

REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN
MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS
TECHNIQUE ET SUPERIEUR
DIRECTION DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
DIRECTION DE LA RECHERCHE
AGRONOMIQUE

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT

ORGANISATION DES NATIONS
UNIES
POUR L'ALIMENTATION
ET L'AGRICULTURE



LE PROBLEME DE LA CONSERVATION DE L'EAU ET DU SOL EN REPUBLIQUE POPULAIRE DU BENIN MISE AU POINT EN 1976

PAR

ROOSE E. J. *

*Maître de Recherches en Pédologie
Consultant du Projet*

* ORSTOM
Centre d'Adiopodoume
B. P. V 51 ABIDJAN

Projet d'Agro-Pédologie
JANVIER 1976

F. A. O.

O.R.S.T.O.M.

LE PROBLÈME DE LA CONSERVATION DE L'EAU ET DU SOL
EN RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

- MISE AU POINT EN 1976 -

par

ROOSE (E.J.)*

Maître de Recherches en Pédologie

SOMMAIRE

	Pages
Introduction.....	1
CHAPITRE 1. Les résultats acquis par l'expérimentation en République du Bénin	2
1.1. Boukombé	2
1.2. Agonkamey	6
CHAPITRE 2. Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest	9
2.1. L'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier	9
2.2. Importance relative des facteurs de l'érosion en Afrique de l'Ouest et au Bénin	10
2.2.1. L'indice d'agressivité climatique	10
2.2.2. La résistance des sols à l'érosion	10
2.2.3. Le facteur topographique	11
2.2.4. La couverture du sol et les techniques culturales	11
2.2.5. Les pratiques antiérosives classiques	13
2.2.6. Conclusions	14
CHAPITRE 3. Les techniques antiérosives adaptées au Bénin	15
3.1. Adaptation des techniques culturales	15
3.1.1. Plantation hâtive et dense	16
3.1.2. Fertilisation minérale adéquate	16
3.1.3. Choix de variétés sélectionnées	16
3.1.4. Conservation des matières organiques	17
3.1.5. Jachère	18
3.1.6. Rotation et alternance des cultures	18
3.1.7. Travail du sol	19
3.2. Aménagement du terroir en fonction de sa capacité de production	20
3.2.1. Couverture permanente des pentes de plus de 12%	20
3.2.2. Intensification de la production sur les meilleures terres	21
3.2.3. Organisation à l'échelle du versant des cultures en courbe de niveau	21
3.3. Aménagement du réseau routier	22
3.4. Conclusions	22
CHAPITRE 4. Répartition géographique des dangers d'érosion au Bénin	24
4.1. Agressivité climatique	24
4.2. Erodibilité des sols	24
4.3. Pente de terrain	25
4.4. Couvert végétal	26
4.5. Signification de l'esquisse	26
CHAPITRE 5. Résumé et conclusions générales	28

ANNEXES

Bibliographie sommaire sur les problèmes d'érosion au Bénin ..	30
Références citées et manuels de conservation des sols	32

INTRODUCTION.

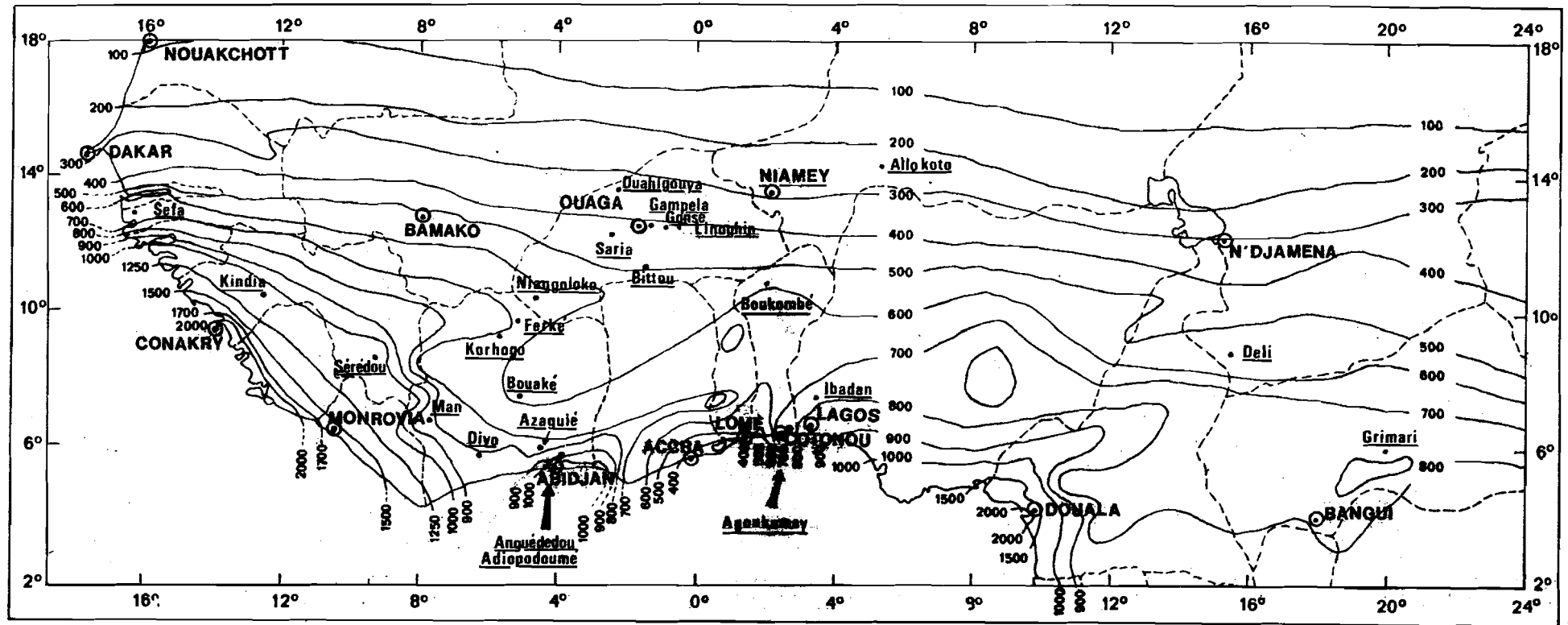
En climat tropical, l'érosion pose toujours des problèmes dès lors qu'on intensifie l'exploitation des terres. Cependant il est des époques où l'opinion est peu sensibilisée à ce genre de question et d'autres où l'on aurait plutôt tendance à voir partout ce danger sans pouvoir juger sainement de son importance réelle. Or, nous disposons actuellement d'une vingtaine d'années de recherche en matière d'érosion en Afrique de l'Ouest, laquelle connaît un regain d'intérêt suite aux projets de défrichement et de culture mécanisée sur de vastes surfaces.

En effet, vers les années 1945-50 se sont répandues les techniques de mécanisation de l'agriculture mises au point en région tempérée en Afrique, elles se sont généralement soldées par des échecs (voir CGOT en Casamance ; Sénégal) attribués à l'érosion dont l'ampleur a démontré que les techniques utilisées devaient être adaptées aux conditions tropicales de sols et des pluies.

Sous l'impulsion du Professeur FOURNIER, l'ORSTOM et les Instituts français de recherches appliquées ont mis en place (vers les années 1955-60) tout un réseau de parcelles expérimentales en Afrique et à Madagascar pour évaluer les causes de l'érosion, l'importance des facteurs qui modifient son expression ainsi que les méthodes de conservation de l'eau et des sols les mieux adaptées.

De ces expérimentations furent déjà publiées un certain nombre de synthèses (FOURNIER, 1967 ; ROOSE, 1967, 1973 et 75). Cependant, à l'occasion d'une mission FAO (ROOSE, 1975) en République du Bénin, il est apparu souhaitable de publier à l'usage des responsables de l'agriculture une mise au point concernant les dangers d'érosion et les résultats acquis par la recherche scientifique localement (Boukombé et Agonkamey) et en Afrique de l'Ouest. Après avoir passé en revue les différents facteurs conditionnant l'érosion dans le cadre de l'équation prévisionnelle de Wischmeier, il sera possible d'émettre un certain nombre de conclusions pratiques concernant les méthodes conservatrices de l'eau des matières organiques et des sols qui, dans le contexte actuel, semblent les mieux adaptées à la vulgarisation en République du Bénin.

**ESQUISSE DE LA REPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE
ANNUEL MOYEN (RUSA DE WISCHMEIER) EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE
SITUATION DES PARCELLES D'EROSION**



D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

Dressée par ROOSE (E.J)
Maître de Recherche en Pédologie - ORSTOM - B.P 20 Abidjan

CHAPITRE 1. Les résultats acquis par l'expérimentation en République
=====
du Bénin.
=====

Tant que la végétation naturelle est dense, qu'elle soit savani-
cole ou forestière, et que la population très dispersée se contente de
cultures itinérantes comportant une courte période d'exploitation sui-
vie d'une longue jachère, les phénomènes d'érosion sont lents ou limi-
tés géographiquement à des accidents contre lesquels l'homme est pra-
tiquement démuné. Géologues, géographes et hydrologues étudient ces
phénomènes géologiques à l'échelle des bassins versants des grands
fleuves (FOURNIER, 1960, 1962) en vue d'expliquer les formes actuelles
du paysage.

Or, depuis vingt ans dans ces régions tropicales d'Afrique noire,
la population s'est concentrée dans certaines zones sous l'effet conju-
gué des pressions démographiques, administratives et économiques. Avec
la réduction de la durée de la jachère qui s'en est suivie et l'exten-
sion des défrichements sont apparus localement des phénomènes d'éro-
sion accélérée. Pour en préciser les causes et les facteurs qui les
conditionnent à l'échelle du champ, hydrologues et pédologues ont mis
sur pied des expérimentations sur parcelles et petits bassins versants.
C'est ainsi qu'en République du Bénin des études ont été entreprises
sur cases d'érosion en deux régions densément peuplées, l'une située
en savane à Boukombé au pied des collines de l'Atacora et l'autre en
zone forestière à Agonkamey à dix kilomètres à l'Ouest de Cotonou (voir
carte de situation des parcelles d'érosion en Afrique de l'Ouest).

Il convient d'en résumer les résultats et les conclusions qui en
ont été tirées dans le cadre de la conservation de l'eau et de la fer-
tilité des sols.

1.1. Boukombé (1° 08' Est, 10° 12' Nord).

Voir MAIGNIEN, 1959 ; MAIGNIEN, FAUCK, 1960 ; COLOMBANI, FAUCK,
1960 ; WILLAIME, 1962 et VERNEY, WILLAIME, 1965.

1.1.1. Caractéristiques écologiques de la station.

Dans le cadre du projet de défense et restauration des sols de la
région dirigé par le Service des Eaux et Forêts, les études expéri-
mentales du ruissellement et des pertes en terre débutent en 1960 sur
un petit bassin versant non aménagé de 5 km² et cinq parcelles d'éro-
sion de 150 m². Celles-ci sont situées sur une pente moyenne de 3,7 %.
Au bas de ces parcelles soumises à différents traitements (longueur de
pente et techniques culturales) et isolées de l'extérieur par des tô-
les fichées en terre, on recueille les eaux ruisselées et les terres
érodées dans un canal et des cuves de stockage. Un pluviographe à
augets enregistre la hauteur et l'intensité des pluies. Le sol, ferru-
gineux tropical lessivé légèrement concrétionné et très graveleux,
est issu de schistes chloriteux et sériciteux datant du birrimien. Le
profil type présente d'abord sur 60 cm d'épaisseur des horizons sablo-
argileux, riches en graviers de quartz mais assez perméables et par
dessous un horizon d'altération du schiste peu graveleux et très peu
perméable. L'horizon labourable (20 cm) est pauvre chimiquement
(carencé en azote, phosphore et potasse), argilo-sableux (A = 6 à 8 % :
LF = 10-12 % ; S.F. = 20 % ; S.G. = 50 %) riche en graviers de quartz
(68 %) et pauvre en matières organiques (C.O. = 1,8 %, N = 0,9 % sur
terre fine). Il est bien représentatif des sols surexploités de la
région dont il recouvre plus de 50 %.

Le climat, du type soudano-guinéen, est caractérisé par des précipitations annuelles de l'ordre de 1100 millimètres tombant de mai à octobre et par une température annuelle moyenne d'environ 27°C. La hauteur des averses est rarement très élevée mais les intensités peuvent être fortes (75 mm/h pendant 15 minutes) et causer de sérieux dégâts, en particulier lors des orages de fin de saison sèche lorsque le sol est dépouillé de toute végétation.

La végétation est une savane parc à baobab, néré et karité : les cultures (sorgho, mil, fonio, arachide, pois de terre) reflètent bien l'état d'épuisement des terres.

1.1.2. Les résultats en 1960 et 61.

Ils sont résumés au tableau 1.

Les précipitations furent peu agressives : on n'a pas observé de pluie de plus de 42 mm. de hauteur et rares sont celles dont l'intensité dépasse 60 mm/heure pendant 15 minutes. Par ailleurs, les pluies furent bien réparties dans l'année et permirent une croissance normale des cultures grâce à un léger apport d'azote au semis.

Le ruissellement annuel moyen ($K_R = 2$ à 12 %) a été faible sur toutes les parcelles mais il faut noter qu'au cours de certaines averses le coefficient de ruissellement a dépassé 40 à 70 % des précipitations. Ceci est intolérable en zone sèche où la production des cultures dépend pour une large part de leur alimentation hydrique. Ces pertes d'eau par ruissellement sont particulièrement déplorables pour les rendements en début et en fin de saison humide car elles retardent le semis et gênent l'épiaison et le remplissage des grains.

Le ruissellement est réduit par le développement du couvert végétal et par le travail du sol. Le labour profond ne semble pas avoir eu sur l'augmentation de l'infiltration une action plus durable que le grattage traditionnel.

Par contre le billonnage (cloisonné) isohypse a pratiquement arrêté le ruissellement et son influence s'est encore fait sentir en deuxième année.

L'érosion annuelle (0,2 à 1,5 t/ha/an) a été particulièrement faible pour une telle pente (3,7 %). Ceci s'explique certes par l'agressivité réduite des pluies durant l'expérimentation mais surtout par la protection que constitue la masse de graviers de quartz (68 % du sol) qui disperse l'énergie cinétique des pluies une fois érodée la terre fine qui recouvre la surface du sol après sa préparation au semis. Il est difficile de conclure quant à l'influence du labour profond sur les risques d'érosion puisqu'en 1960 la parcelle 2, soumise au grattage superficiel traditionnel, était déjà de loin la plus sensible. Erosion et ruissellement varient peu avec la longueur de la pente tout au moins dans les limites de l'expérience (21 à 41 m). L'érosion est faible mais sélective : c'est la terre fine qui est perdue entraînant inexorablement la réduction des stock d'éléments nutritifs, des matières organiques et de la réserve hydrique du sol. A la longue il ne restera plus qu'un squelette quartzeux stérile.

Ces résultats ont été confirmés par ceux qu'on a observés en 1960 sur un petit bassin versant non aménagé. Le coefficient d'écoulement annuel ($K_R = 17,5$ %) est légèrement plus élevé que sur les parcelles d'érosion à cause des forts ruissellements sur les terres basses colluviales. Par contre les transports solides en suspension (0,27 t/ha/an) sont du même ordre de grandeur.

1.1.3. Conclusions.

Les résultats expérimentaux montrent que dans cette région l'agressivité climatique et les risques d'érosion sont limités tout au moins sur ce type de pente et de sol. Par contre le ruissellement peut prendre lors de certaines averses des proportions inquiétantes non seulement pour l'alimentation hydrique des cultures en place mais aussi pour la protection des zones situées en aval où l'on observe parfois des ravines et des éboulements de berges. On a donc préconisé :

- le travail du sol (pour briser la pellicule de battance imperméable) suivi d'un billonnage isohypse cloisonné dans les plaines cultivées ;

- une politique de développement maximum du couvert végétal réservant les collines trop pentues aux cultures pérennes (forêt, pâturage, vergers) et les plaines aux cultures annuelles après correction des carences principales ;

- une politique de conservation des matières organiques favorisant le défrichement des nouveaux champs en fin de cycle avec enfouissement des pailles, l'utilisation sur place des résidus de culture, l'apport de paillage, de fumier et déchets ménagers et limitant les feux de brousse.

Enfin, pour éviter que le ruissellement ne provoque des dégâts importants lors des averses exceptionnelles on a mis en place un réseau de fossés de rétention et de banquettes de diversion plus ou moins lâche en fonction de la résistance des sols.

Tableau 1. Résultats des mesures à la station de Boukombé
(1° 08' Est ; 10° 12' Nord): République du Bénin.

- Climat soudano-guinéen : Pluie moyenne = 1100 mm en une saison
T° moyenne = 27°C
- Sol ferrugineux tropical lessivé légèrement concrétionné mais très riche en graviers de quartz sur schistes chloriteux et sériciteux (BIRRIMIEN).
- Parcelles de 250 m², longueur 20,9 - 31,6 et 41,6 mètres ;
pente = 3,7% .

Pluie 1960 = 1034 mm 1961 = 875 mm		1	2	3	4	5
Traitement	1960	(Fonio (grattage (Mil (Arachide grattage Mil à plat	Fonio grattage Arachide	Sorgho billonna- ge Fonio	Fonio grattage Fonio
	1961	((billon (// c.n.	labour 20cm	billon // c.n.	grattage	grattage
Longueur pente	1960	20,9	41,6	31,6	41,6	41,6
	1961	41,6	41,6	41,6	41,6	41,6
Coeff. Ruiss. moyen %	1960	4	11	4	1	4
	1961	2	12	6	4	9
K _R max. %	1960	40	50	-	-	-
	1961	-	63	40	36	75
Erosion t/ha	1960	0,79	1,57	0,98	0,59	0,65
	1961	0,20	1,30	0,62	0,25	0,67

- Bassin versant de 5 km²

- . averses limites (8 mm après 1 jour sec
(12 " 2 "
(15 " 5 "

.. Coefficient d'écoulement (3 à 17 % pour des pluies unitaires
(22 % max. en fin de saison humide

- . En 1960 (pluie = 1183 mm
(coeff. ruissellement = 17,5%
(érosion en suspension = 135 t/5km² = 0,27 t/ha.

1.2. Agonkamey (2° 20' Est ; 6° 24' Nord).

1.2.1. Caractéristiques écologiques de la station.

Les études sur parcelles d'érosion ont été entreprises par l'ORSTOM de mai 1964 à fin 1969 en vue d'évaluer l'érosion normale sous végétation naturelle et l'érosion accélérée sur terre de barre sous diverses cultures et techniques culturales. A partir de 1975, elles ont été prises en charge par la FAO.

Le dispositif semblable à celui de Boukombé, comprend trois parcelles de 240 m², de 30 mètres de long et 4,4 % de pente en moyenne.

Le sol est classé parmi les sols ferrallitiques faiblement désaturés modaux légèrement tronqués sur sédiments argilo-sableux du Continental Terminal, communément appelés "Terres de Barre". Le profil comporte un horizon humifère brun rouge sableux et très perméable de 10 à 30 cm d'épaisseur et par dessous des horizons rouges argilo-sableux bien structurés et perméables sur plusieurs mètres. L'horizon labouré (analysé en 1966) est moyennement riche (carencé en azote et potasse), sableux (A = 15% ; LF = 3% ; LG = 3% ; SF = 21% ; SG = 56%) et moyennement pourvu en matières organiques (M.O. = 2 à 3% ; N = 1 à 1,7 %).

Le climat du type sub-équatorial maritime est caractérisé par l'alternance de deux saisons sèches et de deux saisons humides centrées sur les mois de juin et octobre. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 1300 millimètres et la température annuelle moyenne est de 27°C : l'humidité relative moyenne mensuelle reste voisine de 70 à 80 %.

La végétation naturelle est une forêt riche en palmiers à huile mais la culture intensive des plantes vivrières (maïs, manioc, gombo, haricots, tomates) a laissé la place à une formation arbustive dense à cimes jointives dominée par les palmiers et où les graminées sont absentes.

1.2.2. Les résultats de 1964 à 69.

(Voir tableau 2).

Les précipitations : en six ans on a observé 4 années de pluviosité normale, une année déficitaire et une année largement excédentaire (1968). Il y eut chaque année une pluie de plus de 90 mm de hauteur et tous les deux ans une pluie de 110 mm. Une averse exceptionnelle de 178 millimètres est tombée le 30 juillet 1968. Les intensités maximales instantanées peuvent dépasser 140 à 180 mm/h. tandis qu'elles atteignent 100 à 150 mm/h pendant 15 minutes. Les précipitations sont largement suffisantes pour assurer une croissance normale aux cultures en première saison des pluies mais il n'en est pas souvent de même durant la seconde saison des pluies.

Le ruissellement moyen, négligeable (1 %) sous une jachère arbustive de 3 ans, atteint 30 % des pluies sous culture annuelle sarclée mais peut être réduit à des proportions acceptables grâce à certaines techniques culturales telles que le billonnage isohypse (cloisonné), le paillage et l'utilisation sur place des résidus de culture.

Durant les averses très intenses, le ruissellement peut atteindre 60 à 80 % de la pluie : si on n'y prend garde ces eaux peuvent provoquer des griffes d'érosion dans les talus des routes et localement des ravines dans les champs lorsque les billons débordent.

L'érosion, négligeable (0,5 t/ha) sous une jachère arbustive, elle croît très sensiblement un an après défrichement. Elle varie considérablement (1 à 85 t/ha/an) d'une année à l'autre en fonction de l'agressivité des précipitations mais aussi et surtout en fonction du couvert végétal (densité au semis) et des techniques culturales. Ainsi le labour

suivi d'un buttage entraîne des pertes en terre catastrophiques (50 et 85 t/ha) s'il n'est pas complété par un cloisonnement ou un paillage (ne fussent que les adventices desséchées). Le billonnage isohypse se montre très efficace pour retenir les eaux et la terre en année normale mais on peut craindre qu'au cours d'une averse exceptionnelle on assiste à un débordement entraînant la formation d'une ravine. Ici aussi le cloisonnement et le paillage peuvent améliorer l'efficacité du billonnage. Durant les trois premières années qui ont suivi le défrichement, la parcelle 3 soumise au travail minimum (grattage localisé au semis) a mieux conservé la pluie et résisté à l'érosion que la parcelle labourée (clean weeding) tout en produisant des rendements voisins. Ce n'est qu'en 4^{ème} année de culture sans engrais que la parcelle 3, complètement épuisée, a moins bien résisté à l'agressivité des pluies.

Enfin, il faut noter qu'ici aussi l'augmentation de la longueur de la pente (30 et 60m) n'entraîne pas nécessairement une augmentation des pertes en terre et en eau. L'érosion entraîne également sélectivement les éléments nutritifs et les matières organiques mais le danger est moins grave sur un profil épais et bien pourvu en terre fine que sur un sol gravillonnaire ou sur un lithosol.

1.2.3. Conclusions.

Dans la région de Cotonou les précipitations sont beaucoup plus agressives que dans le Nord surtout durant la grande saison des pluies. Le sol est résistant et perméable à condition de rester couvert par la végétation. Après défrichement de la jachère le travail du sol (généralement en bon état structural) a moins d'importance que le développement du couvert végétal. Celui-ci doit être favorisé par tous les moyens : semis dense et hâtif, fertilisation équilibrée, utilisation de plantes sélectionnées, saines, vigoureuses et bien adaptées aux conditions locales, cultures associées dans le temps et dans l'espace, plantes de couverture sous culture arbustive, paillage et utilisation sur le champ du maximum de résidus végétaux.

Durant la première saison des pluies, les risques d'érosion sont importants. Dans les cas les plus graves (buttes) on a perdu 1 centimètre de sol en 2 ou 3 ans à AGONKAMEY ; or, en zone forestière, l'essentiel des éléments fertilisants du sol se trouvent dans les vingt premiers centimètres. Sur le terrain, une érosion en nappe d'une telle intensité se traduit par la fonte de l'horizon humifère et la naissance des rigoles évoluant en ravines. Durant la seconde période culturale les pluies sont souvent déficitaires par rapport aux besoins des plantes l'élimination totale du ruissellement devrait entraîner une amélioration sensible des rendements de second cycle de culture.

Tableau 2. Résultats des mesures d'érosion à la station d'AGONKAMEY (2° 20' Est ; 6° 24' Nord) : République du Bénin.

Terres de Barre : pente = 4,4% - Climat subéquatorial maritime.

		1	2	3
964	Pluie	1113 Cotonou 734 Station (5 à 12) : agressivité voisine de la normale		
Traitement		jachère arbustive 3ans	jach. arb. 3 ans	jach. arb. 3 ans
Long. pente (m.)		30	60	-
Emiss. moyen %		0,9	0,6	non observé
Emiss. max. %		2,5	2,3	"
Erosion t/ha		1,225	0,536	"
965	Pluie	1479 Cotonou 1293 Station (3 à 11) : agressivité supérieure à la normale surtout en juillet		
Traitement		sol nu défriché	sol nu défriché	jach. arb. 4 ans
Long. pente (m.)		30	50	30
Emiss. moyen %		16,2	17,1	0,1
Emiss. max. %		55	69	0,8
Erosion t/ha		27,5	17,0	0,3
966	Pluie	1026 Cotonou 1135 Station (3 à 11) : agressivité inférieure à la normale en seconde saison des pluies		
Traitement		maïs butte/quinconce 18.000 pieds/ha	maïs labour à plant 30.000 pieds/ha	maïs non labour à plat 30.000 pieds/ha
Long. pente (m.)		30	30	30
Emiss. moyen %		20,7	21,8	7,0
Emiss. max. %		60	53	24
Erosion t/ha		49,4	37,2	9,7
967	Pluie	1452 Cotonou 1186 Station (3 à 12) : agressivité voisine de la normale		
Traitement		maïs + NPK butte/quinconce 18 puis 36.000 pieds/ha	maïs + NPK labour à plat 31.000 pieds/ha	maïs + 0 non labour à plat 31.000 pieds/ha
Emiss. moyen %		28,9	29,3	27,4
Emiss. max. %		67	75	61
Erosion t/ha		84,7	41,3	37,4
968	Pluie	2365 Cotonou 2440 Station (3 à 11) : agressivité très forte, pas d'arrêt en août		
Traitement		Arachide billons // C. niveau 60 puis 120.000 pieds/ha	Arachide labour à plat 120.000 pieds/ha	Arachide plat, non labour 120.000 pieds/ha
Emiss. moyen %		11,8	> 33,7	> 25,0
Emiss. max. %		63	82	> 68
Erosion t/ha		22,1	51,0	33,1
969	Pluie	1354 Cotonou 1143 Station (1 à 12) : agressivité voisine de la normale		
Traitement		maïs/coton + NPK billons // C. niveau 60 et 30.000 pieds/ha	maïs/coton + NPK labour, à plat 60 et 30.000 pieds/ha	maïs/coton + 0 à plat, non labour 60 et 30.000 pieds/ha
Emiss. moyen %		0,4	11,2	13,5
Emiss. max. %		11	51	49
Erosion t/ha		0,8	4,5	9,3

CHAPITRE 2. Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest.

Les résultats des études de l'érosion en République du Bénin, quoique limités dans le temps et dans l'espace, sont intéressants car ils fixent l'ordre de grandeur des phénomènes d'érosion et tentent de répondre à des problèmes locaux. Pour mieux saisir leur portée générale, il est utile de replacer ces données dans le cadre de celle du réseau d'expérimentation sur l'érosion en Afrique de l'Ouest (voir tableau 3).

On constate qu'en milieu naturel et dès lors que le sol est couvert l'érosion et le ruissellement sont négligeables quels que soient l'érosivité du climat, la pente et le sol. Mais lorsqu'on défriche et qu'on expose le sol à l'énergie des pluies, se développent des phénomènes d'érosion d'autant plus importants que la couverture végétale est faible et les techniques culturales mal adaptées, que la pente et les pluies sont fortes et que le sol est fragile.

2.1. L'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier.

En vue de définir le moins arbitrairement possible les techniques antiérosives appropriées aux vieilles surfaces pénéplanées de l'Afrique de l'Ouest, il faut recourir à une équation qui permette d'analyser les causes et les facteurs qui modifient l'importance des phénomènes d'érosion. A ce jour, l'équation de prévision de l'érosion présentée par Wischmeier et Smith au 7^e Congrès des Sciences du sol à Madison (1960) est certainement la plus élaborée, la mieux adaptée et la plus utilisée aux U.S.A. où elle sert de base à l'aménagement de l'espace rural. Elle est fondée sur l'analyse statistique de plus de 10.000 résultats annuels provenant de 47 stations de la Grande Plaine américaine où l'érosion en nappe et en rigole est étudiée sur parcelles (50 à 200 m²) et petits bassins versants. Cette équation empirique cherche à relier les transports solides mesurés à l'importance relative des différents facteurs.

Elle est de la forme $E = R \times K \times SL \times C \times P$. ce qui veut dire que l'érosion (mesurée ou prévisible) est une fonction multiplicative de l'influence de cinq facteurs représentés par des indices :

- R : un indice d'agressivité climatique tenant compte de l'intensité max. des pluies en 30 minutes et de leur énergie cinétique ;
- K : l'indice de sensibilité du sol à l'érosion en nappe et rigole (= érodibilité du sol) ;
- SL : l'indice topographique couvrant à la fois l'inclinaison et la longueur de la pente ;
- C : le facteur biologique exprimant les interactions entre la couverture végétale et les techniques culturales utilisées ;
- P : l'indice tenant compte de l'efficacité des aménagements antiérosifs classiques.

Connaissant l'agressivité climatique d'une région, l'érodibilité du sol et la topographie des terrains à mettre en valeur, on peut déterminer scientifiquement grâce à cette équation quelles sont les techniques antiérosives à mettre en oeuvre si on décide d'y introduire un système de cultures sans dépasser un taux d'érosion tolérable (2 à 12 t/ha/an) en fonction de la qualité et de l'épaisseur des terres arables).

TABLEAU
Erosion (t/ha/an) et ruissellement (% des précipitations annuelles)
sous diverses couvertures végétales en Afrique de l'Ouest.

Stations	Pente	Erosion tonne/ha/an			Ruissellement % des pluies annuelles			Sources
		milieu naturel	sol nu	culture	milieu naturel	sol nu	culture	
Adiopodoumé (1954-73) ORSTOM	4,5	-	60	-	-	35 (98)	-	Roose 1975
Forêt secondaire sempervirente	7%	0,03	138	0,1 à 90	0,14	33 (95)	0,9 à 30 (87)	1976
Sol ferrallitique appauvri	20%	0,2	570	-	0,7 (12) (*)	24 (76)	-	
P: 2100 mm: 4 saisons	65%	0,20 à 1	-	-	0,6 à 2,2 (16)	-	-	
Anguédédou 1966-72 IACA - ORSTOM Plantation hévéa Ilc. Niv. Sol ferrall. app./sables 3 aires P: 2000 mm.: 4 saisons.	29%	-	-	0,6 à 0,3	-	-	0,3 à 0,9	Roose 1970
Azoguie 1966-73 IFAC - ORSTOM Forêt secondaire sempervirente Bananière irriguée Sol ferrall. remanié/schistes P: 1800 mm: 4 saisons	14%	0,05 à 0,7 Md = 0,155	-	0,9 à 4,6 Md = 1,83	0,4 à 4 Md = 1,9 Max. = (31)	-	5 à 10 Md = 7 Max. = (74)	Roose Godefroy 1976
Divo 1967-74 IFCC - ORSTOM Forêt semi-décidue Sol ferrall. remanié/granite P: 1750 mm: 4 saisons	9%	0,5	-	-	1	-	-	Roose Jadin 1969
Bouaké 1960-73 IRAT - ORSTOM Savane arbustive dense Sol ferrall. rajeuni/granite P: 1200 mm: 4 saisons	4%	b. 0,20 n.b. 0,01	18 à 30	0,1 à 26	b. 0,3 (16) n.b. 0,03	15 à 30	0,1 à 26	Roose Bertrand 1972 Bertrand 1967
Korhogo 1967-75 ORSTOM Savane arbustive claire Sol ferrall. remanié/granite P: 1400 mm: 2 saisons	4%	b. 0,1 à 0,2	3 à 9	-	b. 5 (50)	35	-	Roose 1975
Ouagadougou 1967-73 CTFT-ORSTOM-IRAT Savane arborée claire Sol ferrug. less./granite P: 850 mm: 2 saisons	0,5%	b. 0,15 n.b. 0,01	10 à 20	0,6 à 8	b. 40 (50) n.b. 2,5 (10)	40 à 60 (30)	2 à 32 (60)	CTFT 1974 Roose 1974
Séfa (Sénégal) 1954-68 ORSTOM-IRAT Forêt claire Sol ferrug. lessivé P: 1300 mm: 2 saisons	1 à 2%	b. 0,02 à 0,50 n.b. 0,02 à 0,20	30 à 85	2 à 20	b. 0,3 à 1,5 n.b. 0,1 à 1,2	25 à 55	8 à 40	Roose 1967 Charreau 1972
Cotonou (Bénin) 1964-68 ORSTOM Fourré dense Sol ferrall. mod./sables 3 aires P: 1300 mm: 4 saisons	4%	0,3 à 1,2	19 à 27,5 après défrichement	10 à 85	0,1 à 0,9 (2,5)	17 (69)	20 à 35 (70)	Verney Volkoff Willaime 1965-70 Roose 73
Boukoubé (Bénin) 1960-61 EAUX ET FORETS-ORSTOM Savane parc Sol ferrug. less. gravil/schistes P: 1100 mm: 2 saisons	3,7	-	-	0,2 à 1,6	-	-	1 à 12 Max (75)	Colombani Fauk 1961 Willaime 62 Verney W. 1965
Allakoto (Niger) 1966-71 CTFT Savane arbustive Vertisol/calcaire P: 500 mm: 2 saisons	3,0	-	-	0,1 à 18,5	-	-	1 à 22 Max (70)	Delwaille 1973

Note: Les chiffres () représentent des coefficients max. de ruissellement pendant une pluie unitaire de fréquence décennale.
Les indications b. et n.b. signifient « brûlé » ou « non brûlé »; Md: médiane.

Cette équation de prévision de l'érosion ne s'applique malheureusement pas aux sols à argiles gonflantes, ni aux régions montagneuses à relief jeune où l'érosion linéaire et ravinante domine, ni aux zones sahariennes et méditerranéennes où l'averse exceptionnelle a une importance décisive. Cependant, elle nous semble bien adaptée à la majorité des terrains cultivés en Afrique de l'Ouest et en particulier aux pentes moyennes à faibles sur sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux.

2.2. Importance relative des facteurs de l'érosion en Afrique de l'Ouest et au Bénin.

Les principaux résultats des expérimentations en cases d'érosion effectuées en Afrique de l'Ouest ont été analysés dans le cadre de l'équation de Wischmeier et présentés au Colloque d'Ibadan sur l'érosion et l'aménagement des sols des régions tropicales humides (Roose, 1975). Pour choisir les techniques antiérosives appropriées aux régions tropicales de la République du Bénin, il convient de résumer ici l'ordre de grandeur de variation des différents facteurs de cette équation.

2.2.1. L'indice d'agressivité climatique : R_{USA} .

En Afrique de l'Ouest il croît de 200 dans les zones sahéliennes du Sénégal, du Mali, du Niger et du Tchad à près de 2000 dans certaines zones côtières de Guinée, du Libéria et du Cameroun (voir figure 1). De plus, sa répartition au cours des mois de l'année est très hétérogène : 75 % de sa valeur sont souvent regroupés en deux ou trois mois.

Au Bénin, l'indice d'agressivité croît d'environ 450 à l'extrême Nord à 750 au Sud-Est mais la majorité du territoire est soumise à une agressivité climatique importante de l'ordre de 600 ; heureusement les zones méridionales les plus arrosées connaissent une répartition des pluies plus étalée au cours de l'année.

A titre de comparaison, l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (R_{USA}) varie de :

- 50 à 650 aux U.S.A.
- 60 à 350 au Maroc, en Tunisie et dans le Midi de la France.

Il est donc assez élevé au Bénin puisqu'il dépasse ceux qu'on enregistre autour du bassin méditerranéen dont le climat est réputé pour son agressivité.

- Variabilité au Bénin : 450 à 750 (soit 1,7).

2.2.2. La résistance des sols à l'érosion : indice K .

Aux U.S.A., l'indice d'érodibilité K augmente de 0,05 à 0,69 pour des sols de plus en plus sensibles (Wischmeier, Johnson et Cross, 1971).

Les rares résultats expérimentaux disponibles en Afrique de l'Ouest indiquent que les sols ferrallitiques sont généralement très résistants ($K = 0,02$ à $0,18$) tandis que les sols ferrugineux tropicaux le seraient beaucoup moins après 2-3 ans de culture ($K = 0,20$ à $0,30$). Il semble donc que les sols tropicaux ne soient pas aussi fragiles que bien des sols lessivés des régions tempérées.

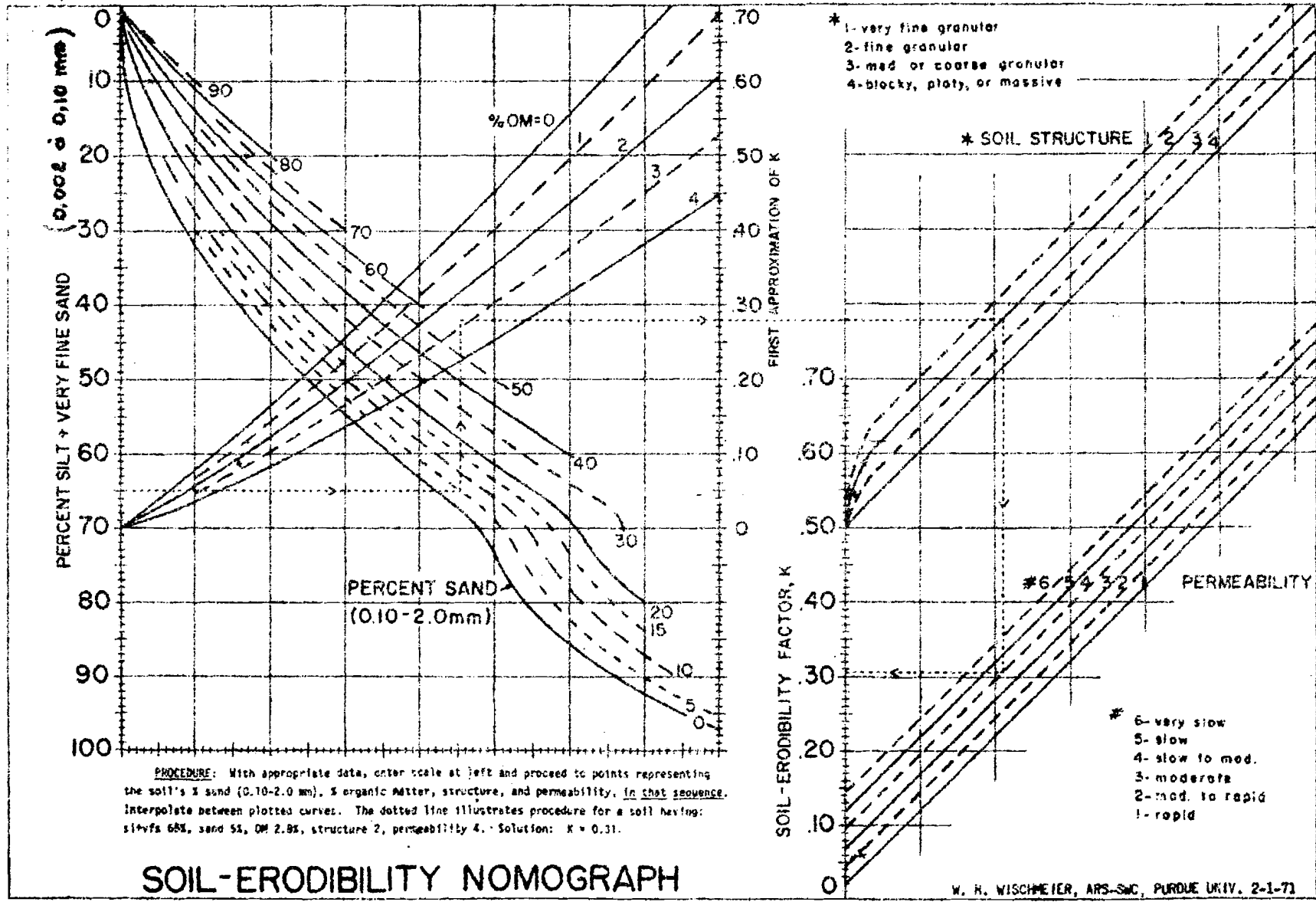
Au Bénin, l'estimation de l'érodibilité du sol ferrallitique sur Terre de Barre de la station d'AGONKAMEY donne un K de l'ordre de 0,10 et pour le sol ferrugineux tropical riche en graviers de BOUKOMBE un K inférieur à 0,01 : ces sols sont donc particulièrement résistants à l'agressivité des pluies.

En attendant des mesures précises en d'autres situations, il est possible d'évaluer l'érodibilité des sols à l'aide du nomographe de Wischmeier, Johnson et Cross (1971) (voir figure 2) à partir de l'analyse de la texture, des matières organiques, de la structure et de la perméabilité de l'horizon labourable, à condition de tenir compte de la protection offerte par les graviers et débris de roche (Dumas, 1965);

FIG. 2

NOMOGRAPHE PERMETTANT UNE EVALUATION RAPIDE
DU FACTEUR K DE SUSCEPTIBILITE DES SOLS.

- D'après WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS : 1971 -



les sols gravillonnaires en effet sont extrêmement résistants à l'agressivité des pluies mais à la longue ils deviennent squelettiques à cause de la sélectivité de l'érosion.

En général, on peut s'attendre aux résultats suivants (Roose, 1975)

- sols ferrallitiques divers	K
. issus de sables tertiaires	0,05 à 0,10
. issus de granites	0,10 à 0,15
. issus de schistes	0,15 à 0,18
. gravillonnaires en surface	0,01 à 0,05
- sols ferrugineux tropicaux divers	
. issus de granite	0,20 à 0,30
. gravillonnaires en surface	0,01 à 0,05
- variabilité de K au Bénin de :	0,02 à 0,30 (soit 15).

2.2.3. Le facteur topographique : S.L.

L'influence de la longueur de la pente n'est ni constante ni très élevée comme on a pu l'observer à Boukombé et Agonkamey. Pour des raisons pratiques, une équipe de chercheurs américains a estimé que l'érosion croît comme la racine carrée de la longueur de la pente.

Par contre, l'influence de l'inclinaison de la pente est déterminante. Les transports solides croissent de façon exponentielle avec le % de pente. Zingg (1940), résumant les expérimentations effectuées sur des sols des régions tempérées américaines trouve que l'exposant est voisin de 1,4. Par contre Hudson (1975) en Rhodésie et Roose (1975) en Côte d'Ivoire trouvent des exposants supérieurs à 2 pour différents sols tropicaux sous cultures peu couvrantes. Pour Wischmeier et Smith (1960) les pertes en terre augmentent avec la pente selon une équation du second degré qui s'écrit :

$$E = f(SL) = \frac{V L'}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)$$

où L est la longueur de la pente en pieds (1 pied = 0,3048m.) et S l'inclinaison de la pente en % (voir figure 3).

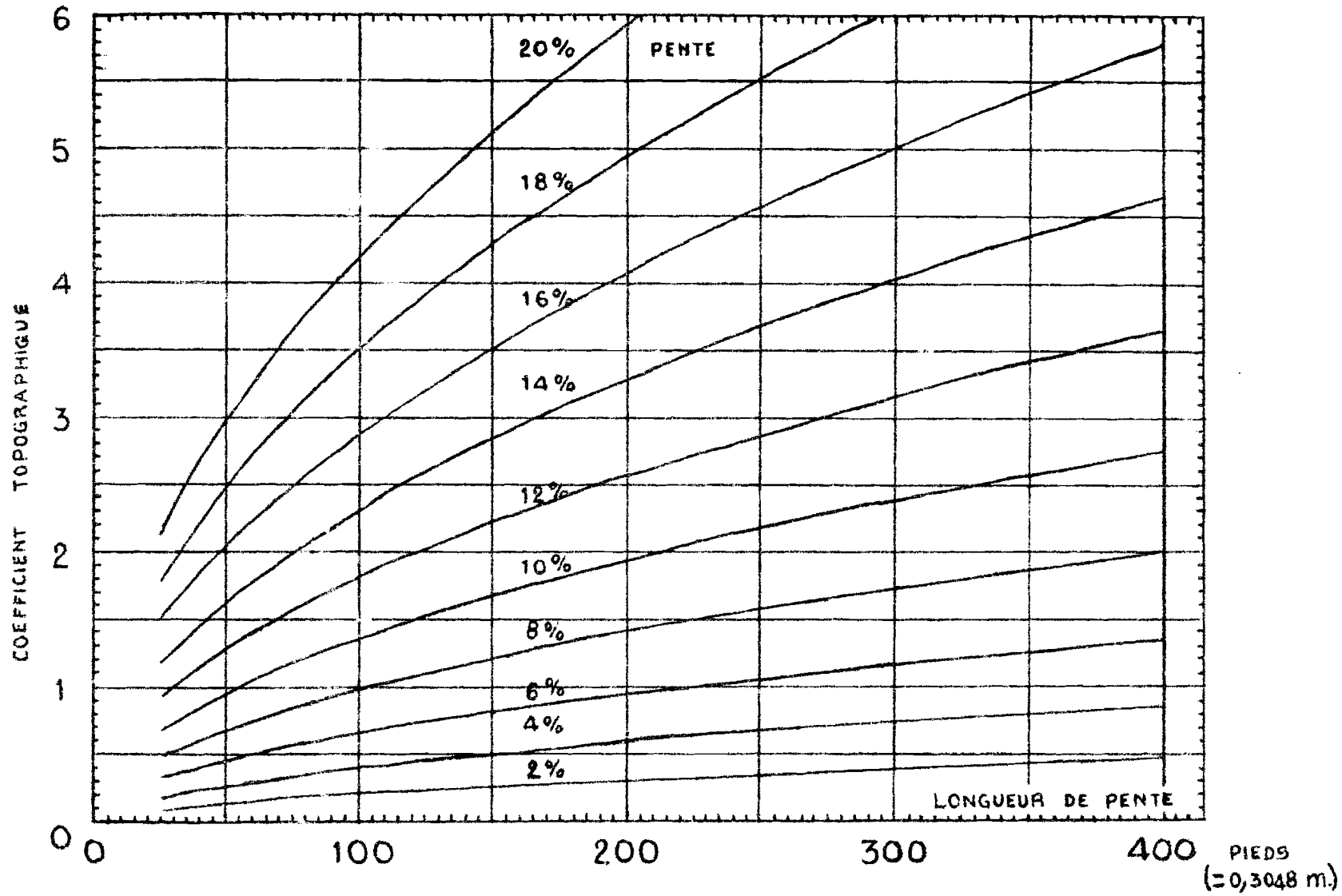
Certes, les relations entre l'érosion et la pente varient en fonction du type de sol, du mode de mise en valeur et du climat, mais, en l'absence de données précises, on peut s'appuyer sur l'équation de Wischmeier qui donne satisfaction dans bon nombre de cas pratiques sur les sols à argile non gonflante.

Pour les pentes cultivées les plus courantes (0,1 à 15 %) d'une longueur de 60 mètres la variabilité de SL = 0,1 à 2,5 (soit 25).

2.2.4. La couverture du sol et les techniques culturales : facteur C.

C'est de loin le facteur conditionnel le plus important. Lorsque le couvert végétal est continu, qu'il s'agisse de forêt, de fourrés, de culture arbustive avec plantes de couverture, de savane, de pâturage ou d'une culture avec paillis, l'érosion et le ruissellement sont médiocres (voir tableau 3). La mise à feu de la savane, surtout si elle est tardive, augmente très sensiblement le ruissellement et la charge solide (Roose, 1974). Mais lorsque le sol est totalement dénudé, les manifestations de l'érosion deviennent catastrophiques : les pertes en terre sont multipliées par mille et le ruissellement par 20 à 50.

Fig. 3 Coefficient topographique.



d'après Wischmeier et Smith (1958)

Sous culture, ces phénomènes sont intermédiaires et varient dans une très large mesure en fonction du type de plante, de la vitesse avec laquelle elle recouvre le sol et des techniques culturales mises en oeuvre pour aider sa croissance. La densité, la précocité de la plantation, une préparation adéquate du sol, une fertilisation bien adaptée et l'utilisation des résidus végétaux, jouent un rôle prépondérant.

Le facteur C de l'équation de Wischmeier est le rapport entre l'érosion mesurée sous une culture bien précise et celle que l'on observe sur une parcelle nue de référence. Il se calcule par périodes caractéristiques de la culture (5 aux U.S.A. et jusqu'à 8 en zone tropicale humide à 2 cycles culturels par an). En ne tenant compte que d'une valeur globale par année on a obtenu les valeurs suivantes en Afrique de l'Ouest (Roose, 1973) :

Tableau 4. Le facteur couvert végétal (C) en Afrique de l'Ouest.

Plantes et techniques culturales	C. annuel moyen
- sol nu	1
- forêt ou fourré dense ou culture paillée abondamment	0,001
- savane ou prairie en bon état	0,01
- savane ou prairie brûlée ou surpâturée	0,1
- plantes de couverture à développement lent ou plantation tardive 1ère année	0,3 à 0,8
- plantes de couverture à développement lent ou plantation tardive 2ème année	0,1
- plantes de couverture à développement rapide et plantation hâtive 1ère année	0,01 à 0,1
- maïs, sorgho, mil (en fonction du rendement)	0,4 à 0,9
- riz en culture intensive	0,1 à 0,2
- coton, tabac (en second cycle)	0,5 à 0,7
- arachide (en fonction de la date de plantation)	0,4 à 0,8
- manioc 1ère année et igname (en fonction de la date de plantation)	0,2 à 0,8
- palmier, hévéa, café, cacao, avec plantes de couverture	0,1 à 0,3
- ananas à plat (en fonction de la pente 4 à 20%)	
. résidus brûlés	0,2 à 0,5
. résidus enfouis	0,1 à 0,3
. résidus en surface	0,01
- ananas sur billons cloisonnés (pente 7%)	0,1

On remarque immédiatement que les cultures vivrières sont parmi les plantes les moins protectrices du sol tout au moins lorsqu'elles sont effectuées de façon extensive à faible densité et en culture pure sur des sols pauvres : dans ces conditions il leur faut 2 à 5 mois pour couvrir 90% du sol, limite au delà de laquelle l'érosion devient négligeable.

Il n'en va pas de même dans les champs familiaux traditionnels où l'on plante souvent très tôt après quelques bonnes averses 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 les semis si des périodes sèches succèdent aux premiers orages : les plantations se font donc nécessairement assez tard mais une fertilisation adéquate permet d'augmenter les densités.

Il ressort de tous ces résultats 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.

Or la dynamique de la croissance du couvert végétal est très variable en fonction du type de plante mais aussi des techniques culturales (densité et date de plantation, nutrition hydrique et chimique) et du climat (précipitation et éclaircissement). On comprend dès lors que si les fortes averses tombent un mois après le semis, l'érosion sera fonction du type de plante tout autant que des techniques culturales. D'où la notion de "plante dégradante" ou "protectrice" suivant la vitesse de recouvrement du sol par ces plantes, notion qui doit être tempérée par celle des techniques culturales appropriées. En effet, tant que le sol n'est pas entièrement recouvert par la végétation, les techniques culturales peuvent modifier considérablement les phénomènes d'érosion en particulier au début de la saison des pluies, période où s'effectuent les plus gros transports de terre.

L'analyse de l'influence des techniques culturales sur l'érosion sera développée au chapitre 3 sur les techniques conservatoires.

- variabilité de C. = 1 à 0,001 (soit facteur 1000).

2.2.5. Les pratiques antiérosives classiques : facteur P.

Le facteur "pratique antiérosive" (P.) est le rapport entre les pertes en terre sur un champ aménagé et celles d'une parcelle de paille voisine non aménagée. Seules les méthodes des bandes antiérosives, du paillage naturel et du mulching à l'aide de plastique ont pu faire l'objet d'études en petites parcelles en Afrique de l'Ouest. Les autres méthodes ont été testées sur bassins versants aux U.S.A.. Nous nous bornerons ici à joindre nos résultats à ceux publiés par Wischmeier.

Tableau 5. Le facteur P : pratiques antiérosives.

U.S.A. (Wischmeier et Smith, 1960)	Facteur P.
- labour isohypse	0,75
- labour et billonnage isohypse	0,50
- labour et bandes enherbées isohypses	0,25
Afrique de l'Ouest (Roose, 1973 ; Delwaulle, 1973)	
- billonnage isohypse cloisonné	0,2 à 0,1
- bandes antiérosives de 2 à 4m. de large	0,3 à 0,1
- mulch de paille (10 t/ha)	0,01
- mulch de plastique liquide (Curasol à 60 gr/l/m ²)	0,5 à 0,2
- prairie temporaire	0,5 à 0,1
- bourrelets armés en murettes en pierres sèches (dénivellée = 80 cm) + labour et binage isohypses + fertilisation équilibrée	0,1

Les techniques antiérosives de terrassement pour la diversion ou l'absorption totale des eaux ne figurent pas dans cette liste car on en tient déjà compte dans le facteur topographique où la longueur de pente va être réduite à la largeur des bandes cultivées entre deux fossés (terrasses ou banquettes). Il existe d'ailleurs très peu d'étude démontrant scientifiquement la réduction des pertes en terre des bassins versants après aménagement par terrassement : on confond généralement

les effets des terrassements et ceux de l'amélioration du couvert végétal provoqués en même temps (Goujon, Bailly, 1974 ; Roose, 1974). Notons dès maintenant que les techniques biologiques visant à la couverture maximum du sol sont bien plus efficaces que les méthodes mécaniques de terrassement qui sont coûteuses à implanter et difficile à entretenir.

- variation de P. de 1 à 0,1 (soit facteur 10).

2.2.6. Conclusions.

Dans les conditions climatiques et topographiques des collines et des pénéplaines du Bénin les facteurs de l'érosion varient de la façon suivante :

- l'indice d'agressivité climatique $R = 450$ à 750
- l'érodibilité des sols $K = 0,01$ à $0,30$
- l'indice topographique $SL = 0,1$ à $2,5$
- l'indice biologique $C = 1$ à $0,001$
- l'efficacité des pratiques antiérosives classiques $P = 1$ à $0,1$.

Par conséquent les facteurs les plus importants sur lesquels on peut intervenir pour favoriser la conservation des eaux et du sol sont dans l'ordre décroissant d'influence la couverture végétale et les techniques culturales (var. 1 à 1000), l'inclinaison de la pente (var. 1 à 25) et les propriétés du sol liées à sa fertilité et à sa structure (var. 1 à 15).

C'est pourquoi les méthodes de lutte antiérosives proposées dans le chapitre suivant sont de nature biologique et visent à intensifier l'agriculture sur les meilleures terres, à maintenir sous couvert permanent les zones sensibles et à établir progressivement une structure foncière stable du territoire agricole et de ses voies d'accès.

CHAPITRE 3. Les techniques conservatrices adaptées au Bénin.

En général, lorsqu'on parle de protection antiérosive, on pense aux terrasses, banquettes, gradins et fossés de diversion ou d'absorption totale car ce sont les techniques dont il est fait mention le plus largement dans les manuels de conservation.

Or, à chaque circonstance écologique, économique et sociologique correspondant des problèmes posés par l'érosion et des méthodes adaptées pour les résoudre (Roose, 1972, 1975).

Au Bénin, plus de 80% du territoire agricole présentent une topographie faiblement ondulée (pentes inférieures à 7%), une faible densité de population disposant de moyens mécaniques et financiers très limités, des précipitations agressives mais suffisantes pour assurer une végétation abondante, des sols dont la richesse organique et minérale s'épuise rapidement et des cultures procurant de maigres revenus.

Dans ces circonstances, les méthodes de terrassement classiques s'avèrent non rentables, chères et difficiles à l'entretien, peu efficaces, bref mal adaptées aux conditions climatiques et socio-économiques. De plus le paysan reste étranger à la réalisation des travaux qui le dépassent : il se désintéresse du problème alors qu'à lui seul il pourrait le résoudre dans 90% des cas par l'usage de techniques simples à sa portée.

Tout ceci s'est vérifié dans la région de Boukombé où l'on peut constater aujourd'hui les maigres résultats de l'effort important fourni pour améliorer le niveau de l'agriculture il y a quinze ans.

Dans ces conditions écologiques par contre la lutte antiérosive devrait pouvoir s'organiser autour de deux thèmes : l'aménagement du territoire agricole en fonction de sa capacité de production et l'adaptation des techniques culturales en vue de la conservation de l'eau et de la fertilité des sols.

Dans ce chapitre, le terme de techniques antiérosives doit être compris au sens large ; il recouvre toutes les pratiques agricoles qui visent l'amélioration de l'infiltration des eaux de pluie ainsi que la protection du sol et de sa fertilité. Jadis trop souvent limitée à des mesures d'interdiction, la conservation des sols propose aujourd'hui les moyens d'assurer une haute productivité du domaine agricole sans destruction du capital foncier.

3.1. Adaptation des techniques culturales en vue de la conservation de l'eau et de la fertilité des sols.

Tant que la densité de population est faible (moins de 20 habitants au Km²) il se pose peu de problèmes d'érosion car la jachère recouvre la majorité du terroir et ramène la fertilité du sol à un niveau à peu près acceptable. Mais lorsque la population augmente et à plus forte raison si on entreprend une agriculture intensive sur de grandes surfaces (ce qui exige la mécanisation), on constate rapidement une chute du stock de matières organiques et des éléments nutritifs du sol, une détérioration de leurs propriétés physiques et de leur fertilité en général. Pour sauvegarder le niveau de productivité, il faut donc avoir recours à toute une série de mesures conservatrices simples qui ont pour rôle de favoriser le couvert végétal et de maintenir à un niveau satisfaisant la fertilité et en particulier le stock des matières organiques du sol.

3.1.1. Plantation_hâtive_et_dense.

La majorité des transports solides ont lieu en début de saison des pluies lorsque le sol n'est pas encore bien couvert par la végétation. Plus le semis sera hâtif et dense et moins nombreuses seront les averses qui pourront causer des dégâts ; si le sol est couvert avant la période des plus fortes précipitations, l'érosion restera dans des limites acceptables.

C'est ainsi qu'à Adiopodoumé, sur deux parcelles voisines de 7% de pente et sur un sol assez semblable aux Terres de Barre, la plantation d'un *Panicum maximum* le 15 avril au lieu de 15 mai a réduit de 89 à 1,2 t/ha l'érosion et de 20 à 10 % le coefficient de ruissellement observés pendant les trois mois les plus agressifs de l'année. Ce principe a bien sûr des limites. Semer tôt présente quelquefois l'inconvénient de devoir recommencer le semis s'il advient une période sèche trop longue ; cependant cette technique permet de profiter au mieux des eaux de pluie disponibles et de l'activité biologique intense qui se manifeste lors des premières averses : les rendements sont très étroitement liés à la longueur du cycle des pluies utiles. Notons enfin qu'en zone soudano-guinéenne sèche, cette pratique est favorisée par un travail du sol exécuté en fin du cycle précédent, ce qui n'est pas toujours possible.

3.1.2. Une_fertilisation_minérale_adéquate.

Le sol constitue un stock d'éléments nutritifs, libérés progressivement pour l'alimentation des plantes. Cette réserve n'est pas inépuisable ; si on exporte régulièrement les grains ainsi que les pailles produites, on observe un rapide déclin de la fertilité se traduisant par une diminution de la production végétale et donc de la couverture du sol. Voilà ébauché le cercle vicieux de l'érosion : plus le sol est pauvre, moins il supporte une couverture végétale dense et plus il s'appauvrit par l'érosion.

Ce fait bien connu avait déjà été souligné par Hudson en 1958 lorsqu'il montra qu'en Rhodésie il perdait quarante fois plus de terre pour produire un sac de maïs en culture extensive qu'en culture intensive (réduction des surfaces, forte densité du couvert grâce à une fumure adéquate). Certes, les engrais coûtent cher et il est difficile de donner des conseils de fumure adaptée à chaque cas. On connaît les besoins des plantes, quelquefois les carences des sols de la région et il existe des formules de fumure vulgarisable mais chaque champ à son histoire et l'idéal serait d'observer les manifestations de déficience sur la culture elle-même (Lebuanec, 1973). Quoiqu'il en soit la fertilisation minérale est généralement très rentable sur les cultures : ici aussi productivité et conservation du sol vont de paire.

3.1.3. Choix_de_variétés_sélectionnées_vigoureuses_et_bien_adaptées combinée à une protection phytosanitaire adéquate. L'érosion en effet est proportionnelle à la surface du sol découverte. Si donc les variétés cultivées se développent mal dans une région et sont attaquées par diverses maladies ou insectes, l'introduction de variétés sélectionnées résistantes et de méthodes de protection phytosanitaire efficaces peuvent modifier considérablement les phénomènes d'érosion.

3.1.4. La conservation des matières organiques.

Chaque année, la forêt apporte au sol 8 à 15 t/ha/an de litière qui se décompose en produisant de l'humus et des éléments nutritifs minéraux. La savane produit 1 à 5 t/ha/an de paille mais plus des 3/4 sont aussitôt minéralisés par les feux de brousse : ceci explique pour une bonne part la faible fertilité des sols de savane.

Lors du défrichage la minéralisation des matières organiques diverses est brutale et l'on observe une chute d'abord rapide puis lente du stock organique et minéral du sol. Or, les matières organiques du sol sont un élément essentiel de sa fertilité car elles permettent le stockage de l'eau et des éléments nutritifs, entretiennent une activité biologique intense et des propriétés physiques favorables.

En milieu traditionnel la culture est de courte durée et la longue jachère assure un réapprovisionnement des stocks de matières organiques jusqu'à un niveau acceptable.

En culture intensive, les problèmes sont très différents suivant qu'il s'agisse de cultures pérennes ou de cultures sarclées à cycle court.

En culture pérenne, les problèmes de matières organiques et d'érosion sont généralement faciles à résoudre par l'usage de plantes de couverture améliorantes (*Pueraria* - *Centrosema* en zone humide, *Stylosanthes* en zone sèche), par un apport localisé de paillage ou simplement en rabattant la brousse ou le recru entre les lignes de plantation (possibilité intéressante pour l'élevage). Dans le Sud, la culture sarclée dominante est le maïs qui laisse au champ 3 à 5 t/ha/an de résidus de culture qui, restitués au sol, maintiennent un certain niveau de matières organiques. En fin de rotation, le manioc est suivi d'une jachère de 2 ou 3 ans améliorée par la présence de légumineuse (*Pueraria* et *Centrosema*) : ces dernières fixent environ 200 kg/ha/an d'azote et fournissent un humus de très bonne qualité.

Dans le Centre et le Nord par contre, la rotation comprend 1 an d'igname (ou arachide) 2 ans de coton, 1 an de maïs (ou sorgho) et 3 années de jachère à *Andropogon*. Cette rotation restitue très peu de matières organiques au sol puisque l'igname et le coton laissent peu de résidus, les fanes d'arachide sont commercialisées, les tiges de sorgho sont utilisées à des fins domestiques ou artisanales et la jachère d'*Andropogon* brûle chaque année. Seul le maïs pourrait fournir quelques restitutions organiques 1 an sur 4. Une amélioration du système pourrait consister à rabattre la jachère chaque année fin août et à l'enfouir en 3ème année ou encore de la remplacer par du *Stylosanthes* exploité modérément par le bétail.

L'apport massif du fumier (10 t/ha/an) résoudrait bien entendu le problème de façon élégante. Malheureusement le bétail est rare au Bénin et l'on sait la difficulté rencontrée pour associer l'élevage et la culture, activités traditionnellement exercées par des ethnies différentes toujours en concurrence plus ou moins latente.

Reste le paillage. Celui-ci améliore considérablement l'environnement des plantes : il diminue l'évaporation et la température du sol, il alimente une intense activité biologique qui améliore la structure du sol, il maintient un haut niveau d'infiltration, il intercepte l'énergie des gouttes de pluie et stoppe radicalement l'érosion. Le problème consiste à s'en procurer une quantité suffisante (2 à 5 t/ha/an). En culture traditionnelle cela ne pose pas de grosses difficultés car les champs sont entourés de brousse. Au lieu de brûler toute la savane en fin de cycle, on pourrait envisager de récolter les pailles, feuilles et branchettes autour des plantations (ce qui équivaldrait à créer un pare-feu) et à la stocker sur le champ où elle commencerait à pourrir.

Soit on peut l'enfourir après la récolte ce qui constituerait une sorte de labour en fin de cycle avec enfouissement de la jachère comme on peut l'observer aux environs de Boukombé,

Soit on attend les premières pluies qui, piégées par le paillis, pénétreront parfaitement dans le sol et permettront ainsi d'effectuer très tôt le semis, que le sol soit travaillé en plein ou seulement sur les lignes de plantation.

En grande culture mécanisée, il est difficile de se procurer assez de paille en brousse mais il faut alors laisser sur place les résidus de culture (maïs, riz, sorgho) et prévoir une jachère de 2 ou 3 ans, améliorée et enfouie (ou rabattue et laissée en surface) en fin de cycle.

3.1.5. La jachère.

Le rôle de la jachère est double : régénérer la fertilité du sol (stock minéral, matières organiques et propriétés physiques, vie microbienne) mais aussi de réduire bon nombre d'agents pathogènes (nématodes, champignons et maladies diverses) et de mauvaises herbes (adventices annuelles, striga, etc.).

En zone humide, la jachère naturelle (arbustes, graminées, composées et divers) serait avantageusement remplacée par 2 ou 3 ans (max.) de *Pueraria* et *Centrosema*, deux légumineuses très couvrantes, faciles à détruire, qui apportent de l'azote et donnent un excellent humus.

En zone sèche, l'IRAT préconise trois ans d'Andropogon qui fournit une masse impressionnante de paille et nettoie parfaitement le champ (Dumont, 1973). Cependant, elle brûle chaque année et améliore peu le stock minéral du sol. On pourrait envisager de la rabattre fin août et de laisser les pailles pourrir sur place : les repousses, trop tendres et humides pour brûler à l'époque des feux, pourraient être utilisées par le bétail. En Côte d'Ivoire, divers essais ont montré que les graminées ont un potentiel de production végétale énorme (35 t/ha/an de matière sèche) à condition de leur fournir des doses impressionnantes de minéraux. Le *Stylosanthes* produit moins de matière végétale (10 à 15 t/ha/an) mais par contre se montre beaucoup plus avantageux pour coloniser les sols pauvres sans apport minéral : de plus il fixe 200-250 kg/ha/an d'azote ce qui représente une économie appréciable maintenant que les engrais coûtent cher. Malheureusement cette légumineuse est difficile à mener et les graines sont rares. Certains résultats (IRAT/Bouaké) montrent qu'en culture intensive on peut maintenir la fertilité du sol grâce à une fumure minérale suffisante et à la restitution des résidus de culture ; l'abandon de la jachère nous semble cependant peu prudent en Afrique ne fût-ce qu'à cause des risques de difficultés à maîtriser les mauvaises herbes et les ennemis des cultures.

Enfin, une prairie temporaire (2 ans = optimum) peut fort bien remplacer la jachère à condition de ne pas la surcharger et de restituer les minéraux exportés.

3.1.6. Rotation et alternance des cultures.

L'alternance des cultures sarclées "ouvertes" et des cultures "fermées" dans le temps et dans l'espace limite les risques tant sur le plan agronomique que dans le contexte de la conservation du sol : elle supprime les effets cumulatifs qui pourraient se produire tout au long d'un versant.

Cependant pour des raisons économiques (dispersion des cultures) et techniques (lutte phytosanitaire) on réunit souvent les mêmes cultures sur un seul bloc. Il faut alors prévoir des bandes antiérosives enherbées en permanence (voir plus loin).

3.1.7. Le travail du sol.

Les buts du travail du sol sont multiples :

- favoriser l'enracinement en augmentant la porosité du sol et en mettant à sa disposition un volume important de terre meuble,
- maîtriser les mauvaises herbes,
- améliorer l'infiltration des pluies en brisant la pellicule de battance et en augmentant la rugosité du sol (augmentation du stockage de l'eau en surface).

Ces effets bénéfiques sont malheureusement plus ou moins temporaires en fonction du type de travail effectué : pour un labour classique bien fait ils durent environ un mois pendant lequel il pleut 80 à 150 millimètres. Ils s'accompagnent de deux inconvénients importants :

1. l'augmentation des discontinuités de structure au niveau de contact entre l'horizon travaillé et les suivants (de Blic, 1975) ;
2. la diminution de la couverture du sol et de la cohésion du matériau exposé aux pluies donc de la résistance à l'érosion.

Ces inconvénients peuvent être minimisés par l'usage de dents rigides plutôt que de charrues à soc ou à disques et par le gain de croissance des plantes consécutifs au travail du sol : ceci nous amène à souligner l'urgence du semis une fois le sol préparé et humecté par les premières pluies.

Si on part d'un sol ayant des propriétés physiques satisfaisantes (après défriche forestière ou savane à hautes herbes) il n'est pas toujours utile de labourer en plein : le travail peut se limiter à la ligne de semis une fois la végétation tuée aux herbicides ou rabattue mécaniquement. Cette technique est en vogue aux U.S.A. où on sème le maïs directement dans une prairie temporaire tuée aux herbicides : elle pourrait être adaptée en Afrique car elle réduit considérablement les risques d'érosion puisque le sol reste couvert et que l'infiltration reste très élevée grâce à l'activité des vers de terre et de la mésafaune en général.

En milieu ferrallitique, les premiers résultats semblent indiquer que le labour en plein n'est pas indispensable si on dispose d'assez de résidus de culture (Lal, 1975). En milieu ferrugineux tropical par contre, le labour favoriserait nettement l'enracinement et les rendements et son action est d'autant plus durable qu'on a enfoui des pailles (Charreau, Nicou, 1972). Cette différence s'expliquerait par la mauvaise structure des sols ferrugineux (pellicule de battance), conséquence d'une texture plus riche en limons et sables fins et d'un taux de matières organiques très faible.

De toute manière on peut restreindre les inconvénients du travail du sol

- en limitant la pulvérisation des mottes aux lignes de semis,
- en limitant le travail du sol aux lignes de semis,
- en utilisant des dents rigides laissant à la surface du sol les résidus végétaux.

Le travail superficiel du sol (grattage, sarclo-binage) a les mêmes inconvénients que le labour profond mais son action est beaucoup plus limitée dans le temps (une pluie de 20 mm.) ; il ne peut être généralisé comme système car il augmente le nombre de passages nécessaires et les inconvénients qui en découlent (perte de temps et tassement des horizons profonds).

L'intérêt du sous-solage n'est apparu que dans de rares cas en milieu tropical : son action est limitée sauf s'il est utilisé en sec pour faire éclater une croûte compacte à faible profondeur. Par contre il est très utile ou même indispensable pour les plantations arborées.

Buttage et billonnage sont des pratiques traditionnelles qui visent à rassembler un fort volume de terre meuble et fertile sur le lieu précis de plantation : du haut de ces monticules les jeunes plantules profitent aussi d'une certaine avance par rapport aux mauvaises herbes et d'un meilleur drainage.

En ce qui concerne l'érosion ces techniques sont dangereuses car elles augmentent la pente du terrain (donc les mouvements de terre) et contribuent à la détérioration de la structure (structure lamellaire dans les zones basses et ralentissement de l'infiltration. Ces inconvénients peuvent être réduits très sérieusement en cloisonnant les buttes et les billons, en les paillant (tout au moins les parties basses) et en orientant les billons perpendiculairement à la pente. Un billonnage cloisonné correctement orienté peut stocker sur un terrain de 2% de pente une pluie de l'ordre de 60 millimètres mais sa capacité baisse rapidement lorsque la pente augmente : une fois les cuvettes remplies, les débordements rejoignent la bordure des parcelles et y provoquent souvent des ravinements.

Une technique traditionnelle couramment observée en pays Sénoufo (Nord Côte d'Ivoire) consiste non seulement à planter diverses cultures successives sur les billons mais aussi du riz de plateau semé à la volée dans les sillons : cette dernière pratique diminue très nettement le ruissellement provenant des zones billonnées.

3.2. Aménagement du terroir en fonction de sa capacité de production.

Exploiter la terre au-delà de sa capacité de production et sans tenir compte des risques d'érosion aboutit à l'anéantissement du capital foncier que représente cette terre mais aussi à toute une série de nuisances sur les terres basses. Il convient donc dans chaque région de définir 3 ou 4 classes de terres dont l'exploitation en culture annuelle est possible moyennant des précautions de plus en plus sérieuses (fonction de la pente et des pluies) et 2 à 4 classes de terres qu'il faut conserver sous végétation permanente. Ces dernières seront soit mises en défens (dans le seul but de protéger les terres cultivées en aval) soit mises en valeur hors du cycle des plantes annuelles (forêt, élevage extensif, verger).

Cet aspect de la conservation du sol est généralement bien connu du public et largement développé dans les manuels. Nous parlerons au paragraphe 43 des classes de pente et ne rappellerons ici que les idées essentielles pour le Bénin qui dispose encore de grandes surfaces peu exploitées et de zones peu peuplées.

3.2.1. Couverture permanente des pentes de plus de 12%.

Sur ces fortes pentes les risques d'érosion sont très élevés. Sauf sur Terres de Barre, les terres sont peu profondes, souvent très pauvres et encombrées de cailloux et de rocher (surtout sur quartzite et granite) leur capacité de production est faible et s'annule très rapidement si on

veille pas à entretenir une couverture permanente (squelettisation du paysage). Toute culture annuelle et tout feu de brousse devraient y être interdits. Le plus sage serait d'en faire des réserves intégrales exploitables éventuellement par une faible charge de bétail (ou de gibier si la surface du massif est suffisante). Si la population est trop dense dans la région pour soustraire cette surface à l'exploitation, il convient d'en favoriser la migration dans de bonnes conditions vers des terres plus propices. En attendant on peut y tolérer un élevage extensif ou y implanter des essences forestières ou fruitières en aménageant de petites terrasses individuelles en pierres sèches.

Sur les Terres de Barre en climat subéquatorial, la végétation se maintient toute l'année et on peut tolérer sur fortes pentes (12 à 30%) des cultures permanentes telles que pâturage, forêts, vergers et cultures arbustives avec plantes de couverture.

3.2.2. L'intensification de la production sur les meilleures terres.

L'utilisation des engrais et des techniques modernes d'agriculture ainsi que la concentration des moyens de production sur les meilleures terres (forte rentabilité) permettrait d'augmenter leur productivité, d'abandonner l'exploitation abusive des terres marginales ou d'y introduire des cultures pérennes.

3.2.3. Organisation à l'échelle du versant des cultures en courbes de niveau.

L'intensification de l'agriculture entraîne nécessairement une augmentation des temps de travaux, des investissements et du coût de production en général, ce qui est incompatible avec une agriculture nomade. Sur les pentes cultivables (jusqu'à 7%) il faut donc organiser des structures permanentes de production par exemple des bandes cultivées en suivant la direction générale des courbes de niveau principales (20 à 50 m. de large) s'appuyant sur un réseau de bandes antiérosives. Cette méthode, encore appelée des bandes d'arrêt, permet de fixer un cadre cadastral à l'intérieur duquel il sera facile d'appliquer les techniques d'intensification de l'exploitation agricole tout en modifiant progressivement la topographie (Roose, Bertrand, 1971 ; Roose, 1975). Ces bandes antiérosives consistent en un tapis graminéen permanent (naturel ou planté) destiné à bloquer en quelques mètres (2 à 6 m.) l'érosion et le ruissellement provenant des cultures. Toute végétation herbacée convient pour recouvrir la bande d'arrêt et en particulier celle de la jachère naturelle mais la présence de légumineuses à enracinement pivotant et des grandes graminées profondément enracinées améliorent l'infiltration. Les plantes qui présentent un épais feutrage de racines et de tiges freineront le mieux le ruissellement. Les arbres par contre protègent peu le sol contre les eaux provenant de l'amont. La bande d'arrêt se comporte à la fois comme une éponge et un peigne : elle provoque l'infiltration des eaux ruisselantes ou tout au moins les freine ce qui amène le dépôt des sédiments grossiers. Il se forme ainsi naturellement une petite terrasse (5 à 10 cm de dépôts par an) très perméable qui, à la longue, transforme le paysage en une succession de champs en pente douce et de ressauts protégés par la végétation herbacée.

Cette méthode a été testée avec succès en parcelle d'érosion et en grandeur réelle en stations de recherche, en culture industrielle et en culture villageoise modernisée. Elle présente de sérieux avantages : faible immobilisation des terres, implantation facile et bon marché sans intervention extérieure lourde, peu d'entretien. La principale

difficulté réside dans le démarquage clair et définitif des bandes d'arrêt enherbées par rapport aux jachères environnantes. Dans les zones arides où l'herbe a du mal à démarrer, et là où on dispose de débris rocheux, l'efficacité de l'aménagement antiérosif sera augmentée en disposant ces blocs en cordons continus dans les bandes d'arrêt (Delwalle, 1973).

En principe plus les risques d'érosion sont forts (plus la pente est forte et le sol sableux et pauvre) et plus les bandes cultivées doivent être étroites, les périodes de culture et les rotations de courte durée.

3.3. Aménagement du réseau routier.

Si les phénomènes d'érosion observables dans les champs sont généralement modestes, il n'en va pas de même sur le réseau routier. En effet, au lieu de construire des routes surélevées par rapport aux champs voisins et de veiller à leur drainage, on se contente généralement de décaper l'horizon humifère ; la route en forme de cuvette draine alors une bonne partie des eaux du versant. Dès lors les rigoles et petites ravines coupent les pistes en divaguant d'un côté à l'autre.

L'idéal consiste à déverser de la latérite et des cailloux sur l'axe de la route qui doit être convexe et de prévoir une évacuation latérale efficace des eaux de ruissellement. Dans les axes secondaires où la circulation est faible, le mieux consiste à laisser l'herbe recouvrir la route et à la rabattre régulièrement comme un gazon ; de toute façon on a avantage à garder une bande de roulement dénudée et chargée en graviers la plus étroite possible.

Dans le cadre d'une exploitation agricole dont les pentes ne dépassent pas 7%, il peut être avantageux de prévoir un axe routier bien protégé le plus court possible, donc suivant à peu près la ligne de plus grande pente recoupant ainsi toutes les bandes cultivées en courbe de niveau : plus la route sera courte et plus il sera facile de la surveiller et de la protéger (gravier et drainage) : les bandes d'arrêt en aval du champ peuvent servir éventuellement d'axe secondaire. Au cas où les risques d'érosion seraient trop grands sur de telles pentes (sol très fragile), le réseau primaire contournera la colline et il lui sera donné une inclinaison à contre pente (avec drainage par tubes).

3.4. Conclusions.

Toute une série d'interventions adaptées aux circonstances écologiques et socio-économiques propres au Bénin ont été proposées qui visent l'intensification de l'exploitation agricole et l'aménagement global du terroir en vue d'améliorer la conservation de l'eau, des sols et de leur fertilité. Les unes sont de nature biologique et s'attachent à développer le couvert végétal avant que n'arrivent les grosses pluies et entretenir le stock des matières organiques du sol à un niveau acceptable.

Les autres sont de nature mécanique et tentent d'augmenter la rugosité du terrain et d'améliorer l'infiltration.

Plus le climat est sec, la saison sèche étendue et la végétation peu abondante et plus il doit être fait appel aux méthodes mécaniques (travail du sol, gros billons isohypses) pour pallier aux déficiences du couvert végétal. En zone tropicale humide par contre les techniques biologiques prennent une importance capitale et le travail du sol pourrait, semble-t-il, être réduit.

Aucune mention n'a été faite des méthodes mécaniques lourdes faisant intervenir des terrassements pour limiter la longueur de la pente et ceci pour trois raisons :

- ces méthodes sont longuement décrites dans tous les manuels (voir liste bibliographique) ;
- il n'est pas prouvé que ces méthodes soient efficaces en région tropicale (voir Agonkamey et Boukombé où l'effet longueur de pente sur l'érosion n'est pas évident) ;
- ces méthodes sont chères et peu adaptées au contexte du Bénin.

Il est indispensable que le paysan et la collectivité villageoise toute entière se sentent concernés par le maintien de la productivité de son terroir. Les services de l'Etat peuvent cependant l'aider puissamment :

- . par des campagnes d'information à l'école, à la radio et au cinéma,
- . en organisant et éventuellement en subventionnant le marché des engrais,
- . en formant des animateurs ruraux capables de réorganiser la distribution des terres exploitables et de piqueter les principales courbes de niveau.

CHAPITRE 4. Répartition géographique des dangers d'érosion au Bénin.

On a vu précédemment que l'érosion dépend de cinq facteurs : l'agressivité climatique, l'érodibilité du sol, la pente, la couverture végétale et les techniques culturales. Dans le cadre du développement de l'agriculture mécanisée ou tractée il nous a paru utile d'analyser même grossièrement leur répartition géographique d'après les données disponibles. De la superposition de ces cartes, sera tirée, ultérieurement, une première esquisse de la répartition des dangers d'érosion sur le territoire du Bénin(1).

4.1. L'agressivité climatique au Bénin.

Considérant que l'indice d'agressivité climatique de Mischmeier tient compte de l'intensité des pluies qui provoque le ruissellement et de leur énergie qui déclenche l'érosion sur les vieilles surfaces de l'Afrique de l'Ouest, on a cherché à caractériser sa répartition mensuelle et la distribution géographique de sa moyenne annuelle. Suite au dépouillement fastidieux de plusieurs milliers de pluviogrammes, Roose (1975) a montré qu'il existe une relation simple entre l'indice annuel moyen (Ram) et la hauteur annuelle moyenne des pluies (Ham) telle que $Ram/Ham = 0,5 \pm 0,05$.

Cette relation s'est avérée valable en une vingtaine de points de l'Afrique de l'Ouest (voir fig.1) recevant de 400 à 2000 millimètres de pluie par an et situés en dehors des zones montagneuses et d'une frange côtière. Elle signifie que les intensités et la hauteur des averses exceptionnelles croissent avec la hauteur annuelle moyenne des pluies. En d'autres termes l'agressivité climatique moyenne est répartie conformément aux isohyètes. C'est sur cette base qu'ont été établies les premières esquisses de répartition de l'indice d'agressivité climatique en Côte d'Ivoire (Roose, 1973) en Haute-Volta (Roose, Arrivets, Poulain, 1974) en Afrique de l'Ouest (Roose, 1975) et tout récemment au Bénin (Aalders, 1976). Cet indice croît de $R = 450$ dans le Nord à $R = 750$ au Sud-Est du Bénin : la majorité du territoire est donc soumise à une forte agressivité voisine de $R = 600$, largement supérieure à celle qu'on observe en région méditerranéenne. Certes, il serait souhaitable d'analyser plus en détail la répartition mensuelle de cet indice et la fréquence des indices exceptionnels, mais cette première esquisse situe déjà assez fidèlement le niveau d'agressivité des pluies et sa répartition assez homogène au Bénin.

4.2. L'érodibilité du sol.

On dispose de la carte géologique et des cartes pédologiques au 1/200.000 exécutées par l'ORSTOM et réduites au 1/2.500.000 par la F.A.O. (F.A.O., 1975) : cette dernière carte montre la répartition de cinq classes de sols.

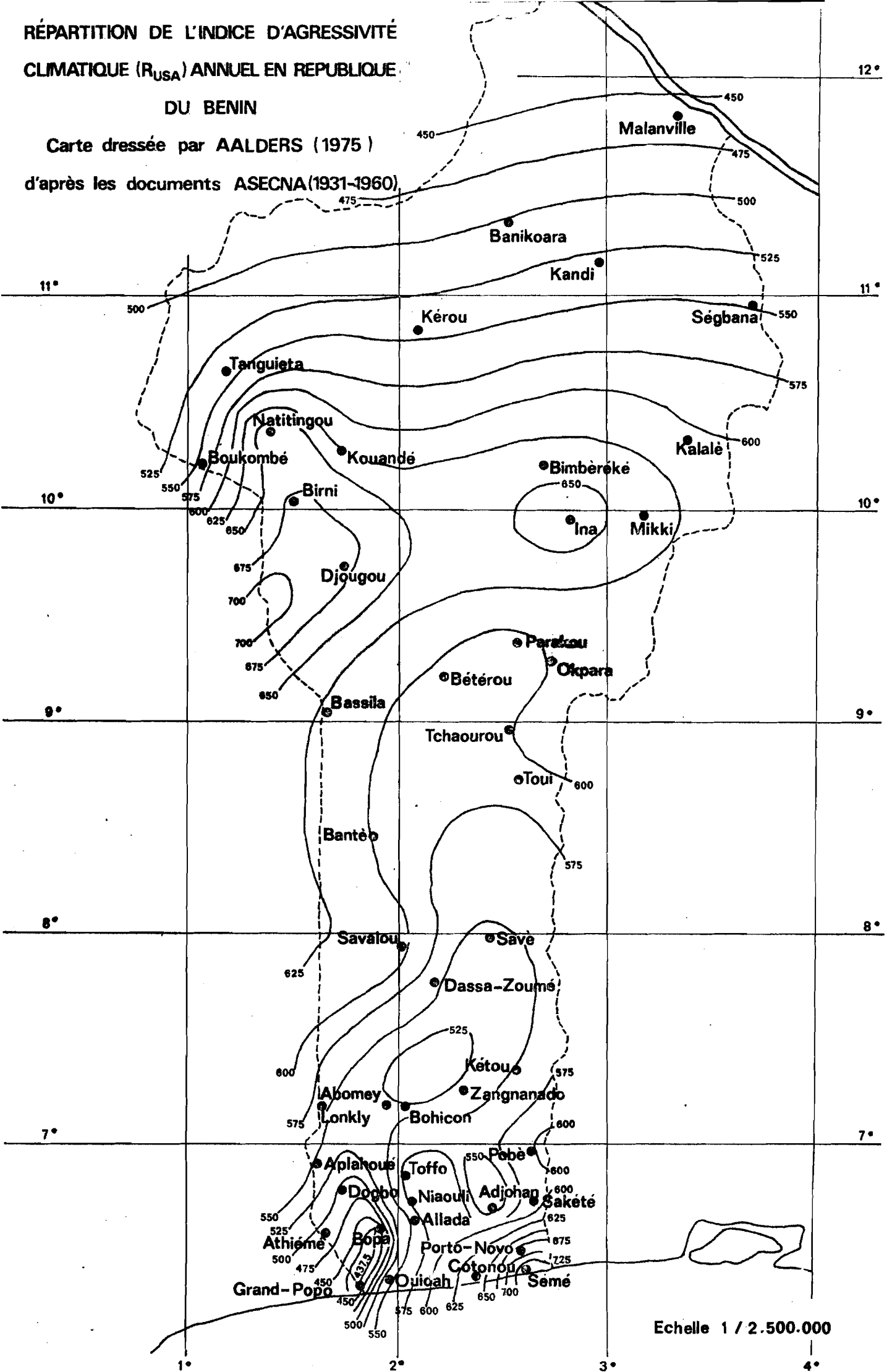
Malheureusement en Afrique, les rares résultats de mesure sur le terrain de l'érodibilité des sols ne s'adressent qu'à des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux ; par ailleurs ils montrent une forte variabilité de l'érodibilité des sols à l'intérieur d'une même classe en fonction du taux de limons et sables fins (dépend de la roche mère), du taux de matières organiques (dépend du niveau d'exploitation des terres) et des particules grossières en surface (gravillons, graviers et débris de roches). Ces caractéristiques de l'horizon

(1) Les esquisses qui sont présentées dans ce chapitre ont été fournies par M. Aalders, expert associé de la FAO lors de ma tournée au Bénin en novembre 1975. Une mise au point et une synthèse de ces esquisses est prévue pour plus tard.

RÉPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITÉ
CLIMATIQUE (R_{USA}) ANNUEL EN REPUBLIQUE
DU BENIN

Carte dressée par AALDERS (1975)

d'après les documents ASECNA(1931-1960)



Echelle 1 / 2.500.000

12°

12°

SCHEMA GEOLOGIQUE DE LA REP. DU BENIN

ECHELLE : 1 / 2 500 000^e

11°

11°

10°

10°

9°

9°

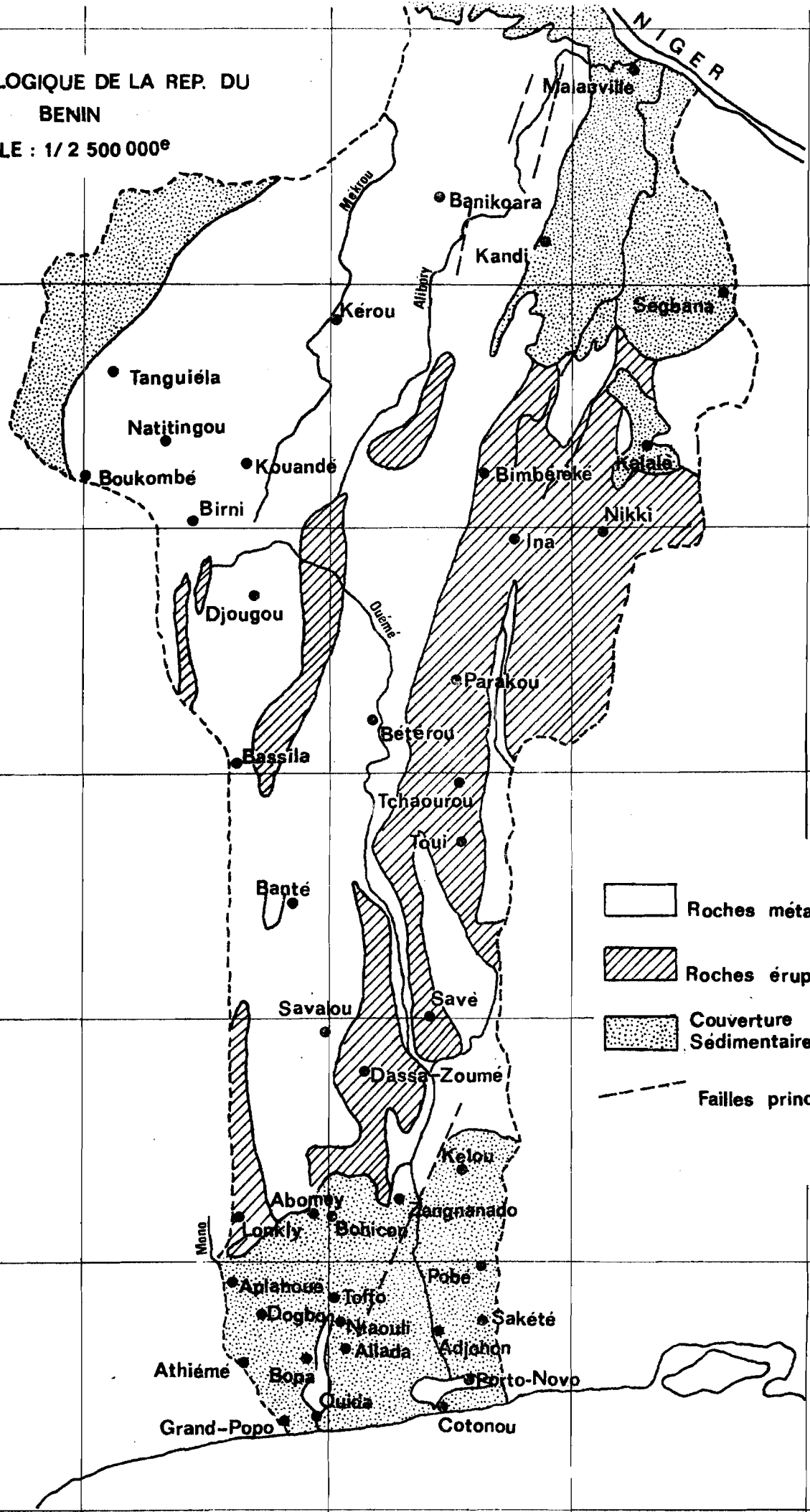
8°

7°

7°

6°

6°



- Roches métamorphiques
- Roches éruptives
- Couverture Sédimentaire
- Failles principales

1°

2°

3°

4°

Malaville

Banikoara

Kandi

Segbana

Tanguiéla

Natitingou

Boukombé

Kouandé

Birni

Bimbéreké

Kalale

Nikki

Djougou

Parakou

Bassila

Bétérou

Tchaourou

Touï

Banté

Savalou

Save

Dassa-Zoumé

Keiou

Abomey

Zangnanado

Mono

Lokly

Boticou

Pobe

Aplahoué

Tofo

Sakété

Dogbo

Naouli

Adjohon

Athiémé

Bopa

Porto-Novo

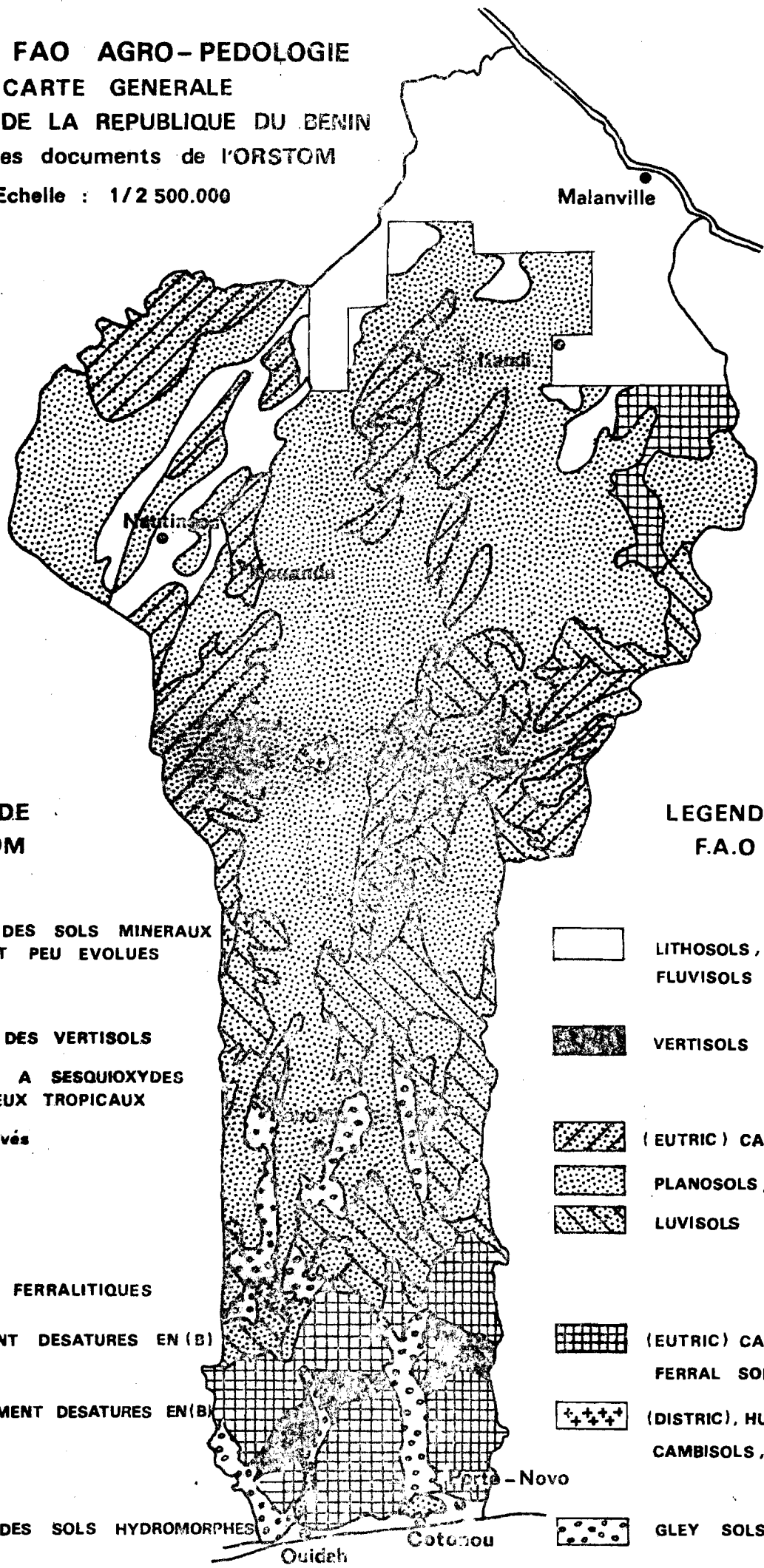
Ouida

Grand-Popo









Cotonou

PROJET FAO AGRO-PÉDOLOGIE
CARTE GÉNÉRALE
DES SOLS DE LA RÉPUBLIQUE DU BÉNIN
 D'après les documents de l'ORSTOM
 Echelle : 1/2 500.000

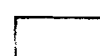





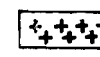
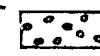
2°
1°
0°
-1°
-2°
-3°
-4°
-5°
-6°
-7°



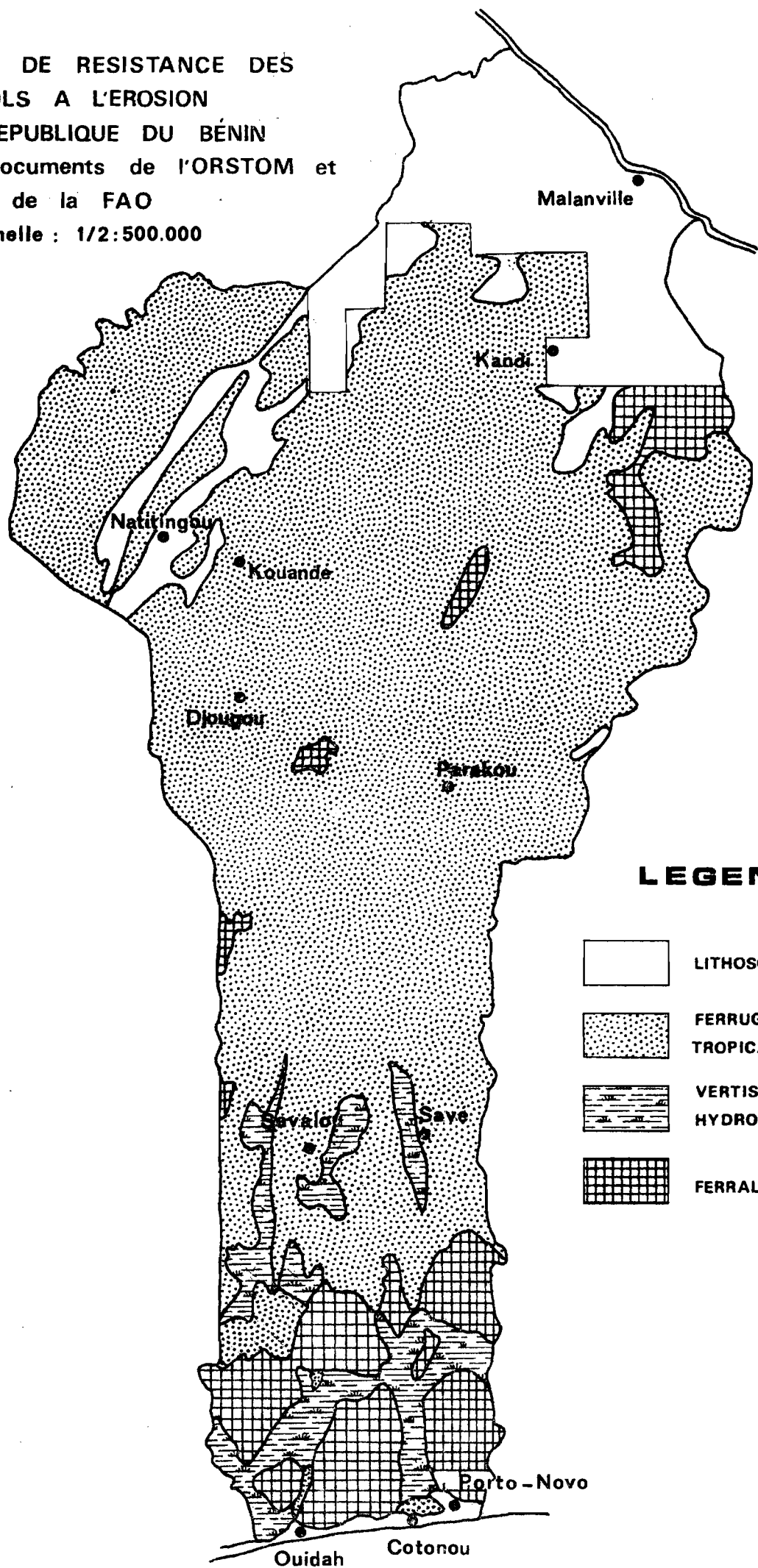
LEGENDE ORSTOM

-  CLASSE DES SOLS MINÉRAUX BRUTS ET PEU ÉVOLUÉS
-  CLASSE DES VERTISOLS
- CLASSE DES SOLS À SESQUIOXYDES FERRUGINEUX TROPICAUX**
 -  Peu lessivés
 -  Lessivés
 -  Appauvris
- CLASSE DES SOLS FERRALITIQUES**
 -  FAIBLEMENT DESATURÉS EN (B)
 -  MOYENNEMENT DESATURÉS EN (B)
 -  CLASSE DES SOLS HYDROMORPHES

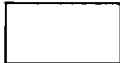

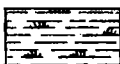

LEGENDE F.A.O

-  LITHOSOLS, REGOSOLS
FLUVISOLS
-  VERTISOLS
-  (EUTRIC) CAMBISOLS
-  PLANOSOLS, LUVISOLS
-  LUVISOLS
-  (EUTRIC) CAMBISOLS
FERRAL SOLS
-  (DISTRIC), HUMIC
CAMBISOLS, FERRAL SOLS
-  GLEY SOLS

CLASSES DE RESISTANCE DES
SOLS A L'EROSION
EN REPUBLIQUE DU BENIN
D'après les documents de l'ORSTOM et
de la FAO
Echelle : 1/2:500.000



LEGENDE

-  LITHOSOLS
-  FERRUGINEUX TROPICAUX
-  VERTISOLS + HYDROMORPHES
-  FERRALLITIQUES

labourable ne paraissent dans la classification qu'au niveau de la série : il est donc très délicat de donner une valeur d'érodibilité des sols d'après leur classe pédologique (Arnoldus, 1975).

- Les sols ferrallitiques sont sûrement les plus résistants surtout s'ils sont gravillonnaires.

- Les sols minéraux bruts, lithosoliques ou bien sont déjà totalement érodés et n'offrent plus aux pluies que des cailloux très résistants à l'érosion ou bien sont encore recouverts d'une mince couche de terre arable qu'il faut absolument protéger contre l'érosion de peur de les stériliser pour des siècles. Il faut donc en faire un groupe à part.

- Nous manquons de données pour les vertisols qui sont considérés en Israël comme très résistants à l'érosion en nappe mais qui sont peu perméables et sensibles à l'érosion en ravine.

- Il en va probablement de même des sols hydromorphes argileux : vertisols et hydromorphes pourraient être rangés dans un même groupe car ils ont une même position topographique et des pentes faibles.

- Les sols ferrugineux tropicaux surtout s'ils sont lessivés ou appauvris et plus ou moins surexploités sont assez sensibles à l'érosion en nappe et demandent des précautions particulières pour améliorer leur structure en surface et éviter la battance des pluies.

On pourrait donc prévoir quatre groupes :

1. les sols ferrallitiques assez résistants,
2. les sols ferrugineux tropicaux assez sensibles à l'érosion en nappe,
3. les sols minéraux bruts lithosols ou régosols à laisser sous une protection permanente (de même que les sols fortement gravillonnaires ou cuirassés à faible profondeur),
4. les hydromorphes et vertisols situés sur des pentes très faibles, concernés par le ruissellement et l'érosion en ravine.

4.3. La pente du terrain.

C'est l'un des facteurs les plus importants à considérer dans le choix des zones qui vont servir de pôles de développement de l'agriculture moderne surtout si elle est mécanisée (les fermes provinciales par ex.). En effet s'il est toujours possible de modifier la topographie et de diminuer la longueur des pentes, cela exige du temps et des moyens financiers. Cela entraîne généralement des pertes de surface et nécessite tout au long de l'exploitation une surveillance particulière et des techniques de conservation du sol bien adaptées.

La pente intervient donc directement dans la notion de capacité de production des terres (land capability) mais ce facteur n'est pas indépendant du sol, du climat et surtout des techniques culturales.

Dans les conditions du Bénin nous distinguons 5 classes de pentes :

- 1). de 0 à 2 % : il n'est pas indispensable de prévoir des méthodes conservatrices particulières à condition qu'on utilise des techniques culturales adaptées à la zone. Il est cependant conseillé d'orienter les champs perpendiculairement à la ligne de plus grande pente et de prévoir des voies d'évacuation des excès d'eau.
- 2). de 2 à 4% : la culture intensive mécanisée est possible sur tous les sols suffisamment profonds à condition d'orienter les champs perpendiculairement à la pente et d'utiliser des techniques culturales conservatrices bien adaptées.

- 3). de 4 à 7 % : culture mécanisée possible uniquement sur sols profonds et résistants à l'érosion (pas sur les sols ferrugineux tropicaux). Nécessité de limiter la largeur des bandes cultivées en courbes de niveau à 20-30 mètres et de prévoir des bandes d'arrêt enherbées pour diminuer petit à petit la pente.
- 4). de 7 à 12 % : culture traditionnelle exclusivement dispersée dans le temps et dans l'espace et limitée seulement aux sols riches et profonds. Nécessité de protéger le sol par des apports de résidus végétaux (paillage).
- 5). au delà de 12% : buttes témoins, inselberg, falaises ou collines rocheuses très limitées dans l'espace et qu'il faut protéger de toute culture annuelle. Si on ne peut les protéger intégralement, il faut y prévoir une végétation permanente : forêt, pâturage ou verger.

4.4. La couverture végétale.

On a fait remarquer au chapitre 2 que tant que la couverture végétale est dense, qu'elle soit forestière plus ou moins dégradée ou savanicole, les phénomènes d'érosion sont négligeables. Mais lorsque la population augmente dans une zone, les jachères sont de plus en plus brèves et les champs sont cultivés de plus en plus longtemps et finissent par couvrir la totalité du paysage. Il s'en suit une baisse de la fertilité du sol en absence de fumure minérale et une diminution de la couverture végétale aussi bien en période de repos que de culture.

Nous appuyant sur la carte de densité de la population dressée par nous distinguerons trois classes de densité de la couverture végétale :

- Classe 1. zone bien couverte : en milieu traditionnel, les populations sont dispersées et les champs occupent moins de 20% de la surface : les dangers d'érosion sont faibles.
- Classe 2. zone moyennement couverte : autour des principales villes toutes les terres cultivables sont utilisées et les champs occupent près de 50% de la surface. Les jachères durent rarement plus de 3 ou 4 ans mais maintiennent un certain niveau de boisement et de masse végétale. L'érosion ne se manifeste que lors des averses exceptionnelles.
- Classe 3. zone faiblement couverte : plus de 80% de la surface est sous culture quasi permanente. En zone savanicole, les arbres ont disparu. Il se pose avec acuité des problèmes de conservation de la fertilité des sols sinon de la conservation des sols eux-mêmes.

Heureusement la classe 3 n'occupe qu'une faible étendue dans le Sud autour de Porto-Novo, Cotonou, Ouidah, Abomey et dans le Nord autour de Djougou et Boukombé. A part les zones voisinant les agglomérations importantes tout le reste du territoire est bien couvert par la végétation car la population est peu dense.

4.5. Signification de l'esquisse des dangers d'érosion.

Cette esquisse bien que très grossière, devrait situer les zones où actuellement les manifestations de l'érosion sont observables. Ce sont les massifs montagneux, les zones à population dense où les sols sont surexploités ou les pentes un peu fortes : cela apparait d'autant plus vite que les sols sont sensibles à l'érosion c'est-à-dire sur des sols ferrugineux tropicaux. Heureusement ces zones érodées ne sont pas encore très étendues au Bénin.

1°

2°

3°

4°

12°

11°

10°

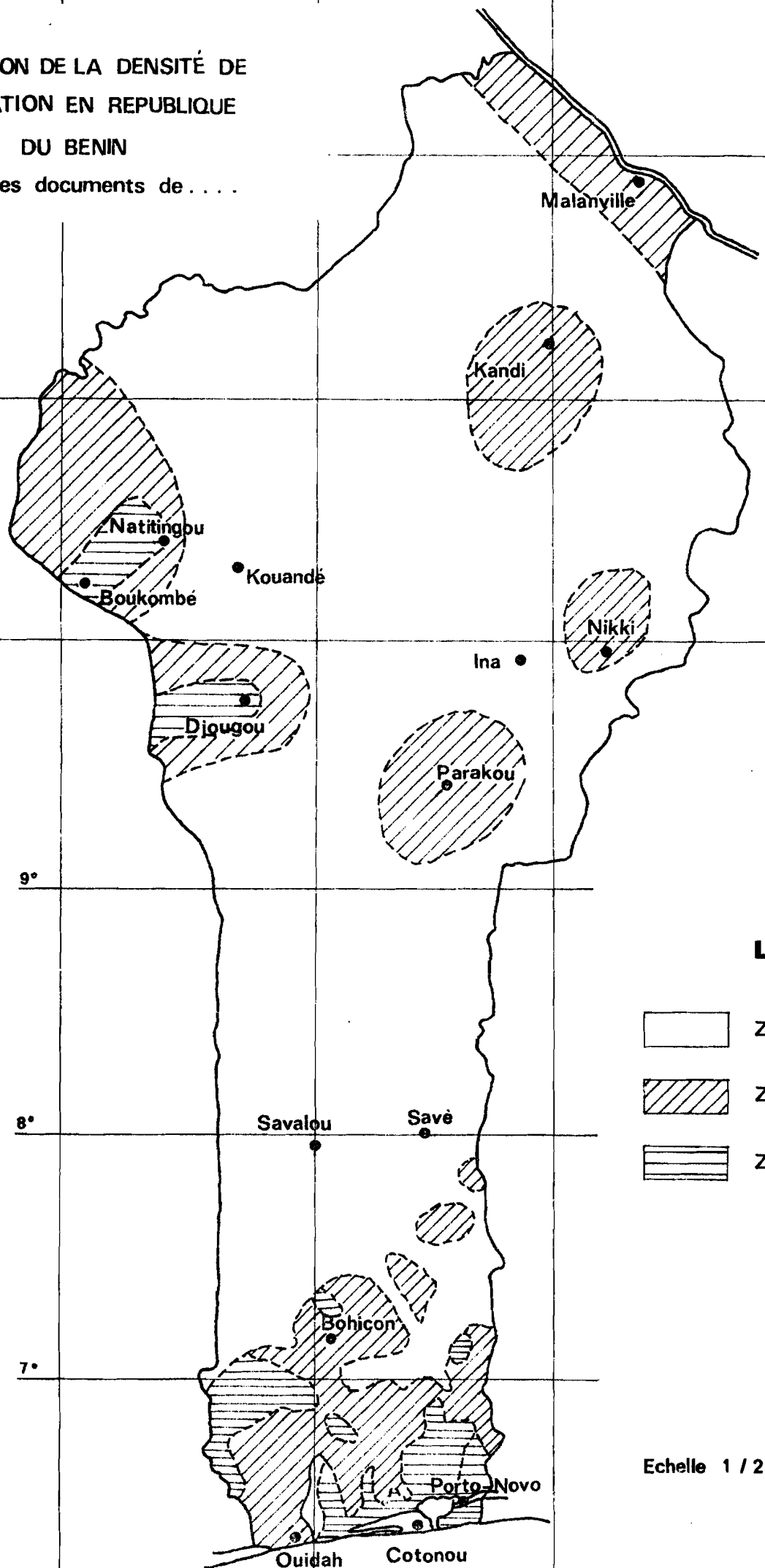
9°

8°



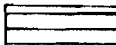
7°

RÉPARTITION DE LA DENSITÉ DE
POPULATION EN REPUBLIQUE
DU BENIN

D'après les documents de



LEGENDE

-  Zone peu dense
-  Zone assez dense
-  Zone très dense

Echelle 1 / 2.500.000

Cette esquisse devra avertir aussi des risques d'érosion pour demain lorsque, la population croissant, il faudra faire face à l'augmentation des besoins en nourriture des populations urbanisées et produire des matières premières pour l'exportation.

Enfin on passe à une agriculture intensive sur de grandes surfaces il est fatalement nécessaire de mécaniser et dans ce cas il n'est pas toujours possible d'effectuer en temps voulu les pratiques culturales qui s'imposent. Cette esquisse peut attirer l'attention des planificateurs sur le problème de l'aménagement de ces fermes pilotes et des techniques conservatoires indispensables à prévoir pour faire face aux dangers d'érosion et maintenir un haut niveau de productivité.

CHAPITRE 5. Résumé et conclusions générales.

Maintenant que l'on dispose de vingt années d'études expérimentales des phénomènes d'érosion en Afrique de l'Ouest et qu'il est question d'intensifier sinon de mécaniser l'exploitation agricole pour nourrir les populations citadines et pour exporter des matières premières, il paraît utile de faire le point des recherches sur les problèmes de conservation de l'eau, du sol et de sa fertilité.

Les essais de Boukombé montrent que dans une zone dense du Nord Bénin l'agressivité climatique est relativement modérée, le sol gravillonnaire est très résistant, l'érosion est faible sur ce type de sol mais sélective vis-à-vis de la terre fine. Le ruissellement est limité à de courts épisodes de l'année mais peut atteindre 70% lors de certaines averses intenses ; ces pertes d'eau sont intolérables dans ces zones soudanaises sèches. Le travail du sol, l'amélioration du couvert végétal et une politique de conservation des matières organiques devraient favoriser l'infiltration et l'augmentation des rendements.

A Agonkamey dans le Sud, les pluies sont bien plus agressives. Sous végétation naturelle dense, les phénomènes d'érosion sont négligeables mais sous cultures sarclées les transports solides peuvent être alarmants (85 t/ha/an) si les techniques culturales ne sont pas bien adaptées et le couvert du sol pas suffisant avant la période des fortes pluies.

Si on replace ces résultats régionaux dans le cadre plus vaste de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier, on peut évaluer l'influence relative des différents facteurs modifiant l'érosion, leur répartition géographique et en conclure les techniques conservatrices à mettre en oeuvre. L'indice climatique (varie de 450 à 750) est réparti de façon assez homogène au Bénin et montre que les averses sont assez violentes, plus agressives qu'en zone méditerranéenne. L'érodibilité des sols ($K = 0,01$ à $0,30$) est faible à moyenne ; les sols ferrugineux sont nettement plus sensibles que les sols ferrallitiques. L'indice topographique varie considérablement ($0,1$ à $2,5$). Le couvert végétal est de loin le facteur dominant (var. 1 à $0,001$) ; si le sol est couvert, l'érosion est médiocre quelles que soient l'agressivité climatique, la pente et la sensibilité du sol.

Le travail du sol et les pratiques antiérosives classiques peuvent pallier temporairement aux insuffisances du couvert végétal surtout en zone sèche (var. 1 à $0,1$).

Aux situations écologiques et socio-économiques des différentes régions du Bénin correspondent des méthodes adaptées pour résoudre les problèmes de conservation de l'eau, du sol et de sa fertilité.

Le Bénin a la chance de connaître encore aujourd'hui des conditions relativement peu propices à l'érosion. En général les pentes sont faibles, les populations peu denses et les pluies, assez agressives, assurent par ailleurs la croissance d'une couverture végétale abondante. Il existe cependant localement des zones où les populations s'agglomèrent les jachères disparaissent et les sols s'épuisent : c'est là que les problèmes de conservation du sol se précisent. Il faudra également tenir compte de l'érosion dans les projets d'exploitation agricole mécanisée sur de grandes surfaces.

Il y a dix ans, on ne proposait pour lutter contre l'érosion que deux alternatives soit des terrassements exigeant des interventions extérieures très lourdes, soit des mises en défens supprimant la production. On dispose aujourd'hui de toute une gamme de techniques simples faisant intervenir les lois de la nature pour lutter contre

l'énergie des pluies. Elles visent le respect de la vocation et de la capacité de production de chaque terroir et l'intensification de l'exploitation des meilleures terres grâce à l'adaptation aux conditions tropicales des techniques culturales. Elles se traduisent sur le terrain par l'aménagement global des versants, l'extension du couvert végétal, une politique de conservation des matières organiques et l'augmentation de la rugosité et de la perméabilité du sol.

Depuis peu la conservation du sol et la productivité du terroir vont de paire (Hudson, 1973).

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE SUR LES PROBLEMES D'EROSION AU BENIN

1. AALDERS (H.W.), 1975 - "Projet FAO/PNUD d'étude de l'érosion à Agonkamey, Dahomey".
Rép. Dahomey, Minist. Dev. Rural et Action Coopérative
6p. multigr.
(Coll. conservation et aménagement du sol dans les tropiques humides ; IITA, Ibadan du 30.6 au 4.7.75).
2. BRUNET-MORET (Y.), 1967 - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du Dahomey.
ORSTOM, Serv. Hydrol., Paris 10p., multigr., 2 tabl.,
10 fig.
3. BRUNET-MORET (Y.), 1973 - Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965. République du Dahomey.
CIEH, Secr. Etat aux Aff. Etr. Chargé de la Coop., ORSTOM,
Serv. Hydrol., Paris, 522p., imprimées.
4. CAMUS (H.), COLOMBANI (J.), TOURNE (M.), 1967 - Annuaire hydrologique du Dahomey. - Années 1961 à 1965.
ORSTOM, Cotonou, 131p., multigr., 39 fig.
5. COLOMBANI (J.), FAUCK (R.), 1960 - Etudes hydro-pédologiques du bassin versant de Boukombé.
Rapport provisoire - Secteur Conservation des Sols n° 11.
ORSTOM, Dahomey, 62p., multigr.
6. COLOMBANI (J.), 1967 - Premiers résultats des mesures de qualité des eaux au Togo et au Dahomey.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., 4, 2, pp. 3-25.
7. KOGBLEVI (A.), 1975 - Le rôle antiérosif du paillage (mulching) et de la microflore du sol dans l'amélioration de la structure.
Min. Dev. Rural Dahomey, Projet FAO/PNUD, 5p. multigr.
8. MAIGNIEN (R.), 1959 - Etude de quelques bassins versants en vue de définir un programme de conservation et de restauration des sols.
(Soudan - Haute-Volta - Dahomey).
Rapport ORSTOM, Centre Hann-Dakar, 72pp., multigr.
9. MAIGNIEN (R.), FAUCK (R.), 1960 - Mission d'étude au Dahomey.
Rapport de Pédologie n° 2.
Rapport ORSTOM, Cotonou, 34p., multigr.
10. ROOSE (E.J.), 1975 - Consultation sur les problèmes de conservation du sol et de l'eau après du projet d'Agro-pédologie de la FAO au Dahomey.
Rapport de la mission ROOSE du 21.10 au 5.11.75.
ORSTOM, Abidjan, 6p. dactyl.
11. THIEBAUX (J.), 1972 - Recueil des généralités sur l'hydrologie et la climatologie du Dahomey.
ORSTOM, Cotonou, 63p., multigr.
12. VERNEY (R.), WILLAIME (P.), 1965 - Résultats des études de l'érosion sur parcelles expérimentales entreprises au Dahomey.
Communication. Col. Conservation et Amélioration de la fertilité des sols ; Karthoum 1965.
OUA/STRC publ. n° 98, pp. 43-53.

13. 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, 14p. + Annexe 20p., 5 tabl.
14. 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, 18p. + Annexe 17p., 7 tabl.
15. VERNEY (R.), VOLKOFF (B.), 1968 - Etude de l'érosion sur "Terres de Barre" - Erosion sous culture de maïs : maïs avec fumure minérale - Année 1967.
Rapport multigr., ORSTOM, 21p., nb tabl. + annexe 22p.
16. VERNEY (R.), VOLKOFF (B.), 1969 - "Etude de l'érosion sur "Terres de Barre" - Erosion sous culture d'arachide". - Année 1968.
Rapport ORSTOM, multigr., 17p. + Annexe 35p.,nb tabl.
17. VERNEY (R.), VIENNOT (M.), GBAGUIDI (C.), 1970 - Etude de l'érosion sur "Terres de Barre" - Erosion sous culture de maïs et coton avec fumure minérale. (Année 1969).
Cotonou, ORSTOM, 1969, 25p., multigr., tabl. + Annexe.
18. WILLAIME (P.), 1962 - Etudes pédologiques de Boukombé.
ORSTOM, Mission Dahomey, 76p., multigr., + Annexes.
19. WILLAIME (P.), 1965 - Erosion "normale" sur Terres de Barre.
Rapport ORSTOM, multigr., 7p. + Annexe 9p.

LITTÉRATURE CITEE ET MANUELS DE CONSERVATION DES SOLS

1. ARNOLDUS (H.M.J.), 1975 - Soil type and erosion hazard.
I.I.T.A., Ibadan, 10p., multigr.
(Communication au Colloque sur la Conservation et l'Aménagement du Sol dans les Tropiques Humides, 30 juin - 4 juillet 1975, Ibadan).
2. BENNET (H.H.), 1939 - "Elements of soil conservation".
2è éd. New-York, Mac Graw-Hill.
3. BLIC (P. de), 1975 - Comportement des sols après mise en culture mécanisée. Région Centre Côte d'Ivoire.
ORSTOM, Abidjan, 27p., multigr. + 21p. Annexe:
4. 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, 54p., 10 tabl., 33 réf.
5. DELWAULLE (J.C.), 1973 - Résultats de six années d'observations sur l'érosion au Niger.
Bois et Forêts des Tropiques, 150, pp. 15-37.
6. DUMAS (J.), 1965 - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, 4, pp. 307-333.
7. DUMONT (R.), 1973 - Expérimentation sur les jachères et les cultures fourragères dans le Nord du Dahomey.
Premières conclusions.
Note technique n° 30, IRAT-Cotonou, 23p., multigr. + Annexes.
8. F.A.O., 1967 - "La défense des terres cultivées contre l'érosion hydrique".
Collection FAO, Progrès et mise en valeur, Agriculture n° 81, Rome 1967, 202p., 114 fig., 13 tabl., nombreuses réf.
9. FOURNIER (F.), 1960 "Climat et érosion".
Presses Universitaires de France, Paris, 201p.
10. FOURNIER (F.), 1962 - Carte du danger d'érosion en Afrique au Sud du Sahara fondée sur l'agressivité climatique et la topographie.
- Notice explicative -
CEE-CCTA, Paris, avril 1962, 11p.
11. FOURNIER (F.), 1967 - "La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain".
Sols Africains, 12, 1, p. 5-53.
12. GOUJON (P.), BAILLY (C.), 1974 - Aménagements antiérosifs et économie de l'eau.
Communication aux XIII Journées de l'Hydraulique : Paris octobre 1974 : question 3, rapport 11, 7p.
13. 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, 12p.

14. HUDSON (N.W.), 1973 - Soil Conservation.
B.T. Batsford limited London 320p.
15. LAL (R.), 1975 - Role of mulching techniques in tropical soil and water management.
Technical Bull. n° 1, I.I.T.A., Ibadan, 38p.
16. LE BUANEC (B.), 1972 - Dix ans de culture motorisée sur un bassin versant du Centre Côte d'Ivoire.
Evolution de la fertilité et de la production.
Agron. Trop., 27, 11, pp. 1191 à 1211.
17. LE BUANEC (B.), 1973 - Difficultés de l'élaboration du "Conseil de fumure" dans les pays en voie de développement d'Afrique de l'Ouest.
Méthode adoptée par la recherche et la vulgarisation en Côte d'Ivoire.
A.D.R.A.O./5/73/15. Communication au Séminaire sur la fertilité des sols et l'utilisation des engrais : 22-27 janvier 1973.
IRAT/CI, 12p., 25 réf., multigr.
18. NICOU (R.), 1972 - "Synthèse des études de physique du sol réalisées par l'IRAT en Afrique Tropicale Sèche".
Communication au Séminaire sur les Sols Tropicaux, Ibadan, 22-26 mai 1972, 19p., tabl.
19. ROOSE (E.J.), 1967 - Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal.
Agron. Trop., 22, 2, pp. 123-152.
20. 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, 22p., 2 tabl., 2 fig., 25 réf.
21. ROOSE (E.J.), 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.
22. ROOSE (E.J.), 1972 - "Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne".
Communication aux Journées d'Etude du Génie Rural à Florence du 12-16.9.72, pp. 417-441.
23. ROOSE (E.J.), 1973 - 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.
ORSTOM, Abidjan, 125p., multigr., Thèse Doct. Ing., Fac. Sci., Abidjan, 1973, n° 20.
24. ROOSE (E.J.), 1974 - Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs.
In XIII Journées de l'Hydraulique, question 3, rapport 10, 6 p.

25. ROOSE (E.J.), ARRIVETS (J.) et POULAIN (J.F.), 1974 - Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre Haute-Volta. Bilan de trois années d'observation à la station de Saria. Rapport ORSTOM/Abidjan - IRAT/H.V., 83p., multigr., nbr. fig., tabl., 29 réf.
26. ROOSE (E.J.), 1974 - Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zone sahélienne. Rapport ORSTOM, Abidjan, 18p., multigr.
27. ROOSE (E.J.), 1975 - Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. ORSTOM, Abidjan, 22p., multigr., 7 tabl., bibliogr., 1 carte.
(Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin-4 juillet 1975).
28. ROOSE (E.J.), 1975 - Quelques techniques antiérosives appropriées aux régions tropicales. ORSTOM, Abidjan - 7p., multigr.
(Colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides, Ibadan, 30 juin-4 juillet 1975).
29. ROOSE (E.J.), 1975 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM, Abidjan, 72p., multigr., 8 fig., 32 tabl., 91 réf.
30. STALLING (J.H.), 1953 - "Continuous plant cover - the key to soil and water conservation".
J. Soil and Water Cons., 8, pp. 63-68.
31. STALLING (J.H.), 1957 - "Soil conservation".
Prentice-Hall, New-York, 575p.
32. THEVIN, 1975 - Restitutions organiques sur Terres de Barre. Station de Aplahoué dans le Mono (Dahomey).
Note IRAT/dahomey, 3p., dactyl.
33. 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, p.
34. WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), 1960 - A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th Intern. Congr. Soil Science, vol. I, p. 418-425.
35. WISCHMEIER (W.H.), JOHNSON (C.B.), CROSS (B.V.), 1971 - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. of Soil and Water Conservation, 26, 5, p. 189-192.
36. ZINGG (A.W.), 1940 - "Degree and length of land slope as it affect soil loss and runoff".
Ag. Eng., 21, pp. 59-64.