du Sebou au Maroc étudié depuis 1967 par HEUSCH, KALMAN et ROBERT.

§ 3.1. Le milieu.

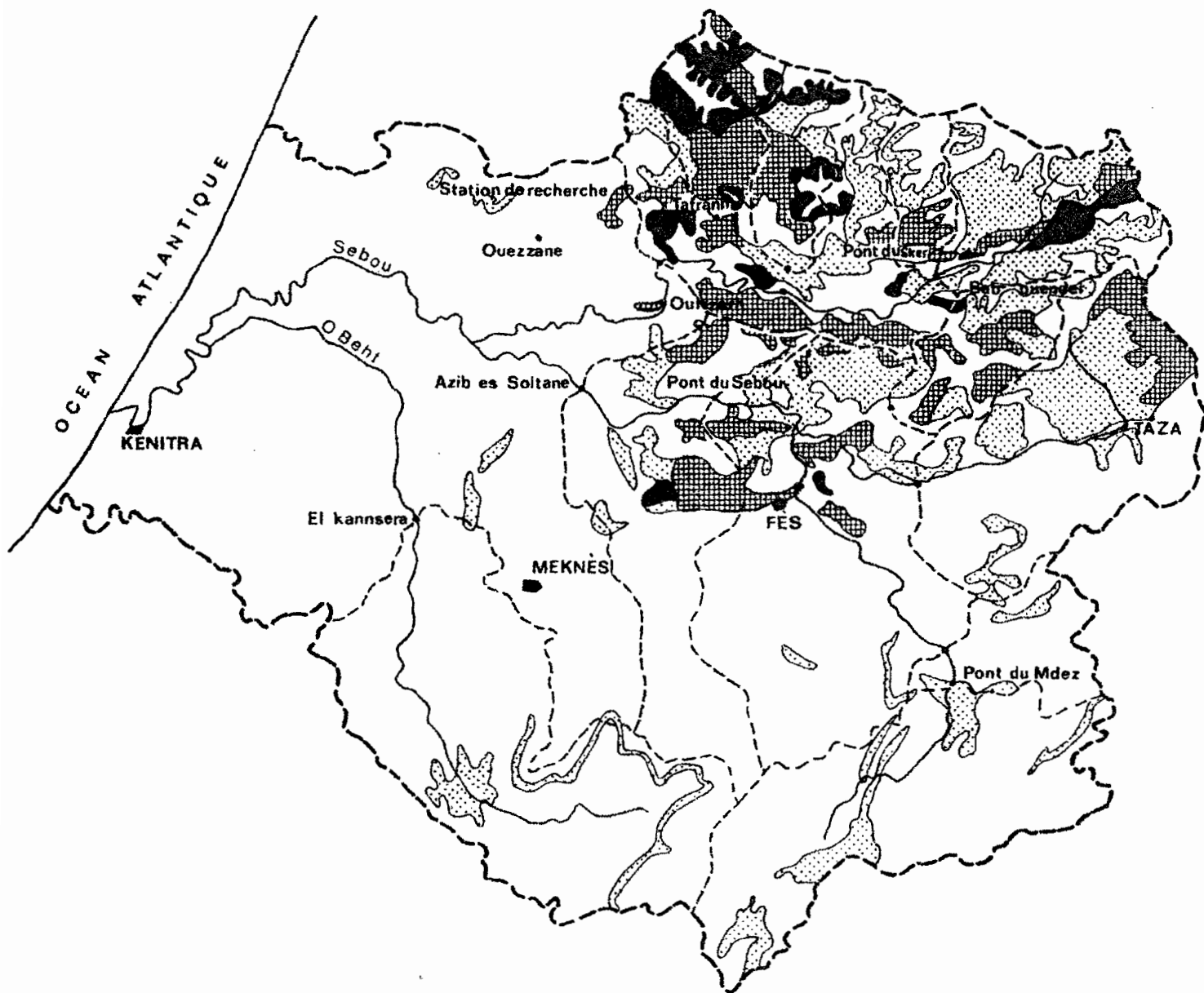
"Le bassin versant du Sebou (33 à 36° lat. N.; 4 à 7° long. E) et de ses affluents couvre près de 40.000 km² soit un peu moins du dixième de la superficie du Maroc. Des montagnes culminant à plus de 2.000 mètres au Nord (Rif) et à plus de 3.000 mètres au Sud (moyen Atlas) dessinent un arc de cercle autour d'une demi-cuvette topographique, ensemble de collines (Prérif), de plaines intérieures et de plateaux d'altitude plus basse. L'ensemble des rivières convergent vers la plaine basse alluviale du Rharb et le Sebou rejoint l'océan atlantique en perçant un cordon de dunes littorales". (HEUSCH, 1969).

"Dans le Rif, la conjonction d'une forte pluviosité (1.100 mm), de roches tendres (schistes et marnes)... de versants raides (pente moyenne 40 %) et d'un couvert végétal souvent dégradé (matorral) entraîne une érosion très importante (3.500 t/km²/an).

Le Prérif est une région de collines à pente moyenne (25 %) formées de marnes plus ou moins armées de bancs gréseux et calcaires et couverte de culture de céréales. La pluviosité annuelle varie autour de 700 mm. et le débit solide moyen autour de 1.000 à 2.000 t/km²/an.

* Signalons l'existence de parcelles d'érosion sous différents couverts et de bassins versants expérimentaux dans la région de Aix-en-Provence (Mrs. VAUDOUR et CLAUZON, Faculté des Lettres, Aix-en-Provence) et de Montpellier en France.

Fig: 4 . Carte de situation du bassin de l'Oued SEBOU (Maroc).
 Manifestations de l'érosion . (Heusch; 1969).



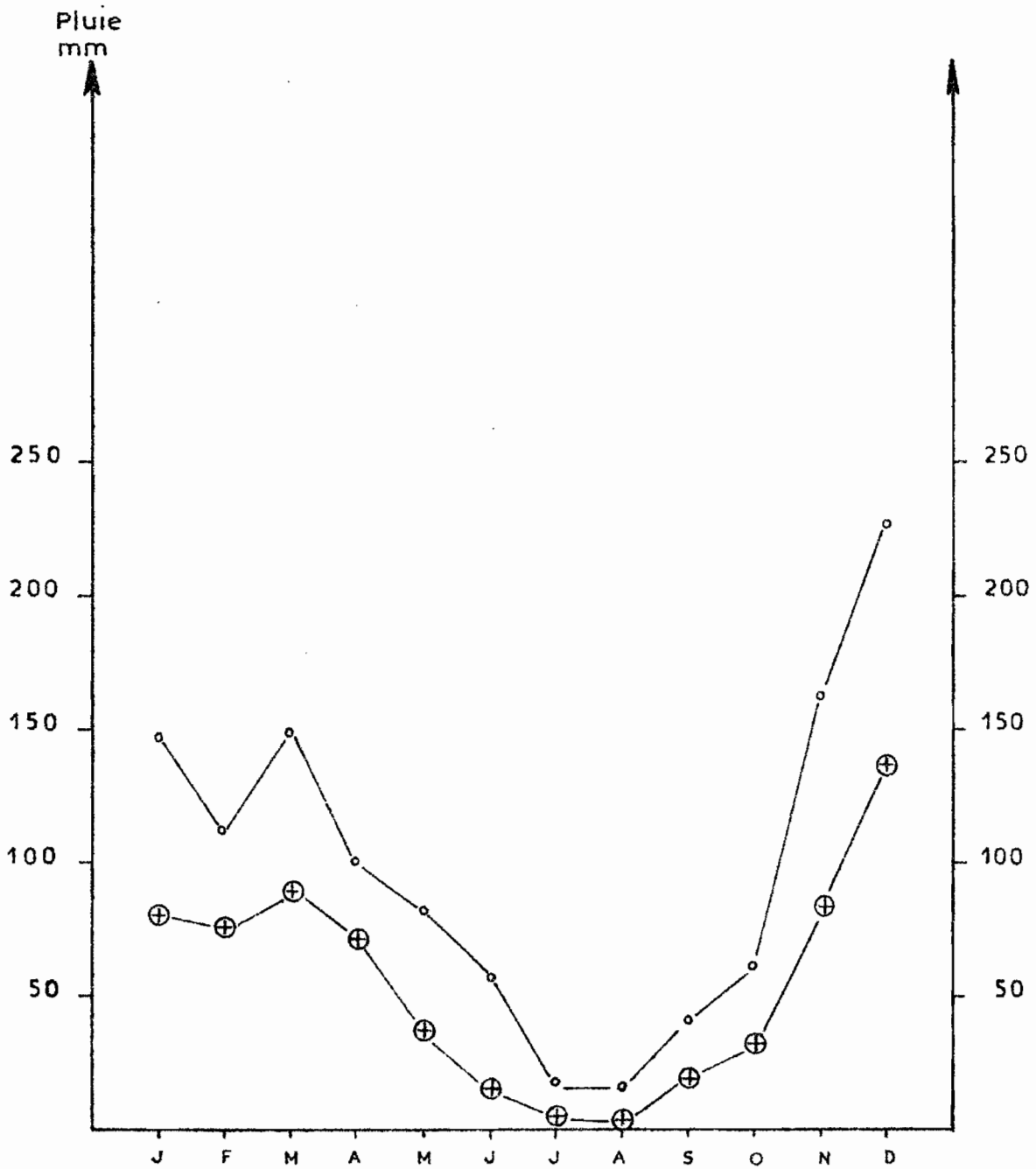
- Erosion généralisée : solifluxion, ravinement, badlands.
- Erosion importante par solifluxion.
- Erosion importante par ruissellement intense en nappe décapante.
- Erosion nulle, faible ou insidieuse.
- Station de mesure du débit solide
- Limite de B.V. au droit des stations

Echelle 1:1.500 000

FIG. 5 : Précipitations dans le Bassin du SEBOU. (Maroc)

(selon KALMAN, 1967)

- Ifrane : moyenne 1958-65 - P. an = 1.179 mm
- ⊕—⊕ Meknès moyenne 1955-65 - P. an = 657 mm



Le Moyen Atlas plissé est formé de roches résistantes : les pentes sont fortes, la pluviosité voisine de 1.000 mm et le couvert végétal dense.

Le Moyen Atlas tabulaire et le Plateau Central sont formés de roches résistantes : les pentes sont faibles, la pluviosité voisine de 600 mm et l'érosion y est négligeable (0,4 t/km²/an).

Les plaines et les plateaux sont généralement le siège d'une agriculture plus ou moins intensive adaptée à la fertilité des dépôts. La pluviosité est voisine de 500 mm. L'érosion est faible (0,15 t/km²/an) et on y observe même un alluvionnement actuel le long de berges du cours inférieur du Sebou" (HEUSCH, 1969).

Selon KALMAN (1967), l'indice d'érosivité climatique "R" de WISCHMEIER varie de 50 à plus de 300 parallèlement aux précipitations.

Les pluies tombent généralement avec de très faibles intensités : 0,5 à 5 mm/heure. Il peut cependant advenir des pluies exceptionnelles soit de courte durée mais de forte intensité soit de très longue durée. Des hauteurs de 20 mm en moins de deux heures s'observent chaque année à Rabat et Meknès. Des pluies de l'ordre de 15 mm en 40 minutes s'observent avec une fréquence annuelle de l'ordre de 0,5 pour les stations de Rabat, Fès, Meknès, Ifrane. Les pluies de forte intensité, orageuses s'observent en automne sur un sol sec. A la Station de Mda on a enregistré le 27/5/67 une intensité exceptionnelle de 19,6 mm en 25 minutes. Les plus fortes intensités en 30 minutes varient de 25 à 60 mm/heure (HEUSCH, 1969). Les hauteurs et les intensités des précipitations sont donc généralement très nettement inférieures à celles que nous connaissons en région tropicale.

§ 3.2. La méthode expérimentale.

Les débits liquides et solides sont étudiés à 3 niveaux: les parcelles d'érosion (125 m²), les petits bassins versants (1 à 150 km²) et les grands bassins versants (plus de 500 km²).

Dans la station du bassin du Haut Mda près de Ouezzane (RIF) ont été installés vingt parcelles d'érosion sur sols verticaux sur marne plus ou moins calcaire de pente de 12 à 65 % ainsi que sept stations de jaugeage comprenant un Parshall ou un canal H et une fosse à sédiments.

L'ensemble du bassin de l'Oued Sebou comprend en outre treize stations de jaugeage du débit liquide sur bassins de plus de 500 km², 104 pluviomètres et quelques pluviographes.

§ 3.3. Les résultats.

Nous avons sélectionné au tableau 3 quelques résultats en vue de fixer les ordres de grandeur des phénomènes d'érosion en nappe et en rigole (parcelles d'érosion), en ravine (petits bassins versants), glissement de terrain et sapement des berges (grands bassins versants).

- Le long d'un versant (parcelles d'érosion), c'est sur les plus faibles pentes (12 %) que l'on observe les pertes en terre et le ruissellement les plus élevés : ces parcelles correspondent à des bas de pente où les eaux drainent mal et où ressurgissent les eaux de ruissellement hypodermique (très actif sur ces sols verticaux fissurés).

- L'érosion spécifique augmente si la surface des bassins versants augmente.

- Une grosse partie de l'érosion provient de très petites surfaces (badland). Pour le bassin du Mda on a pu établir le bilan suivant :

TABLEAU 4 - Provenance du débit solide sur le bassin du MDA (Maroc) (HEUSCH, 1970)

Type d'érosion	1966-67 année sèche	1967-68 année moyenne	1968-69 année humide
Ruissellement sur les versants	0,01 %	3 %	19 %
Ravine (gullies et badland)	67 %	52 %	19 %
Sapement des berges	33 %	45 %	62 %

- L'érosion ne débute qu'après que le sol ait été gorgé par une certaine quantité d'eau (au Mda 200 mm en automne et 330 mm au printemps). Elle n'est pas proportionnelle à la hauteur des pluies unitaires ni à leur énergie cinétique mais elle est fonction de la somme des énergies érosives dont l'énergie des eaux ruisselantes (rivières) est la principale composante.

- Energie cinétique des gouttes de pluie : 10.000 joules/m²/an
 Environ 60% est interceptée par la végétation (facteur C de WISCHMEIER).
- Energie des façons culturales : 9.000 joules/m²/an
- Energie du ruissellement de surface (sur les marnes du Mda) : 30 joules/m²/an
- Energie du ruissellement hypodermique : 3.700 joules/m²/an
- Energie des eaux écoulées aux stations de jaugeage : 1000 à 2.000.000 joules/m²/an.
 Cette énergie augmente avec la surface du bassin versant.

(E = hauteur moyenne du bassin x 9,81 x volume du ruiss.).

On voit que l'énergie érosive utilisée pour éroder la surface des versants (énergie cinétique des gouttes de pluie) est très nettement inférieure à celle qui est disponible pour éroder les berges : il s'en suit de très nombreux ravinements, glissements de terrains (mouvement rotationnel) et même quelques coulées pierreuses lors des pluies exceptionnelles (hiver 69/70).

§ 3.4. Conclusions : les méthodes de lutte antiérosive.

Le tableau 4 montre que si l'on supprime l'érosion par ruissellement sur les versants sans modifier la vitesse d'écoulement des eaux dans les ravines et les rivières, l'érosion globale ne sera que faiblement atténuée.

La végétation contribue puissamment tant à absorber l'énergie cinétique des gouttes de pluie et à augmenter la cohésion des sols (érosion agricole sur les versants) qu'à étaler les fortes intensités, laminer les pointes de crue (lesquelles ont les énergies érosives les plus dangereuses) et diminuer la turbidité des eaux.

TABLEAU 3 - Erosion (t/km^2) et Ruissellement (mm) mesurés au bassin du Sebou (Maroc): HEUSCH (1969).

A - Sur parcelles d'érosion (1967/68).

		Erosion (t/km^2 ou 100 x t/ha)				Ruissellement (mm)			
		Pentes %				Pentes %			
		12	25	35	65	12	25	35	65
Sol nu	marne	316,9	0,3	1,5	-	12,99	2,19	0,11	-
Céréales	marnes calcaires	-	0,9 à 10,5	-	7,2	-	0,45 à 1,04	-	0,63
Mattoral	Calcaire marneux	-	-	-	2,9	-	-	-	0,29

B - Sur petits (1967/68) et grands bassins versants (moyenne 30 ans).

Oued	Station	Superficie en km^2	Dégradation spécifique (t/km^2)	Ruissellement (mm)
Jorf Taaleb		0,188	12,6	49,4
Rhadra		0,883	74,0	101,2
Cheikh		1,563	116,0	103,9
Mda		24,300	247,0	93,3
Zelzala	(badland)	0,060	16 7.000,0	102,5
Sebou /30 ans	Pont du Mdez	3.474	320	72,6
Sebou	Pont du Sebou	12.985	750	152,2
Sebou	Azib es Soltane	16.276	650	135,6
Ouerrha	Bab Ouender	1.756	3. 590	325,6
Ouerrha	Ourtzarh	4.398	3. 340	459,3
Sra	Pont du Sker	486	3. 500	683,3
Aoudour	Tafrannt	1.039	3. 850	490,2
Beht	El Kannsera	4.536	450	79,2

Sur les versants stables, il suffit généralement d'intercepter l'énergie cinétique des pluies par une couverture végétale abondante pour augmenter l'évapotranspiration, tarir le ruissellement et stabiliser les ravines. En zone sèche (moins de 400 mm), le terrassement peut aider à maîtriser les eaux sauvages là où la végétation n'arrive pas à couvrir le sol.

Sur les versants pentus et instables (marnes ou schistes noirs du Rif) du Maroc tout travail mécanique visant à augmenter l'infiltration augmente du même coup les risques de glissement de terrain. Toute végétation, y compris les arbres, est susceptible de migrer avec le sol.

Il faut donc d'abord stabiliser la base des versants et favoriser le drainage sur les futures loupes de glissement (coûteux mais rentable près du réseau routier). Les moyens sont connus : il s'agit d'épis en gabion et de seuils empierrés dans les oueds et les ravines. Le travail débute en aval et s'étend progressivement en amont jusqu'à l'aménagement complet du bassin versant, réservant les plus fortes pentes aux cultures permanentes (aire des cultures fourragères, des pâturages améliorés et des forêts communales) et favorisant une culture intensive dans les sites les plus favorables (engrais, irrigation, graines sélectionnées, lutte phytosanitaire et éventuellement transformation graduelle en gradins par l'implantation judicieuse de bandes d'arrêt enherbées).

Pour de multiples raisons (démographiques entre autres) il n'est pas possible de soustraire aux paysans des terres qui pourtant auraient besoin de repos (érosion excessive). Il faut donc choisir les points d'intervention là où naissent les plus grosses pertes en terre : les ravines.

La lutte contre le creusement des ravines n'est gênante pour personne : le paysan n'en tire absolument aucune ressource mais il est conscient que c'est elle qui grignote son patrimoine foncier. Une fois le réseau de seuils empierrés en place, il serait avantageux de le protéger biologiquement par l'implantation d'herbes, d'arbustes fourragers extrêmement vivaces (Acacias, saules, etc..) de quelques arbres de valeur (noyer, peuplier, eucalyptus) et d'une rangée d'aloès ou figues de barbarie (vagabondage du bétail).

Il ne faut pas oublier de rendre les propriétaires riverains responsables des travaux et de leur entretien sans quoi l'intervention est inutile.

D'autres aménagements mineurs, mais très efficaces pourront aussi être effectués par les paysans : il s'agit de la transformation progressive du paysage en gradins à faible pente par accumulation des pierres sur les bordures des champs qui suivent les courbes de niveau et / ou l'implantation de bandes de végétation permanente (palmier nain, arbustes fourragers et graminée = bandes d'arrêt).

Cependant il ne faut pas perdre de vue que seule l'intensification des cultures dans les sites favorables permettra de soustraire à l'épuisement total les terres marginales dont le défrichement est bien souvent à l'origine des phénomènes d'érosion catastrophiques dont souffrent certaines régions du bassin méditerranéen.

CHAPITRE IV - CONCLUSIONS GENERALES.

=====

Les exemples étudiés montrent que dans ces sites écologiques très différents autres sont les causes de l'érosion et autres sont les méthodes de lutte à appliquer.

En région tropicale humide à pente moyenne (5 à 20%) et très fortes précipitations il faut couvrir le sol, travailler en courbe de niveau et prévoir l'évacuation des excès d'eau.

En région tropicale sèche à faible pente (0,5 à 3%) sol peu perméable et précipitation déjà trop faible, il faut favoriser l'infiltration totale des eaux de pluie tant par le travail du sol que les aménagements en courbes de niveau et l'intensification des cultures.

En région méditerranéenne à très forte pente (20 à 60%) sur des sols riches en argiles gonflantes et sur roches friables (marnes schiste et calcaires tendres) il faut d'abord stabiliser la base des versants (épis en gabion et seuils empierreés) que des défrichements abusifs ont déséquilibré. Parallèlement il faut développer une culture intensive dans les stations les plus favorables afin de diminuer la pression démographique sur les terres marginales.

De ceci il ressort que dans ces régions agricoles généralement pauvres il ne faut penser aux méthodes mécaniques (terrassement très onéreux) de lutte antiérosive qu'après avoir épuisé toutes les ressources offertes par les méthodes biologiques que nous offre la nature et en particulier l'amélioration du couvert végétal, l'usage des engrais et le choix des espèces à cultiver.

Etant donnée la croissance démographique, il n'est plus possible de se limiter aux méthodes restrictives de "défense et restauration des sols". Les techniques conservatoires des eaux et des terres doivent être intégrées aux méthodes modernes d'intensification des cultures au même titre que la fertilisation, le drainage et l'irrigation.

Enfin il faudrait à notre avis porter un effort particulier d'une part sur la conscientisation du milieu rural concernant les dégâts dont il souffre du fait de l'érosion et d'autre part sur le choix des techniques à appliquer en chaque site écologique en fonction de l'étude des causes principales de l'érosion et des facteurs susceptibles d'en réduire les effets.

BIBLIOGRAPHIE

1. AUBERT (G.) et SEGALEN (P.) - 1966 -
 Projet de classification des sols ferrallitiques.
 Cah. ORSTOM Sér. Pédol. IV, 4, p. 97-112.

2. AUBREVILLE (A.) - 1965 -
 Savanisation tropicale et glaciations quaternaires.
 Adansonia, II, 1, p. 17-84.

3. AVENARD (J.M.) - 1964 -
 "Présentation d'un aspect de l'érosion dans les marnes
 du Saïs".
 Revue de géographie du Maroc n° 6, 1964.

4. 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 mult. CTFT 40 p.; 27 tabl., 26 fig.

5. C.T.F.T. - 1971 -
 Rapport annuel 1970.
 Rapport multigr. CTFT Haute-Volta/Niger, Ouagadougou.

6. C.T.F.T. - 1971 -
 Défense et restauration des sols. Station de Gampela.
 Rapport annuel 1971.- Haute-Volta, Ministère de l'Agri-
 culture, de l'Elevage et des Eaux et Forêts, C.T.F.T.,
 1971.- 18 p. multigr., tabl., graph.

7. COMMISSION DE PEDOLOGIE ET DE CARTOGRAPHIE DES SOLS (C.P.C.S.)
 - 1967 -
 "Classification des sols".
 Multigr. C.P.S.C. 1967, 87 p.

8. 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.

9. 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.
10. FOURNIER (F.) - 1968 -
 "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..
11. GALABERT (J.) - 1970 -
 Etude de l'équation universelle de perte en sol dite :
 "équation de Wischmeier, - Station DRS de Gampela (Haute-Volta).
 Note multigr. C.T.F.T. 5p.,
12. GOSSE (G.) et ELDIN (M.) - 1972 -
 Données agroclimatologiques recueillies à la station ORSTOM d'Adiopodoumé. 1948-1971.
 Rapport multigr. ORSTOM Abidjan 22p.
13. HEUSCH (B.) - 1969 -
 L'expérimentation.
 (Projet Sebou) - campagnes 1966-1967
 1967-1968
 Rapport multigr., 181 p., nombreuses fig. et graph.,
 42 réf.
14. HEUSCH (B.) - 1969 -
 "L'érosion dans le bassin du Sebou : une approche quantitative".
 Revue Géogr. du Maroc n° 15, p. 109-128, 36 réf.,
 3 fig., 16 tabl., résumé fr.; arabe.
15. HEUSCH (B.) - 1970 -
 L'érosion hydraulique au Maroc : son calcul et son contrôle.
 Rapport multigr. Dir. Eaux et Forêt du Maroc, 16 p.
 12 tabl., 5 fig., 9 réf.

16. HUDSON (N.W.) - 1958 -
 "Run-off and soil loss from arable land in Southern Rhodesia".
 General assembly of the international union for the conservation of nature and its resources.
 7th technical session - Athens - Sept. 1958, 12 p.
17. HUDSON (N.W.) JACKSON (D.C.) - 1959 -
 Results achieved in the measurement of erosion and run-off in southern Rhodesia.
 3rd Inter-African Soils Conference Dalaba - nov. 1959 - section II - point 1, 15 p.; 9 tabl.; 11 réf.
18. HUDSON (N.W.) - 1961 -
 An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of sub-tropical rainfall.
 Proceedings and transactions of the Rhodesia scientific association. Vol. XLIX, Part 1. 1961. p. 15-25; 3 tabl., 3 fig., 9 réf.
19. KALMAN (R.) - 1967 -
 Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du Sebou. (Maroc). Rapport provisoire.
 Projet Sebou, 1967. - 32 p. multigr., tabl., fig., 1 carte h.t.
20. ROOSE (E.J.) - 1967 -
 "Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal".
 Agron. Trop. vol. 22 n° 2, p. 123 à 152, 6 fig., 21 tabl., 28 réf.
21. ROOSE (E.J.) - 1967 -
 Note technique : "L'aménagement des ravines en Côte d'Ivoire".
 Rapport multigr. ORSTOM/Abidjan 7 p., 7 réf., 1 fig.
22. ROOSE (E.J.) - 1967 -
 "Quelques exemples des effets de l'érosion hydrique sur les cultures".
 Colloque sur la fertilité des sols tropicaux Tananarive 19-25/11/67 : Communication n° 113 pp. 1385-1404; 3 tabl., 14 fig., 21 réf.

23. ROOSE (E.J.) - 1968 -

Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. VI, n°2, 1968, p. 235-249 ; 2 fig. ; 2 tabl. ; 21 réf.

24. ROOSE (E.J.) - nov. 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.

25. ROOSE (E.J.) - 1970 -

Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogénèse actuelle d'un sol ferrallitique de Moyenne Côte d'Ivoire.

Deux années de mesure sur parcelle expérimentale.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. VIII, n°4, p. 469-482 ; 6 fig., 3 tabl., 12 réf.

26. ROOSE (E.J.) et BIROT (Y.) - 1970 -

Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau Mossi (Gonsé : Haute-Volta). I. Résultat des campagnes 1968-1969.

Rapport ORSTOM/Abidjan-CTFT (Ouagadougou), multigr., 148 p., 36 tabl., 25 fig., 72 réf.

27. ROOSE (E.J.) et coll. DELABARRE, COMBES, HENRY DES TUREAUX, DIALLO - 1970 -

Erosion, ruissellement et lessivage oblique sous une plantation d'hévéa en basse Côte d'Ivoire.

III. Résultats des campagnes 1967-68-69.

Rapport multigr. ORSTOM-IRCA, Abidjan - 115 p. ; 45 tabl., 12 fig. et 30 réf.

28. ROOSE (E.J.) - 1970 -

"Les termes du bilan hydrique à l'échelle du sol : ruissellement, érosion, drainage et migrations".

Rapport multigr. ORSTOM du Comité Technique de Côte d'Ivoire - novembre 70 - p. 30 à 43, 8 fig.

29. ROOSE (E.J.) - 1971 -

Note concernant l'érosion hydrique au Maroc.

Rapport de mission, ORSTOM 7 p.

A paraître dans le Bulletin de liaison des ingénieurs forestiers du Maroc.

30. 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.

31. ROOSE (E.J.) - 1971 -

Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau Mossi (Haute-Volta).

ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, 1971. - 22 p. multigr., 32 réf., fig.

32. 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.

33. 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.

34. 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.