

REPUBLIQUE DU SENEGAL



GC.0644

Ecole Polytechnique de Thies

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION
EN GENIE CIVIL

TITRE: CONSERVATION DES SOLS CONTRE L'EROSION
HYDRIQUE A SEBIKOTANE

AUTEUR : Alioune BA

DIRECTEUR : Dr. Gerard A. R. SOUMA
E.P.T

CO-DIRECTEUR : Dr. Jean Marie DIOP

JUIN 89

I.N.D.R

A MON PERE ET MA MERE QUI ONT
BEAUCOUP FAIT POUR LA REUSSITE
DE LEURS ENFANTS MALGRE LEURS
MOYENS ASSEZ LIMITES

A MES FRERES ET SOEURS QUI M'AIMENT
TANT QUI M'ONT VRAIMENT AIDE DANS MES
ETUDES

A TOUS MES AMIS ET COLLABORATEURS
A QUI JE DOIS DES HOMMAGES ET DES
REMERCIEMENTS

JE DEDIE CES LIGNES

REMERCIEMENTS

J'exprime du fond du coeur ma plus grande reconnaissance à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont soutenu durant la réalisation de ce mémoire.

J'exprime ma reconnaissance et mes remerciements à mon directeur de projet **GERARD ANDRE ROBERT SOUMA** qui m'a bien épaulé pour la réussite du projet même si cela fut écourté par son voyage de deux mois en Suisse.

Je remercie très vivement mon co-directeur **JEAN MARIE DIOP** qui a bien accepté de parrainer ce projet. Il a en effet accepté avec beaucoup de générosité de m'aider, de m'apporter son soutien et il l'a bien fait. Sans lui, le projet ne serait sans doute pas arrivé là où il est maintenant. Je lui présente mes plus sincères remerciements.

J'adresse aussi mes hommages à **THIAM NGINGUE** de Sébikotane qui nous a beaucoup aidés. A chaque fois que nous allions à Sébikotane nous étions les bienvenus chez lui. Mieux encore, il abandonnait toujours ce qu'il faisait pour nous aider sur le terrain.

Mes plus vifs remerciements vont à **AMADOU SARR** qui assurait l'intérim de **GERARD** absent pour la Suisse. Ses remarques pertinentes ont sans nul doute orienté nos travaux vers de meilleures bases.

J'adresse respectueusement mes remerciements à **ANTOINE DIOCKEL THIAW**, de la direction de l'Hydraulique rurale, du Ministère de l'Hydraulique, pour toute la documentation qu'il a mise à ma disposition depuis le début, jusqu'à la fin du projet.

Enfin je remercie tous ceux que je n'ai pas cités et qui m'ont aidés dans ce projet. Je ne les ai pas oubliés; je leur présente mes hommages les plus sincères.

SOMMAIRE

Pour atteindre notre objectif qui est de proposer des méthodes pour combattre l'érosion hydrique, une connaissance du milieu rural de Sébikotane est entreprise afin de mieux connaître les différentes activités et potentialités de la communauté rurale (C.R). L'étude des différentes causes de l'érosion hydrique suit et permet de maîtriser les facteurs accélérateurs du processus d'érosion. Après l'étude des causes, nous passons en revue l'hydrologie et la pluviométrie au chapitre 2. La pluviométrie, la climatologie et l'hydrologie ont une incidence certaine sur l'érosion. Une étude géomorphologique offre une connaissance des types de formations géologiques ainsi que des reliefs dans la zone. Le relief et ces variations constituent des facteurs déterminants sur l'érosion car celle-ci varie de façon exponentielle avec la pente. Au chapitre 4 l'étude pédologique nous renseigne sur les propriétés physico-chimiques des groupes de sols.

Le chapitre 5 donne les résultats d'analyses granulométriques et pédologiques des sols dans certains endroits du bassin versant. Au chapitre 6, nous faisons d'abord un zonage du bassin versant suivant les critères topographiques et pédologiques ensuite nous faisons l'estimation de l'érosion par la formule de l'équation universelle de Wislmeier. Le chapitre 7 est réservé aux techniques de lutte antiérosive retenues et au prédimensionnement du réseau de défense mécanique choisi à cet effet. Le chapitre 8 est destiné à l'étude des coûts du réseau mécanique et le chapitre 9 consiste en une enquête culturelle suivie de son dépouillement. Enfin pour terminer des conclusions et des recommandations sont élaborées.

TABLE DES MATIERES

<u>MATIERE:</u>	<u>PAGE:</u>
Remerciements	i .
Sommaire	ii .
Table des matières	iii .
Liste des figures et notations	vi .
Introduction	01 .
<u>CHAPITRE 0</u>	03 .
DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT	03 .
<u>CHAPITRE I</u>	07 .
LES CAUSES DE L'EROSION HYDRIQUE	07 .
1-1: Les risques climatiques	07 .
1-2: Les risques pédologiques	11 .
1-3: Les causes anthropiques	16 .
1-4: Les causes topographiques	16 .
<u>CHAPITRE II</u>	21 .
ETUDES HYDROLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES DU BASSIN	21 .
<u>CHAPITRE III</u>	21 .
ETUDES GEOMORFOLOGIQUES DU BASSIN	21 .
<u>CHAPITRE IV</u>	21 .
ETUDES PEDOLOGIQUES DU BASSIN	21 .
<u>CHAPITRE V</u>	21 .
ANALYSES DE SOLS	21 .
<u>CHAPITRE VI</u>	22 .
ESTIMATION DE L'EROSION	22 .
6-1: Zonage et analyse des facteurs pertinents	22 .
6-2: Les effets de l'érosion hydrique	26 .
6-2-1: les effets mécaniques	27 .

6-2-2: les effets chimiques de l'érosion	29 .
6-3: Estimation de l'érosion hydrique	29 .
<u>CHAPITRE VII</u>	41 .
LES TECHNIQUES ANTIEROSIVES	41 .
7-1: Les procédés biologiques	41 .
7-2: Les procédés culturaux	46 .
7-2-1: le labour à plat en courbe de niveau	46 .
7-2-2: la culture en billons	47 .
7-3: Les procédés mécaniques	49 .
7-3-1: Présentation des divers procédés mécaniques	49 .
7-3-2: Choix d'un réseau mécanique	55 .
7-4: La correction des ravins	58 .
7-5: Les chemins d'eau enherbés	59 .
7-6: Le prédimensionnement des ouvrages mécaniques.....	62 .
<u>CHAPITRE VIII</u>	70 .
ETUDES DU COUT DU RESEAU MECANIQUE	70 .
<u>CHAPITRE IX</u>	73 .
ENQUETES ET EXPLOITATION	73 .
<u>CHAPITRE X</u>	75 .
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	75 .
<u>ANNEE I:</u>	A I-01 .
PRESENTATION DU PROJET ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL	A I-01 .
I. Présentation du projet	A I-01 .
II. Méthodologie de travail	A I-02 .
III. Calendrier d'exécution du travail	A I-05 .
<u>ANNEE II:</u>	A II-01 .
ETUDES HYDROLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES DU BASSIN	A II-01 .
2-1: Etudes hydrologiques	A II-01 .

2-2: Etudes pluviométriques	A II-01 .
<u>ANNEE III:</u>	A III-01.
ETUDES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN	A III-01.
3-1 Etudes géologiques	A III-01.
3-2 Etude du relief et de la topographie	A III-07.
<u>ANNEE IV:</u>	A IV-01 .
ETUDES PEDOLOGIQUES DU BASSIN	A IV-01 .
4-1: A l'EST du bras principal	A IV-01 .
4-2: A l'OUEST du bras principal	A IV-03 .
<u>ANNEE V:</u>	A V-01 .
ANALYSES DE SOLS	A V-01 .
5-1: Analyses granulométriques	A V-01 .
5-2: Détermination du pourcentage de matière organique	A V-06 .
<u>ANNEE VI:</u>	A V-01 .
ENQUETES ET EXPLOITATION	A V-01 .
1. : Cultures hivernales	A VI-01.
2. : L'arboriculture	A VI-03.
3. : Le maraîchage	A VI-05.
<u>ANNEE VII:</u>	A VII-01.
PLANTES ET TYPES D'ASSOCIATION DE CULTURES	A VII-01.
1. : Espèces de plantes appliquées	A VII-01.
2. : Types d'associations de cultures

LISTE DES FIGURES :

NUMERO	NOM	PAGE
Fig. 0-1	Presqu'île du Cap-Vert	05
Fig. 0-2	Communauté rurale de Sébikotane	
	carte des activités	06
Fig. 1-1	Répartition de l'indice annuel moyen	
	d'agressivité climatique	10
Fig. 1-2	Nomographie d'évaluation du facteur	
	d'érodabilité des sols	13
Fig. 1-3	Coefficient topographique $SL = f(S, L)$	20
Fig. 6-1	Zonage et superficie à traiter mécaniquement	35
Photo 6-1	Ravin de plus 1m de profondeur et de plus de	
	10m de large à Yéba 2	36
Photo 6-2	Erosion en rigole et nappe à Koutane sérère	36
Photo 6-3	Destruction d'une tombe par le ravinement à	
	Yéba 2	37
Photo 6-4	Erosion en nappe au pied d'un baobab à Yéba 2	37
Photo 6-5	L'érosion dépasse l'horizon B et les ravines	
	dépassent 1m50 de profondeur à Yéba 1	38
Photo 6-6	Erosion en nappe au pied d'un manguiers à Koutane	
	sérère	38
Photo 6-7	Erosion en nappe ; et les rigoles commencent à	
	apparaître une certaine distance .	39
Fig. 6-2	Carte de la couverture végétale du bassin	40
Fig. 7-1a	Système d'enracinement d'une graminée	43
Fig. 7-1b	Schéma d'un Alley-Farming	44
Fig. 7-2	Formation d'un billon	47

Fig. 7-3	Type de gradin à profil déversé	50
Fig. 7-4	Type de levées de terre	50
Fig. 7-5	Formation de terrasses progressives	51
Fig. 7-6	Types de terrasses	52
Fig. 7-7a	Type de fossés de diversion avec gros bourrelet en amont	52
Fig. 7-7b	Type de fossé de protection	53
Fig. 7-8	Un réseau de murettes réalisé par des paysans	53
Fig. 7-9a	Type de banquette à profil normal	54
Fig. 7-9b	Type de banquette à profil amorti	55
Fig. 7-10	Réseau de défense mécanique	57bis
Fig. 7-11	Corrections des ravins	59
Fig. 7-12	Schéma descriptif des différentes parties d'une murette	62
Fig. 7-13	Schéma des intervalles entre les murettes	63
Fig. 7-14	Section transversale de la murette	69
Fig. 2-1	Réseau hydrographique des bassins versants	A 2-03
Fig. 2-2	Localisation des stations et zones étudiées	A 2-05
Fig. 2-3	Pluviométrie hivernale de 1975 dans le bassin	A 2-06
Fig. 2-4a	Lignes d'égales hauteur journalière de pluies de probabilité annuelle	A 2-10
Fig. 2-4b	Lignes d'égales hauteur journalière de pluies de probabilité 1 fois en 10 ans	A 2-11
Fig. 2-5a	Courbes d'intensité-durées de probabilité annuelle	A 2-12
Fig. 2-5b	Courbes d'intensité-durées de probabilité 1 fois en 10 ans	A 2-13
Fig. 2-6	Coefficient de ruissellement C_o (ou K_r) en fonction de A_{pv} , du régime etc.	A 2-14

Planche 3-1	Chronologie géologique sommaire	A 3-02
Fig. 3-1	Carte des compartiments de la zone	A 3-03
Fig. 3-2	Structurale du compartiment de sébikotane	A 3-04
Fig. 3-3	Coupe des compartiments de sébikotane	A 3-06
Fig. 3-4	carte structurale du Horst de Ndiass	A 3-08
Fig. 3-5	Coupe du Horst de Ndiass	A 3-09
Fig. 3-6	Carte hypsométrique du bassin	A 3-10
Fig. 4-1	Diversités géomorphologiques et pédologiques du bassin	A 4-02
Fig. 4-2	Carte pédologique du basin versant	A 4-06
Fig. 5-1 à 5-4	Courbes granulométriques	A 5-02

LISTE DES NOTATIONS

r	perte du sol agricole lors d'une averse
W	énergie cinétique de l'orage considéré (t.m/km ² /mm)
I	intensité de la pluie (mm/h)
I ₃₀	intensité moyenne maximum de la fréquence de pluie d'une durée de 30 mm (mm/h)
R	indice annuel d'érosivité (d'agressivité) climatique des pluies
R _{am}	indice annuel moyen d'agressivité climatique
H _{am}	hauteur moyenne annuelle des précipitations dans la zone (mm)
H	hauteur de pluie de l'averse considérée (mm)
Cu	coefficient d'uniformité
D _x	diamètre du tamis qui laisse passer x% du matériau en poids (mm)
I _p	indice de plasticité
K	indice d'érodabilité du sol
E	pertes en terre (t/ha/an)
SL	facteur topographique
P	indice de pratique antiérosive
C	indice de couverture végétale
P _{cmoy}	pente critique moyenne
E _z	perte en terre à l'échelle de la zone
SL'	facteur topographique suite à la réalisation d'un réseau de défense mécanique
C'	indice de couverture végétale après le réseau de défense antiérosive.
A _z	aire de la zone
P'	indice de pratique antiérosive après la réalisation des techniques de défense antiérosive.

E'	perte en terre suite à la réalisation des techniques antiérosives (t/ha/an)
S	pente du terrain naturel (%) = P_{cmoy} dans le prédimensionnement.
H'	dénivelée verticale entre les murettes (m)
I'	intervalle horizontale entre les murettes ou largeur du champ dominant (m)
l	largeur du terrain supérieur dominant (largeur suivant la pente du terrain de l'impluvium ou des deux fosses) (m)
X	correspond à 1 pour le fossé ados aval (m)
t_c	temps de concentration (mn)
i	intensité de la pluie pendant le temps de concentration (mm/h)
Q	débit évacué (m^3/s)
I_{10}	intensité de la pluie décennale (mm/h)
L	longueur du fossé mesurée perpendiculairement à la pente du terrain naturel
C_0	coefficient de ruissellement = Kr
V	vitesse moyenne de l'eau dans le fossé (m/s)
n	coefficient de Manning
s	pente longitudinale (m/m)
A	aire de la section transversale du fossé (m^2)
Y	profondeur du fossé (m)
R_0	rayon hydraulique (m)
b	largeur inférieure du fossé (m)
z	pente transversale du fossé
T	largeur supérieure du fossé (m)

INTRODUCTION

Durant une averse l'eau qui tombe est répartie suivant le schéma classique:

- une partie de l'eau s'infiltré, pénètre plus ou moins profondément dans le sol où elle est conservée;
- une partie constitue des flaques, des mares ou des lacs dans les endroits plats ou creux; cette partie s'infiltré ou s'évapore;
- une partie coule, ruisselle et est perdue par le terrain qui la reçoit.

Cette répartition du bilan hydrique dépend de plusieurs facteurs:

- la nature du sol (perméabilité, texture, structure);
- la topographie (pente, cuvettes, etc...) et la couverture végétale
- la force de l'averse (l'intensité).

La partie de l'eau qui ruisselle est souvent boueuse. Elle emporte avec elle les éléments fins de la terre et les éléments les plus riches en éléments nutritifs pour les plantes. C'est l'EROSION PLUVIALE qui, chaque année, emporte dans le SAHEL, plusieurs tonnes de terres par hectare. L'érosion creuse ainsi dans les champs des rigoles, puis des ravines qui peuvent atteindre plusieurs mètres de profondeurs; elles constituent des drains qui collectent l'eau et provoquent un assèchement rapide des plantes si les pluies s'arrêtent pendant plusieurs jours.

Cette eau qui ruisselle, emportant les éléments nutritifs des plantes est généralement perdue (en partie) en mer.

En Afrique et surtout dans le Sahel, nous déplorons une baisse des rendements agricoles, causée par la poussée démographique rapide, l'exode vers les villes, le manque de moyens et surtout les pertes en eaux et en terres fertiles. A cet effet, la conservation des eaux et des sols est partout nécessaire dans le Sahel, mais elle est impérative si le sol est en pente. La chute des rendements, due à une surexploitation des terres dégradées, très peu défendues, fait que la protection du potentiel agricole ne doit plus être

un objectif lointain mais une nécessité impérieuse pour enrayer le déficit alimentaire au sud du SAHARA, en particulier au SENEGAL et à SEBIKOTANE.

A Sébikotane, tous ces facteurs (nature du sol, topographie, etc...) concourent à amplifier l'érosion hydrique (surtout dans la partie haute et les bas-fonds situés sur le massif). On y distingue toutes les érosions (en nappe, rigoles, ravines etc...) qui agissent simultanément. Suite à ce constat, le projet a été introduit par le professeur Gérard A. R. SOUMA, hydrogéologue, pour le bénéfice de la population de Sébikotane. C'est dans le souci d'apporter une contribution au développement du monde rural et donc pour nous même, que ce sujet fut choisi comme projet de fin d'études.

Ainsi après un diagnostic des facteurs influençant l'érosion nous proposons des techniques de DEFENSES et RESTAURATION des SOLS (D.R.S.) en association avec des façons culturales qui concourent à limiter l'érosion hydrique.

L'objectif de ces D.R.S. est double. Elles constituent un préalable pour la construction des barrages envisagés dans la C.R. en ce sens que les quantités de particules fines transportées par l'eau de ruissellement en seraient réduites. Elles constituent aussi une opération de développement agricole. En effet ces méthodes de D.R.S. augmentent les terrains cultivables, la fertilité des sols et donc les rendements agricoles.

Dans le souci de mieux rentabiliser la productivité agricole, nous essayerons des moyens pour améliorer les rendements culturaux, suite au dépouillement de l'enquête prévue dans le plan de travail.

Je souhaite que les habitants de la C.R. de Sébikotane, regroupés autour d'une alliance appelée " LA C.U.R.E."¹ puissent en tirer le meilleur profit pour mieux participer à l'objectif d'auto-suffisance alimentaire au niveau national et sous régional; objectif qui est une priorité des autorités politiques sénégalaises.

1. LA C.U.R.E.: L'Alliance Inter Communautaire pour l'Utilisation Rationnelle des Eaux de Ruissellement.

CHAPITRE 10

DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT

La communauté rurale (C.R.) de Sébikotane se trouve dans la région de DAKAR à proximité immédiate des agglomérations urbaines, en particulier celle de Rufisque-Bargny. Elle est située à 41 Km de la ville de DAKAR et elle ferme avec la communauté rurale de Sangalkam, la presqu'île du Cap-Vert (fig. 0-1).

La C.R. de Sébikotane s'étend d'Est en Ouest, du massif de Ndiass à Déné Malick Gueye et du Nord au Sud de Déné Youssouf à Toubab Dialao (fig. 0-2). Elle couvre une superficie de 13800 ha dont:

- Territorial.....1200 ha
- Superficie cultivable.....10768 ha
- Superficie non cultivable.....1812 ha

De par sa position géographique, la C.R. de Sébikotane garde une vocation agricole tournée vers l'approvisionnement du centre urbain de DAKAR.

Sa population est d'environ 29857 habitants avec une majorité de wolofs (57%), des sérères (30%), des poulaars (11%), des bambaras, mankagnes et autres (2%). Cette population est concentrée dans les zones basses et les zones élevées sont souvent occupées par la végétation naturelle. Dans ces parties hautes (forêt classée de Sébikotane), l'essence dominante est l'accacia. Les baobabs et les épineux sont disséminés dans presque toute la zone. Ces formations végétales suivent les grandes lignes des unités géomorphologiques et sont ainsi constituées de strates arborées (accacia etc...), arbustives et herbacées.

Du point de vue hydrologique, signalons qu'il existe des marécages et des cours d'eau non perennes. Ceux-ci utilisent les ravins créés par l'érosion. Le réseau hydrographique est ainsi réduit à des ravinements et à des vallées sèches pendant la plus grande partie de l'année et la plupart des eaux de la saison des pluies sont perdues dans la mer. Les deux barrages de W. Ponty et

Panetior retiennent cependant une petite partie de ces eaux de ruissellement.

La C.R. offre d'énormes potentialités économiques car ses sols sont propices à l'agriculture. L'activité agricole y est très variée comparativement aux autres zones rurales du pays. Durant l'hivernage les cultures de l'arachide, du mil, du maïs et les cultures maraîchères occupent les paysans et pendant la période de contre saison (plus longue) les paysans s'intéressent activement au maraîchage.

Il existe aussi dans la C.R. des industries à l'image de la SENAC qui est située à la limite Est de la C.R. dans la partie thiessoise. Récemment l'usine de la SOCA a été inaugurée dans la C.R. .

La C.R. voit son cheptel augmenter de plus en plus. Celui-ci comprend des bovins, des ovins, des caprins et des porcins. Sa pêche est encore en reste et peut être mieux exploitée.

Enfin les forêts classées constituent des pourvoyeurs de revenus pour le paysan grâce à leur bois de chauffe.

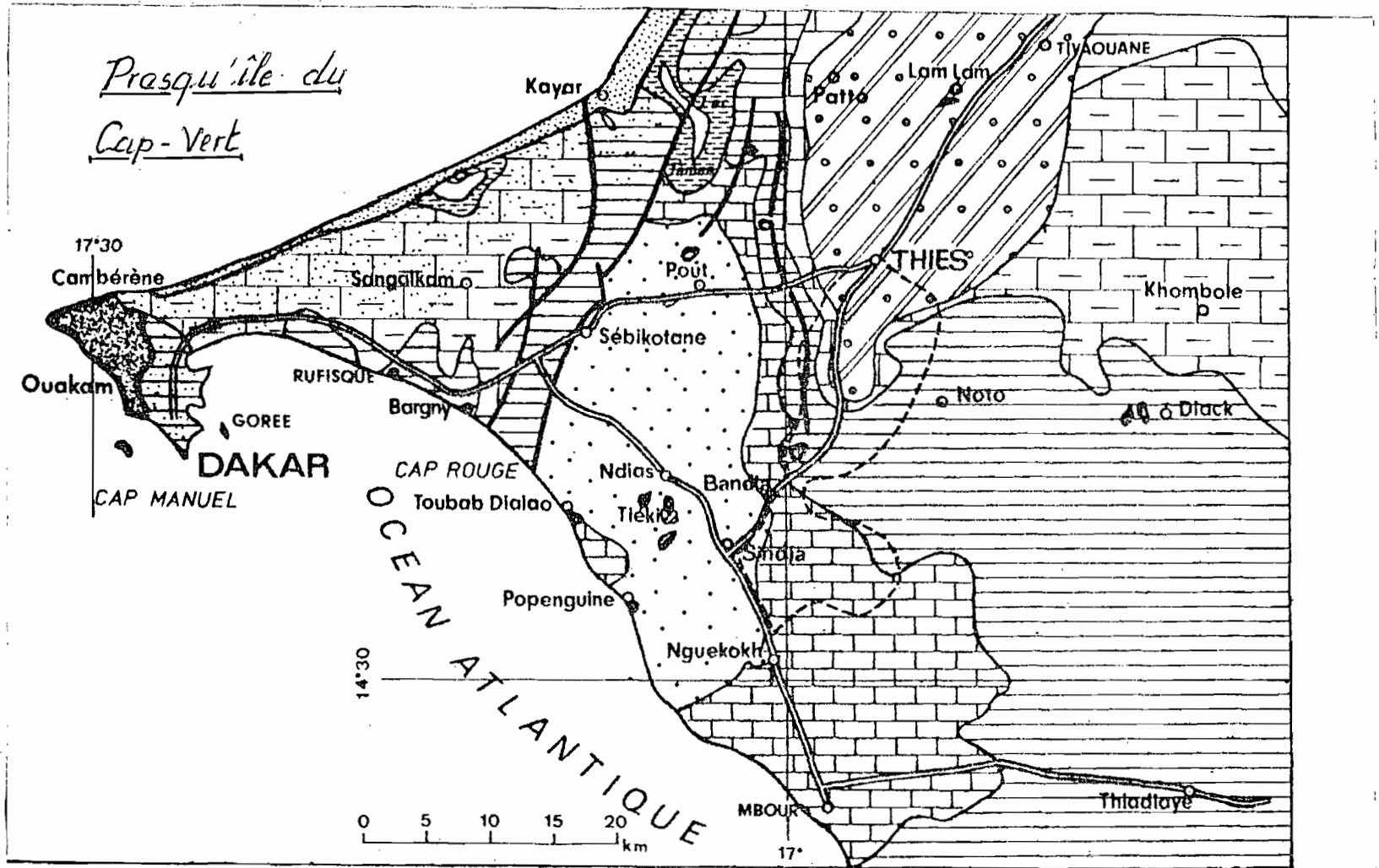
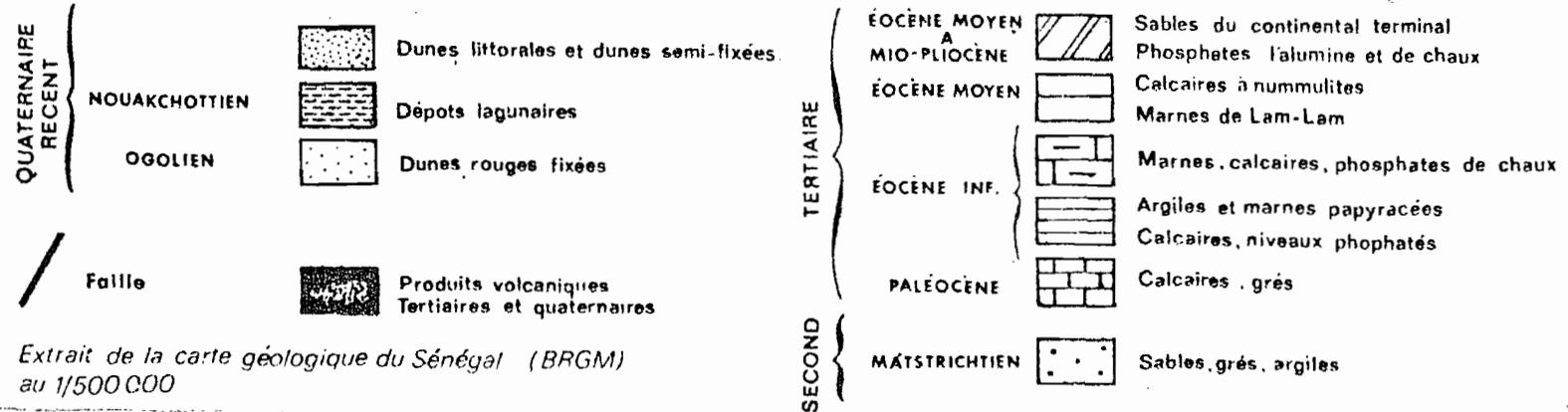


Fig. 0-1

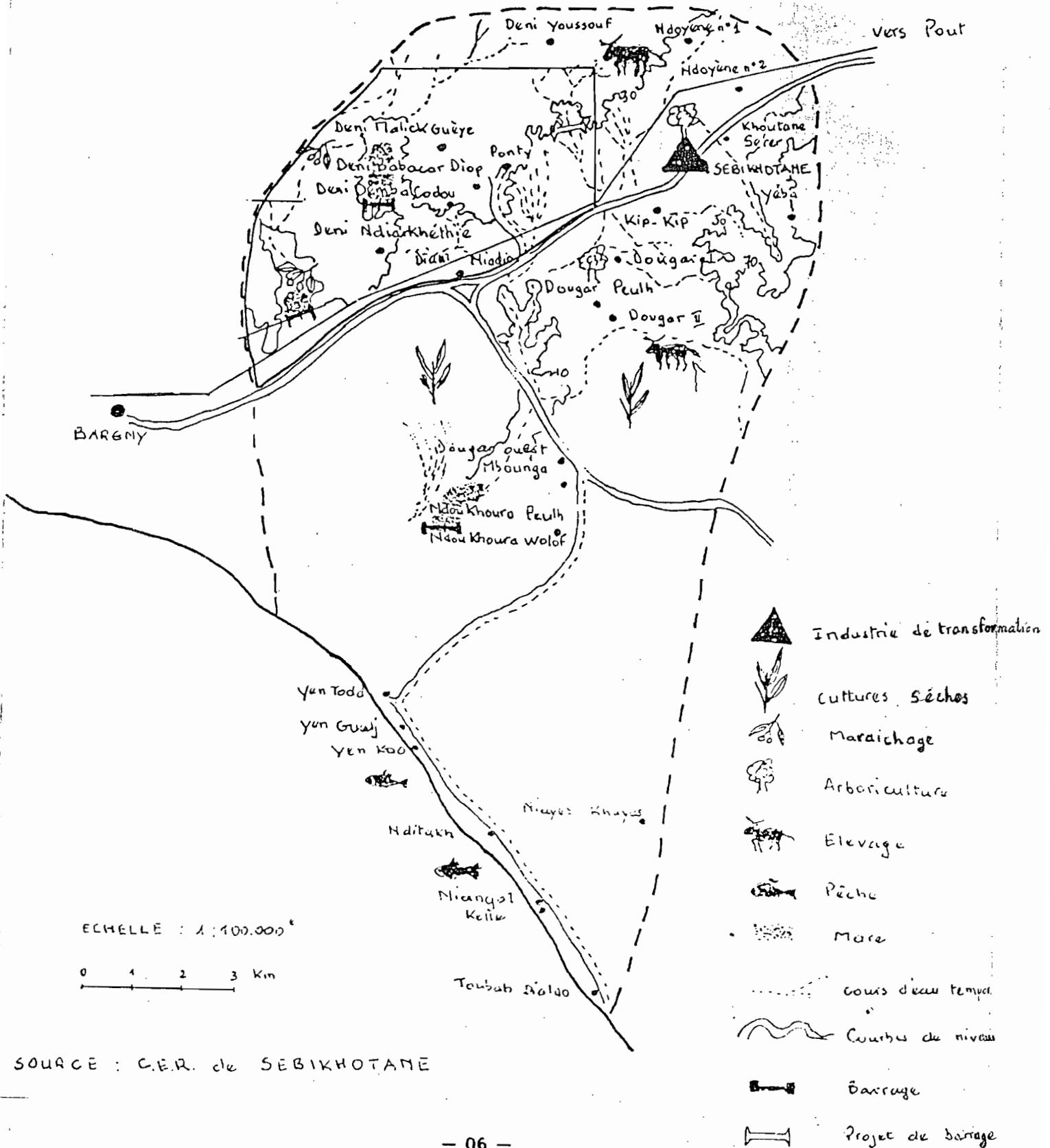


Extrait de la carte géologique du Sénégal (BRGM) au 1/500 000

Fig. 0-2

COMMUNAUTE RURALE DE SEBIKHOTANE

CARTE DES ACTIVITES



CHAPITRE I

TITRE
LES CAUSES DE L'EROSION HYDRIQUE
DES SOLS

LES CAUSES DE L'ÉROSION DES SOLS

L'érosion hydrique dépend en général de plusieurs facteurs. Elle n'est pas seulement une chaîne de processus pédologiques très actifs en montagnes et sur les terres exploitées par l'homme (dégradations physique et chimique, appauvrissement en fines et en nutriments, décapage de l'horizon humifère, etc.). C'est un signal d'alarme pour le gestionnaire des eaux et des sols, signal qui révèle un déséquilibre plus ou moins aigu entre le milieu (physique, biologique et humain) et son mode d'exploitation. Il est ainsi nécessaire de connaître toutes les causes probables de l'érosion des sols, puis de voir dans le cas de notre étude celles qui sont les plus déterminantes.

Ces causes peuvent être regroupées en quatre facteurs essentiels et nous parlerons à cet effet de risques. Ces risques sont:

- Les risques climatiques.
- Les risques pédologiques dus à l'érodabilité des sols.
- Les risques anthropiques ou générés par l'homme.
- Les risques topographiques dus à la pente des terrains.

1-1. LES RISQUES CLIMATIQUES DE L'ÉROSION.

Tout transport de terres nécessite une certaine énergie. Cette énergie peut provenir des vents, du ruissellement ou de la pluie. Dans le cas de l'érosion hydrique, c'est l'énergie des gouttes d'eau de pluie (facteur causal) qui déclenche le processus de destruction des agrégats du sol sur les versants de pentes faibles à moyennes tandis que le ruissellement assure le transport des particules détachées. Cependant lorsque la pente est assez forte le ruissellement devient abrasif et son action sur l'érosion devient plus importante que celle de la pluie. L'énergie de la goutte de pluie et celle du ruissellement constituent les causes primaires de l'érosion.

L'érosion, un phénomène redoutable pour le SAHEL.



La conservation des sols, un devoir pour les générations futures.

l'intensité de la pluie.

Wishmeier et al. (1978) ont défini un indice d'agressivité des sols (érosivité des sols) sur des terrains dont la pente est inférieure à 17% et cette formule est relativement exacte. Le résultat de leurs analyses montre que les pertes d'un sol agricole (r) sont directement proportionnelles au produit de l'énergie totale de l'orage (W) par l'intensité moyenne maximum de la séquence de pluie d'une durée de 30 minutes (I_{30}):

$$r = W * I_{30} / 1735.6 \quad (1 - 1)$$

L'énergie d'un orage d'intensité supposée constante est donnée par l'équation:

$$W = 1214 + 890 * \log I \quad (1 - 2)$$

où

W : l'énergie cinétique de l'orage en $t.m/Km^2/mm$ de pluie.

I : l'intensité de la pluie en mm/h

r : la perte du sol en $t.m/Km^2/h$.

Pour un orage d'intensité variable le calcul de W se fera en subdivisant l'enregistrement du pluviographe en séquences uniformes, de calculer pour chaque séquence i le W_i correspondant puis de faire la somme des W_i .

Selon Wishmeier la somme R des valeurs de $r = W * I_{30}$ des fortes pluies (hauteur de pluie supérieure à 12.7mm) pour une période donnée est la mesure d'un potentiel érosif des pluies pendant cette période. Ce total annuel moyen R des fortes pluies dans une localité est l'indice d'érosivité annuel des pluies de cette localité.

Plusieurs régressions ont été trouvées par des auteurs (Charreau, Gallabert, Millogo...). Nous en examinons un certain nombre, puis nous retiendrons celle qui paraîtra la plus adaptée à l'estimation de l'érosion dans la C.R. (Ref 17).

Roose a établi une relation entre l'indice annuel moyen d'agressivité climatique $R_{a.m}$ et la hauteur moyenne annuelle de précipitation durant la période $H_{a.m}$ en se basant sur l'expérience de Wishmeier.

$$\frac{R_{a.m}}{H_{a.m}} = 0.50 \pm 0.05 \quad (1 - 3)$$

avec

$H_{a.m}$ en mm/an et $R_{a.m}$ indice d'agressivité climatique.

Roose a affirmé que cette équation est applicable en Afrique de l'ouest (surtout en Côte d'Ivoire, Niger, Sénégal, Burkina Faso...) ce qui lui a permis de dresser une esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen pour l'Afrique de l'ouest (Figure 1 - 1).

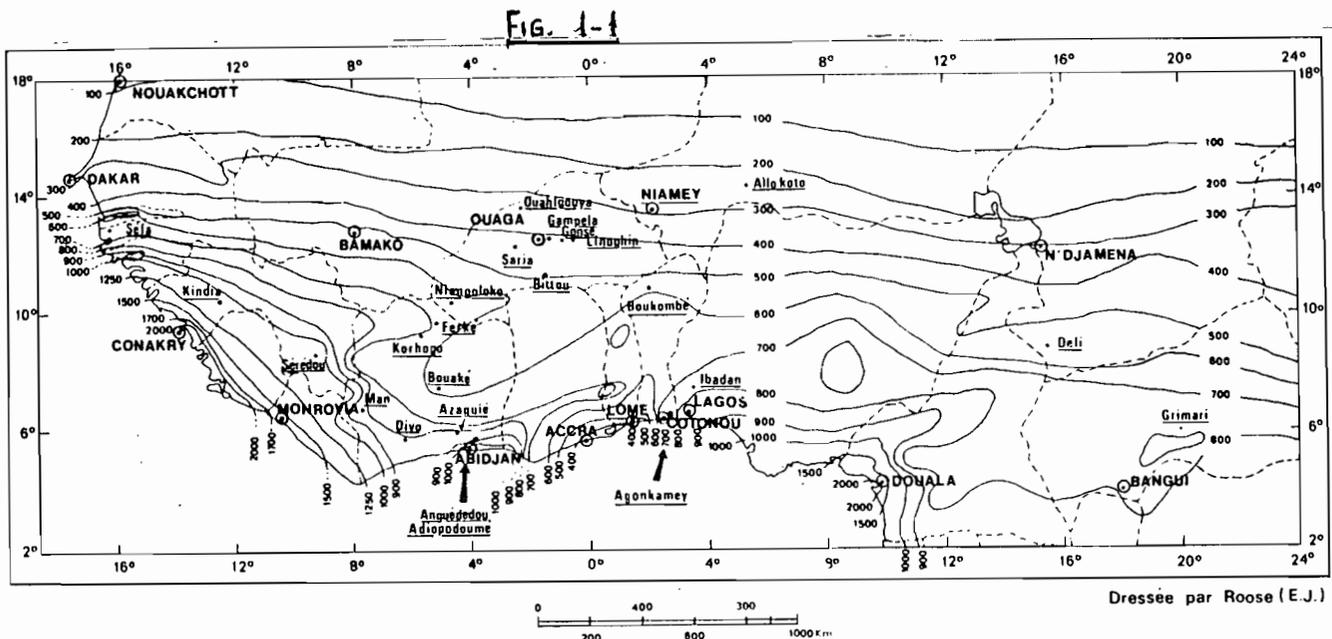


Fig.1-1 — Esquisse de la répartition de l'indice d'agressivité climatique annuel moyen (R_{usa} de Wischmeier) en Afrique de l'Ouest et du Centre. Situation des parcelles d'érosion (lieux soulignés).

D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975 (Extrait de *Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest* de E. ROOSE - ORSTOM - 1977).

La relation (1 - 3) est en défaut dans les montagnes et en bordure immédiate de la mer. Elle est donc plus ou moins applicable dans notre cas.

Par ailleurs Gallabert et Al. ont trouvé une relation où ils font intervenir l'intensité de l'averse pendant 30 minutes.

$$R = 0.01572 * H * I_{30} - 1.179 \quad (1 - 4)$$

où H = hauteur de pluie de l'averse considérée.

Cette régression calée sur des observations au Burkina Faso, au Niger... est probablement applicable dans l'Afrique de l'ouest (d'après les auteurs).

1-2 : LES RISQUES PEDOLOGIQUES DUS A L'ERODABILITE DES SOLS.

Les risques d'érosion sont d'autant plus importants que le sol en place est moins résistant. L'érodabilité est assez complexe car, pour être érodées, les particules de sol doivent être détachées puis transportées. Elle dépend de plusieurs facteurs relatifs à la nature des sols, aux lieux et aux circonstances (pente, couvert végétal, pratiques culturales et antiérosives...).

1-2-a: les facteurs texturaux : granulométrie, porosité.

Les critères granulométriques sont jusqu'à présent utilisés pour classer les sols selon leur sensibilité à l'érosion. En effet les sols dont la granulométrie comprend plus de 50% de sables fins (définis comme les particules dont les diamètres sont compris entre 50 et 100 μ m), peu riche en argile et en matières organiques sont très érodables.

En plus de ces conditions, nous considérons comme très érodables tous les sols ayant une granulométrie uniforme avec un coefficient d'uniformité $C_u = D_{60}/D_{10}$ faible (inférieure à 5). D_x est l'ouverture de la maille du tamis qui laisse passer x% du matériau en poids.

- Sol très érodable si $C_u < 5$
- Sol moyennement érodable si $5 < C_u < 15$
- Sol peu érodable si $C_u > 15$

Plus un sol est poreux, c'est-à-dire plus il conserve d'espaces pénétrables par l'eau, plus la vitesse de filtration à travers lui est grande. Il faut dans ces conditions, que les pluies atteignent un niveau d'action très élevé (intensité et durée) pour que le ruissellement se produise. Lorsque, au contraire, la structure et la porosité du sol sont mauvaises, la vitesse de filtration est faible et le ruissellement se produit facilement.

La perméabilité du sous-sol revêt aussi une grande importance. Si elle est insuffisante, l'eau est arrêtée dans sa descente; la partie supérieure du sol se sature et le ruissellement est, de ce fait, facilité.

1-2-b: les facteurs physico-chimiques.

Parmi ceux-ci on peut citer:

- la plasticité et l'argilosité; capacité d'échange en cation;
- la richesse relative en sodium, N_a ;
- les teneurs en Carbone et en Matières Organiques;
- les teneurs en Oxyde de fer et d'Aluminium.

La granulométrie toute seule ne permet pas d'avoir de résultats suffisants. Si, par exemple, nous avons deux sols contenant les mêmes quantités d'argile mais de natures différentes (l'un contenant du kaolin et l'autre de la montmorillonite saturée en sodium N_a), le sol contenant la montmorillonite saturée en sodium, N_a , aura tendance en temps de pluie à colmater la surface et donc à favoriser le ruissellement et l'érosion.

Ainsi pour tenir compte des fines d'argile du sol des auteurs ont introduit un critère basé sur l'indice de plasticité I_p (Sherard (Ref.16)).

- bonne résistance $I_p > 15$
- résistance intermédiaire $6 < I_p < 15$
- faible résistance $I_p < 6$

La stabilité des agrégats est principalement due à la qualité de la cimentation des particules soit par l'argile, soit par certaines substances minérales (les oxydes de fer et d'aluminium), soit par les matières organiques (principalement l'humus). Différents tests, toujours en cours d'étude, sont proposés pour apprécier la stabilité des agrégats ou la dispersabilité des sols.

1-2-c: les facteurs structuraux

Ces facteurs sont en général:

- la compacité et la porosité qui est expliquée ci haut;
- la fissuration et l'agrégation en mottes;
- la présence ou non de croûte ou peau colmatante en surface;
- la biomasse (racines de végétation, lombriciens, insectes, petits mammi-

fères, micro-organismes).

Wishmeier et Al. (1971) ont proposé un abaque pour la détermination de l'érodabilité K des sols, de l'équation de Wishmeier (1 - 5) en tenant compte à la fois des facteurs texturaux et structuraux du sol. (figure 1 - 2) (Ref. 14, 16 et 17).

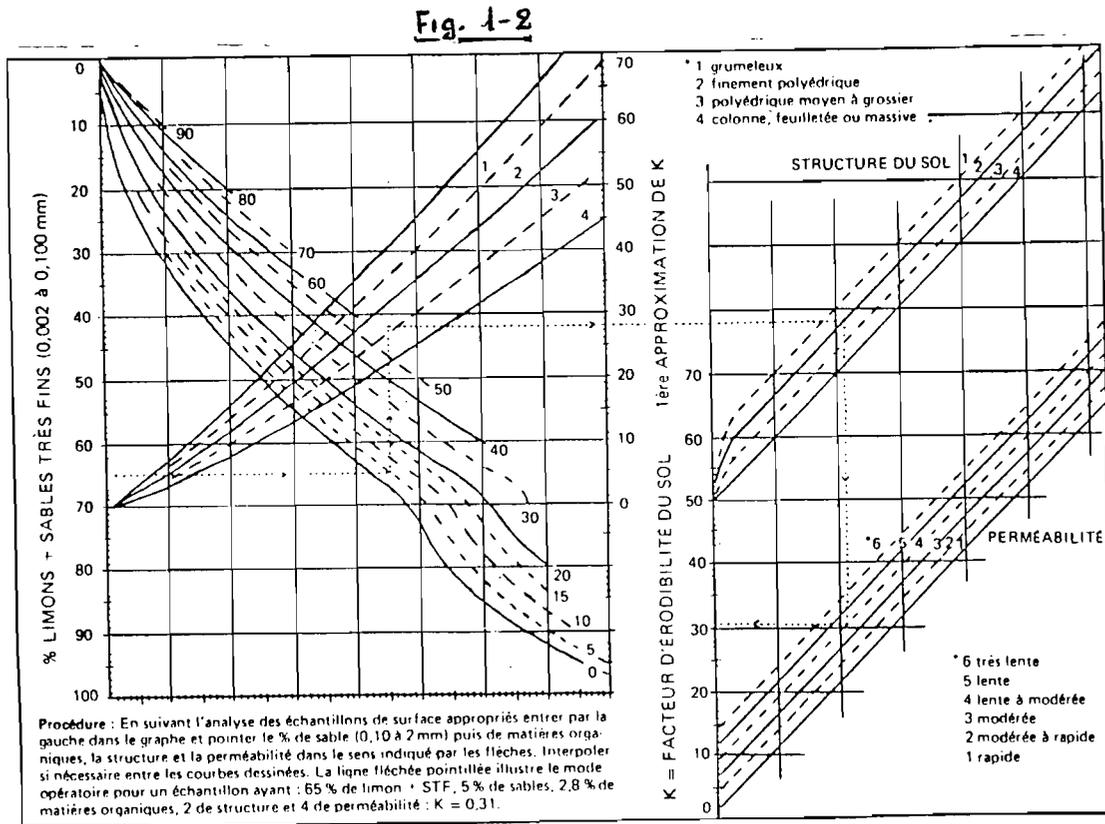


Fig. 1-2. Normographe permettant une évaluation rapide du Facteur K d'érodabilité des sols (D'après WISCHMEIER, JOHNSON et CROSS, 1971).

L'équation universelle de Wishmeier s'écrit en unité métrique:

$$E = 2,24 * R * K * SL * P * C \quad (1 - 5)$$

avec

E : pertes en terres en t/ha/an

R : indice d'agressivité climatique. C'est le seul terme du second membre ayant une unité. Il a la même unité que E t/ha/an.

SL : facteur topographique (voir 1-4-d)

P : pratique antiérosive (tableau 1-2)

C : indice de couvert végétal (tableau 1-1)

K : l'érodabilité des sols

Dans l'abaque de détermination de K l'expression "pourcentage de limons et de sables très fins" correspond aux particules comprises entre 0.002 et 0.100 mm.

Par ailleurs, la compacité, lorsqu'elle est élevée, est défavorable pour le terrain agricole. En effet lorsque la compacité des sols agricoles est élevée le ruissellement devient plus important ce qui entraîne un risque accru d'érosion.

1-2-d: les risques d'érosion liés au couvert végétal.

Le couvert végétal et les techniques culturales, au sens le plus large, sont d'autant plus efficaces à absorber l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'ils recouvrent une grande partie du sol durant les périodes de pluies agressives.

On peut diviser les couverts végétaux en trois parties:

- les couverts complets toute l'année: l'érosion y est négligeable et le ruissellement faible;
- les sols nus ou pratiquement nus durant les mois les plus agressifs (Mai à Juillet). L'érosion y est d'autant plus considérable que la pente est forte;
- les couverts incomplets au moins durant une partie de l'année. Ce sont les cultures, les plantes et les fourragères implantées tardivement ou encore à démarrage lent. L'érosion y est tributaire de la précocité et de la densité de plantation, de la perte en éléments fertiles et des techniques culturales.

Ainsi l'érosion et le ruissellement (dans une moindre mesure) dépendent pour une large part, de la proportion du sol non couverte par la végétation avant les grosses pluies. L'architecture des plantes et la projection verticale du couvert sont aussi très déterminants. Le tableau 1-1 donne le coefficient C de couvert végétal.

TABLEAU 1-1: Influence du couvert végétal sur l'érosion en Afrique de l'ouest

PLANTES ET TECHNIQUES CULTURALES	C annuel moyen
Sol nu	1.000
Forêt dense ou culture paillée abondamment	0.001
Savane et prairie en bon état	0.010
Savane et prairie brûlées et/ou surpâturées	0.010
Plantes de couverture à développement lent ou plantation tardive:	
. 1 ^{re} année	0.3 à 0.6
. 2 ^e année	0.10
Plantes de couverture à développement rapide et plantation hâtive dès la première année	0.01 à 0.10
Mais, Sorgho, Mil (en fonction du rendement)	0.40 à 0.90
Riz en Culture intensive	0.10 à 0.20
Coton, Tabac (en 2 ^e cycle)	0.50
Arachide (selon la date de plantation)	0.40 à 0.80
Manioc (1 ^e année), Igname (selon date de plantation) ..	0.20 à 0.80
Palmier, Hévéa, Café, cacao plante de couverture	0.10 à 0.30
Ananas à plat. (en fonction de la pente)	
résidus brûlés	0.10 à 0.50
(pente 4 à 20%) résidus enfouis	0.10 à 0.30
résidus en surface	0.01
Ananas sur billons cloisonnés (pente de 7%)	0.10

Extrait de Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest, R. Roose - CBSTOM 1977.

TABLEAU 1-2: Influence de la pratique culturale et antiérosive

TECHNIQUES CULTURALES ANTIÉROSIVES	P annuel moyen
U.S.A	
. Labour isohypse	0.75
. Labour et billonnage isohypse	0.50
. Labour et bandes enherbées isohypses	0.25
AFRIQUE de L'ouest:	
.Billonnage isohypse cloisonné	0.20 à 0.10
.Bandes antiérosives de 2 à 4m de large	0.30 à 0.010
.Mulch de paille	0.01
.Mulch Curasol (60g/l:m ²)	0.50 à 0.20
.Prairie temporaire ou plantes de couverture	0.50 à 0.10
.Bourrelets armés ou murettes en pierres sèches (dénivelée: 80cm+labour et binage isohypse et fertilisation équilibrée)	0.10

Extrait de "Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest", R. Roose - CBSTOM 1977.

1-3 : LES RISQUES ANTHROPIQUES DE L'EROSION HYDRIGUES.

Ces risques dépendent en premier lieu de la démographie et de l'état économique de la société en général et des C.R. en particulier. Toute variation de la population dans un sens ou dans l'autre et toute action de l'Homme sur les sols influencent l'érosion.

Une baisse de la population, si elle est importante, entraîne un non-entretien des aménagements fonciers et de certains ouvrages. Ainsi les ravissements augmentent et prennent une allure catastrophique irréversible si les pluies d'orage sont suffisamment fortes.

Une surpopulation rurale peut entraîner les gens à défricher et à cultiver des terrains trop difficiles à protéger contre l'érosion. La conjonction d'une surpopulation sous-développée et de la vulnérabilité du milieu, conduit à une véritable désertification.

Les lotissements des zones boisées ou agricoles entraînent une augmentation des pics de crues, du volume total des eaux évacuées, une diminution du temps de concentration des eaux; d'où des affouillements et l'élargissement des chenaux. En plus, les aménagements fonciers (ayant pour finalité d'aménager ou d'organiser l'espace rural afin de satisfaire les besoins des populations) constituent souvent des risques d'érosion.

Les feux de brousse provoqués par l'Homme augmentent l'érosion. Ils dénudent les sols et détruisent les matières organiques qui ont un pouvoir colmatant.

1-4 : LES RISQUES LIES A LA TOPOGRAPHIE ; la pente

En Afrique de l'ouest la pente conditionne puissamment l'importance de l'érosion. Cependant il arrive que des régions à pente minime (1 à 2% en Casamance) soient soumises à des érosions intenses; ce qui voudrait dire que, dans ces cas, l'action des gouttes de pluie suffit pour déclencher le phénomène.

La pente influence l'érosion de par:

- son inclinaison,
- sa longueur,
- sa forme.

1-4-a: l'inclinaison du versant.

Tous les auteurs s'accordent sur son importance sur l'érosion. Plusieurs d'entre eux (Duley et Hays, Neal, ...) ont montré que les pertes en terre varient de façon exponentielle avec l'inclinaison de la pente (éq. 1-5).

Le ruissellement dépend plus des propriétés hydrodynamiques du sol que de la pente elle-même. Il augmente généralement avec la pente sur petites parcelles mais devient variable en fonction de la rugosité de la surface du sol, du type de culture et du niveau de saturation du sol avant la pluie. Ainsi les formes d'érosion changent avec la pente et le profil du sol.

Sur les pentes faibles, l'énergie des gouttes de pluie disloque les agrégats et libère les particules fines. Ces dernières, en suspension colloïdale, peuvent migrer sur une grande distance à travers le réseau hydrographique. Les sables s'accumulent et donnent à la surface du sol une allure tigrée.

Dès que la pente atteint 7% il peut apparaître des rigoles évasées et les transports de sables s'organisent. Enfin lorsque la pente dépasse 20% les particules de toute taille (5 à 10mm) peuvent être emportées par le ruissellement, ce qui fait que la surface devient accidentée. Les rigoles deviennent plus profondes (20cm) voire même plus.

Dans le cordon Yéba-Koutane sérère, les ravines dépassent par endroits 1 m de profondeur et 7 m de largeur au pieds des collines (voir photo 6-1).

1-4-b: la longueur de la pente

Plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule et prend de la vitesse et de l'énergie ce qui se traduit par une érosion massive.

Des auteurs comme Wislmeier et al. ont montré que la longueur agit de façon exponentielle sur l'érosion et que l'exposant est fonction de la couver-

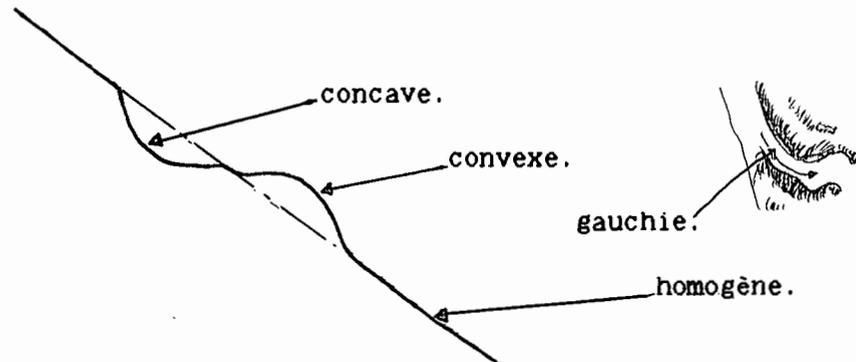
ture végétale, de l'évolution du sol etc... (formule 1-5).

L'influence de la longueur de la pente sur le ruissellement est, en fait, encore moins nette: elle est tantôt positive, tantôt négative ou nulle.

1-4-c: la forme de la pente

Il est, en fait, difficile d'estimer l'influence de la forme concave, convexe, homogène ou gauchie d'une pente. C'est un paramètre souvent négligé ce qui explique les divergences dans les conclusions de certains auteurs.

Sur pentes moyennes égales, une pente gauchie ou concave diminue les transports solides (sédimentation localisée) tandis qu'une pente convexe l'augmente en fonction de l'inclinaison du segment le plus pentu.



1-4-d: le facteur topographique: SL

Pour une utilisation à grande échelle Wisheier et Smith (1960) ont proposé un abaque unique basé sur la formule:

$$SL = \frac{L^{0.5}}{100} * (0.76 + 0.53 * S + 0.076 * S^2) \quad (1-5)$$

où:

L = longueur de la pente exprimée en pied (1 pied = 0.3048m)

S = pente en %

SL = facteur topographique (sans unité)

La figure 1-3 basée sur l'éq. (1-5), donne le coefficient SL.

Ces abaques présentent des limites:

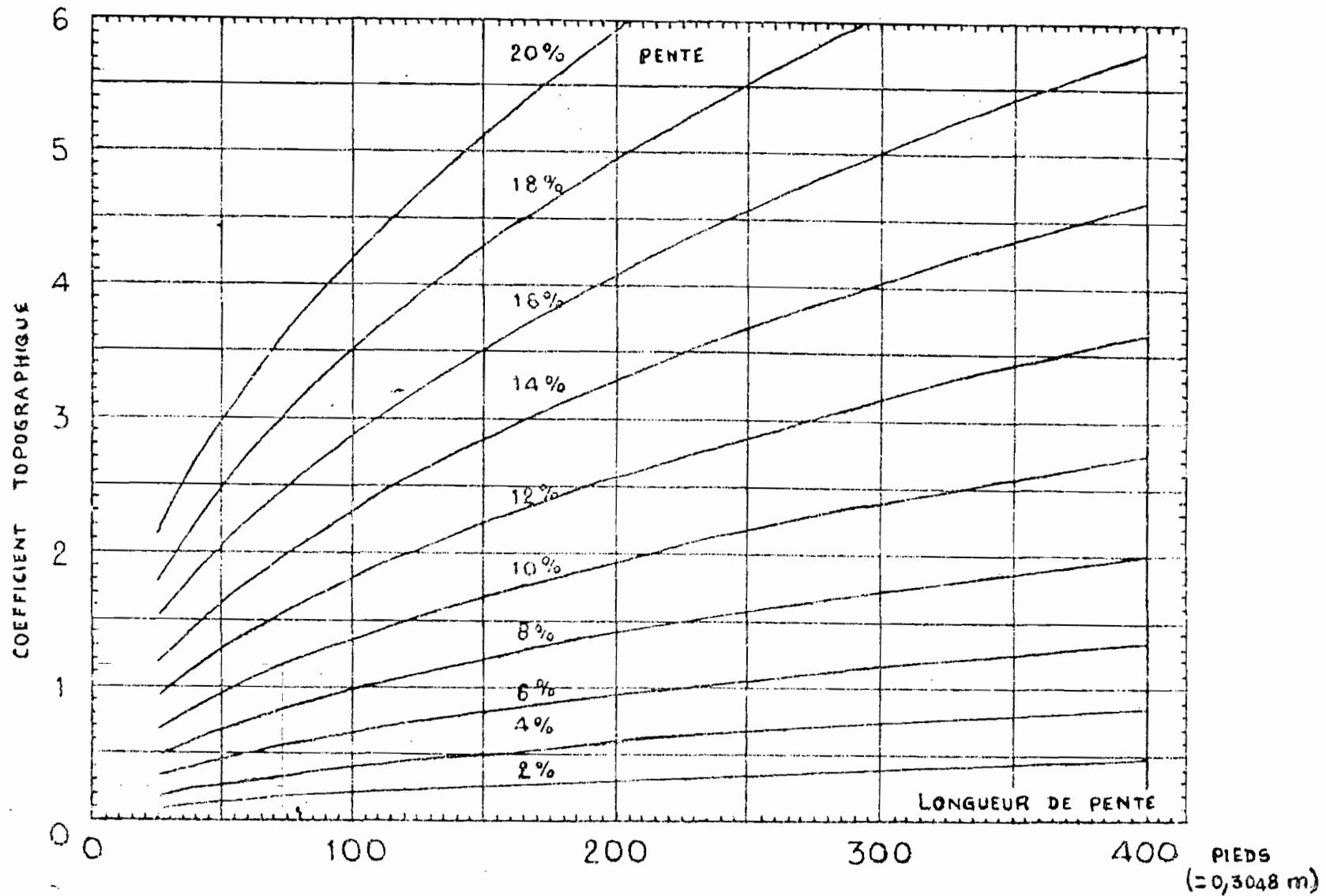
- Les longueurs des pentes considérées pour les parcelles sont très limitées. La parcelle de référence de Wisheier (qui a permis

l'établissement de ces formules) a une longueur de 72.6 pieds soit 22.12m et une pente de 9% . Ainsi son facteur topographique, SL, est égal à 1. De plus, lorsque la longueur dépasse 100 pieds le facteur SL commence à se démarquer de la réalité.

- Les faibles variations de pentes entraînent des variations notables d'érosion et quelques fois de ruissellement. Ceci est le point faible de l'équation de Wislmeier.

Signalons que l'incertitude liée à l'influence de la longueur de la pente sur l'érosion remet en question l'application aveugle des techniques antiérosives du type des terrasses, des banquettes et des fossés de diversion sous des climats et des sols très variés.

Fig. 1-3 Coefficient topographique.



d'après Wischmeier et Smith (1958)

CHAPITRE II

TITRE
ETUDES HYDROLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES
DU BASSIN VERSANT

CHAPITRE III

ETUDES TITRE GEOMORPHOLOGIQUES DU
BASSIN

CHAPITRE IV

ETUDES	<u>TITRE</u>	
	PEDOLOGIQUES	DU
	BASSIN	

CHAPITRE V

TITRE

ANALYSES DE SOLS

CHAPITRE II

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

La pluviométrie, l'hydrologie et la climatologie de la zone étudiée sont importantes pour la conception de l'avant projet. En effet certaines indications utiles pour l'estimation du phénomène sont fournies par ces études. Parmi ces indications nous citons les hauteurs de pluie, leurs intensités etc... .

La connaissance de la géologie nous permet de connaître la nature des roches mères et leur degré d'érodabilité. Comme nous l'avons observé au chapitre I l'érosion varie de manière exponentielle avec la pente du terrain. Le facteur relief a un rôle déterminant dans l'accélération de l'érosion.

La pédologie nous renseigne sur la répartition et les caractéristiques physico-chimiques des groupes de sols. Le rapprochement entre la pédologie et la topographie permet de tirer les premières conclusions quant aux mesures à préconiser pour freiner l'érosion.

L'analyse des sols permettra de déterminer l'érodabilité des sols et éventuellement formuler certaines recommandations en matière de restauration des sols (emploi de fumures, engrais verts, éléments minéraux etc... .

Ainsi il apparaît nécessaire de procéder à toutes ces études, avant de faire une estimation de l'érosion ou un choix de moyens de défenses antiérosives. Ces études ont été faites et elles constituent les annexes II à V . C'est à cet effet que:

— Le **CHAPITRE II** concernant les **ETUDES HYDROLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT** a été amené à l'**ANNEXE II** .

— Le **CHAPITRE III** concernant les **ETUDES GEOMORPHOLOGIQUES DE LA ZONE** a été amené à l'**ANNEXE III** .

— Le **CHAPITRE IV** concernant les **ETUDES PEDOLOGIQUES DE LA ZONE** a été envoyé en **ANNEXE IV** .

— Le **CHAPITRE V** concernant les **ANALYSES DE SOLS** a été envoyé en **ANNEXE V** .

CHAPITRE VI

TITRE

ESTIMATION DE L'EROSION DES SOLS

CHAPITRE VII

ESTIMATION DE L'ÉROSION DES SOLS

Le chapitre 1 a montré les facteurs qui entrent dans le processus de l'érosion hydrique. A présent nous allons procéder au zonage et à l'examen des facteurs les plus déterminants dans l'érosion de notre bassin versant. Dans un second temps nous essayerons d'identifier les effets des érosions dans les différentes zones pour ensuite calculer, avec les formules du chapitre 1, les pertes en terres dans ces zones et à l'échelle du Bassin Versant.

Les pentes qui sont déterminées dans cette étude constituent des pentes critiques maximales (pentes de ruissellement) et elles sont différentes des pentes des cours d'eau (drains) données par les études hydrographiques.

6-1: ZONAGE ET ANALYSE DES FACTEURS PERTINENTS

Les critères et les paramètres qui sont utilisés pour le zonage reposent surtout sur la topographie et les propriétés des différents sols. Nous distinguons trois zones illustrées à la figure 6-1. (page 35).

6-1-1: La zone 1

Elle est située à l'EST de la courbe de niveau 30 m passant par Kip-Kip et dans la fourche de la nationale 1. La fourche est constituée par la Nationale 1 venant de Dakar et qui, au croisement Diam-Niadio, se subdivise en deux routes:

- la Nationale 1 allant vers Mbour et Kaolack,
- la Nationale 2 allant vers Thiès et Saint-Louis.

Le relief de la zone 1 est très varié et les pentes dépassent parfois 10%. La zone 1 inclut YEBA, GANDOUL etc... et la forêt classée de SEBIKOTANE, où domine une savane arbustive, à épineux et palmiers parsemés dans toute la zone. Les sols y sont constitués de deux types classés en deux secteurs essentiellement:

au secteur 1: Les cuirasses latéritiques d'érosion sur grès du maestrich-tien fortement démantelés. Ces sols sont soumis à l'érosion du fait de leur nature et de la pente du terrain. En effet ce secteur est situé sur les parties culminantes de la zone 1 (massif de Ndiass). la couverture végétale peut dépasser 50% .

au secteur 2: Ce secteur est situé sur les versants et les bas-fonds du massif de Ndiass. Ses sols ferrugineux peu ou pas lessivés (DIORS) reposent sur une formation maestrichtienne gréseuse et grésocalcaire. Le couvert végétal y est moins important que dans le secteur 1. Il ne dépasse pas 50% . Le secteur 2 est situé en dehors des limites de la forêt classée de Sébikotane et contient les mêmes types d'arbres que dans le secteur 1 (palmiers, épineux etc...). L'occupation humaine y est plus importante. Ce secteur est plus soumis à l'action anthropique. Cette nudité parcellaire des sols combinée avec une pente assez forte à moyenne amplifient l'érosion. En plus le sol contient une proportion élevée de particules fines (échantillon N°2).

Ces sols diors sont caractérisés par:

- une texture sableuse;
- une très faible teneur en matières organiques;
- un Ph légèrement acide (voisin de 6).

Cette texture sableuse et la faible teneur en matières organiques augmentent, le transport des sédiments. Dans ce secteur on rencontre les ravins les plus profonds et les plus larges qui constituent les DRAINS des eaux de pluies. Au niveau de YEBA II certains ravins dépassent 10 m de large et 1.50 m de profondeur; c'est dire que l'érosion y est exceptionnelle. En effet, la goutte de pluie qui dévale des points culminants du massif, a une énergie potentielle assez grande. En descendant les versants, cette énergie potentielle de la goutte d'eau se transforme en énergie cinétique de ruissellement et en énergie de frottement. Ces dernières décapent la partie superficielle du sol et transportent les éléments fins et les éléments fertilisants

des sols. Ainsi l'érosion se manifeste sous différentes formes et laisse des traces très sévères sur le terrain. Il apparaît clair qu'en diminuant cette énergie cinétique de ruissellement, nous réduirons l'érosion.

Les photos 6-1 à 6-6 (pages suivantes) illustrent des endroits érodés dans cette zone. le tableau ci-dessous donne des mesures de pentes, faites à l'aide de la carte topographique du bassin versant de PANETIOR à l'échelle 1/50000.

Inter-courbe de niveau (m)	90-40	80-30	80-50	90-60	80-60
variation de hauteur (m)	50	50	30	30	20
longueur mesurée (mm)	71	25	9	5	3
longueur réelle (m)	3550	1250	450	250	150
pente (%)	1.4	4.0	6.7	12.0	13.3

Les pentes sont ainsi très variables. La pente varie de inexistante (< 2%) à assez forte (13 à 25%) dans quelques endroits.

Dans le cas du dimensionnement et des calculs suivants nous considérerons une pente critique moyenne des parcelles égale à 10% .

PENTE CRITIQUE MOYENNE=10%

6-1-2: La zone 2

Elle est située à l'OUEST de la courbe de niveau 30 m passant par Kip-Kip et au sud de la Nationale 2. Les sols y sont diversifiés; on y trouve:

- des sols hydromorphes, donc cultivables si l'eau est maîtrisée,
- des sols calcimorphes du groupe des rendzines,
- des sols diors etc...

Ces sols reposent sur les formations marneuses, marno-calcaires et sur le cordon dunaire du maestrichtien.

La couverture végétale très faible est généralement inférieure à 20% .

Les sols sont parsemés de baobabs, palmiers, et quelques rares épineux. La plupart des cours d'eau non pérennes aboutissent à cette zone 2, ce qui fait que son réseau hydrographique est plus important que celui de la zone 1. La quantité d'eau ruisselée étant plus grande, pour couvert minime, l'érosion y prend de l'ampleur. Cependant elle est moins sévère que dans la zone 1, à cause du type de sol et de pente.

Certaines pentes ont été mesurées à l'aide de la carte topographique à l'échelle 1/50000 et les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Inter-courbe de niveau (m)	30-10	30-20	30-10	30-20	20-10
Hauteur (m)	20	10	20	10	10
Longueur mesurée (mm)	11	3	37	11	19
Longueur réelle (m)	550	150	1850	550	950
Pente (%)	3.6	6.7	1.1	1.8	1.05

En faisant la moyenne de ces pentes nous obtenons :

$$P_{\text{moy}} = (3.6 + 6.7 + 1.1 + 1.8) / 5 = 2.85$$

Cette pente est inférieure à 3% . Ainsi les procédés bio-cultureux appliqués judicieusement suffiront pour la lutte antiérosive. Les techniques antiérosives font l'objet du chapitre 7.

6-1-3: La zone 3

Elle est située dans la partie nord du bassin versant, au delà de la Nationale 2. Les pentes sont généralement faibles. Les sols sont hydromorphes en majorité à l'ouest. Nous y trouvons des sols calcimorphes du type Rendzine (W.Ponty), des sols diors sur sable et des cuirasses ferrallitiques d'érosion (grés démantelés du massif de Ndiass).

L'érosion y est moins importante. Nous avons parcouru une grande partie de cette zone 3 et nous n'y avons trouvé que quelques rigoles (profondeurs

inférieures à 50 cm). Des actions culturales et biologiques suffiraient pour réduire l'érosion jusqu'à des limites raisonnables (quelques tonnes par hectare et par an).

Les résultats du calcul des pentes sont consignés au tableau ci-dessous:

Inter-courbe de niveau (m)	40-30	30-20	40-30	40-20	50-30
Hauteur (m)	10	10	10	20	20
Longueur mesurée	10	23	3	15	24
Longueur réelle (m)	500	1150	150	750	1200
Pente (%)	2.0	0.9	6.7	2.7	1.7

La moyenne calculée avec les valeurs du tableau ci-dessus est d'environ 2.5%, ce qui est inférieure à 3% .

Les mesures faites à l'aide du planimètre 117 489 TM-34-2 ont données les résultats suivants:

ZONE	1	2	3
AIRE (Km ²)	34.18	16.97	47.85
AIRE TOTALE = 99 Km ²			

Ces valeurs sont la moyenne de plusieurs mesures.

6.2 LES EFFETS DE L'EROSION HYDRIQUE.

Avec tous les facteurs agissant très souvent simultanément, l'érosion hydrique se manifeste de manière brutale et variée dans la zone tropicale, ce qui rend impératif la lutte qu'il faut mener contre elle. Les manifestations de l'érosion sont multiples et résultent d'une action mécanique directe de la pluie et d'une action indirecte.

Avant de faire une estimation de la gravité du phénomène, nous exposons d'abord les différentes formes d'érosion dans le bassin.

6-2-1: Les effets mécaniques.

Les effets mécaniques peuvent être scindés en deux phases:

6-2-1-a Le "splash" ou l'attaque du sol par les gouttes d'eau.

L'énergie de la goutte de pluie, en tombant sur le sol, arrache les particules de sols, créant ainsi l'érosion "splash" ou érosion de rejaillissement. L'impact de la goutte de pluie entraîne l'éclatement des agrégats et le déplacement des particules. Ainsi, si le terrain est pentu, un rejaillissement des particules entraîne, par suite de l'action conjuguée de la pesanteur, un déplacement plus fort vers l'aval, d'où une érosion en nappe même sans ruissellement. L'effet "splash" dépend de plusieurs facteurs comme la couverture végétale, l'humidité du sol, la teneur en matière organique, l'instabilité structurale, etc...

La photo 6-4 montre l'érosion en nappe au pied d'un baobab à YEBA II.

6-2-1-b. L'effet du ruissellement: les formes d'érosion.

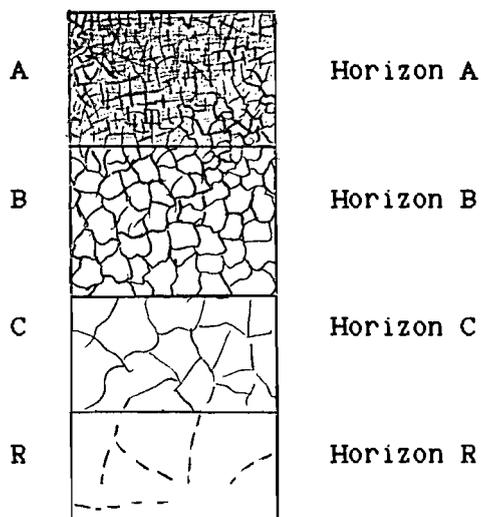
Après l'action splash créée par la goutte de pluie, le ruissellement intervient et assure le transport des particules dès que le sol ne peut plus absorber la pluie tombée. Le transport a des effets spectaculaires et se fait de plusieurs manières: solutions, suspension, saltation, roulement. Le ruissellement agit simultanément avec l'effet "splash" pour donner des formes d'érosions différentes.

6-2-1-c: L'érosion en nappe: le ruissellement diffus.

L'eau et le sol forment un mélange homogène qui coule comme une nappe le long de la pente. Les signes ne sont pas très visibles mais le sol est lourdement affecté:

- diminution de la couche superficielle, les particules fines partent avec les éléments fertilisants et il ne reste plus que l'horizon B en surface. Dans la nomenclature et la désignation internationale des couches de sol, nous distinguons les horizons A, B, C et R (Lire pages 27a et 27b).

L'observation du profil des sols montre une succession de couche ou horizon dont la désignation a fait l'objet d'une nomenclature internationale (voir schéma ci-dessous).



Les caractéristiques de ces différents horizons sont:

A: Horizon différent de la roche-mère par une simple désagrégation physique. C'est l'horizon de surface contenant de la matière organique, souvent appauvri en colloïdes (argiles) ou en fer par le lessivage.

B: "Structural": degré d'altération plus élevé que celui de la roche-mère sous-jacente, structure plus compacte que celle de l'horizon A. Absence de matière organique.

"Textural": différent de A par son enrichissement en colloïdes et fer

C: matériau originel plus ou moins altéré.

R: roche-mère.

G: gley de couleur gris verdâtre avec des taches de rouille: au niveau supérieur de la nappe phréatique.

g: pseymo-gley, au niveau des nappes temporaires: taches grises sur fond ocre.

Ca: horizon enrichi en carbonate.

Les horizons A et B sont subdivisés en plusieurs parties:

A₀: horizon organique, superposé au sol minéral;

- A₁: mélange de matières organiques et de matières minérales;
- A₂: horizon pauvre en matières organiques, souvent lessivé en argile
et en fer;
- A₃ ou A/B: transition entre horizon éluvial et illuvial: début
d'accumulation des colloïdes.
- B₁ ou Bh: partie supérieure enrichie en humus (podzol);
- B₂ ou Bfe: partie inférieure enrichie en argile et en hydroxydes.

L'horizon B est caractérisé par une structure plus compacte que celle de l'horizon A et une absence de matière organique. Son degré d'altération est plus élevé que celui de la roche-mère (R) et sa texture est différente de celle de l'horizon A, par son enrichissement en colloïdes (argile) et en fer. La diminution de la couche superficielle dépend de l'importance des pentes;

- accumulation de terres derrière les touffes d'herbes;
- pierres et éléments grossiers apparaissent à la surface. Les phénomènes sont nettement remarquables dans la zone 1;
- éléments fins accumulés au bas des pentes: (secteur 2).

L'érosion en nappe est fortement liée au ruissellement superficiel ou ruissellement diffus qui est à la base de tous les autres types d'érosion.

L'érosion en nappe (perceptible dans la zone 1) se combine très souvent avec les autres types d'érosions (ci-dessous).

Il apparaît ainsi pratique qu'une prévention contre l'érosion en nappe est un meilleur moyen de lutte contre l'érosion, en ce sens qu'elle est le premier signe du processus d'érosion.

6-2-1-d: L'érosion en rigoles et en griffes.

Ce type d'érosion va toujours avec l'érosion en nappe et apparaît pour peu qu'il y ait une pente. L'eau qui ruisselle trouve un chemin d'écoulement et très vite creuse de petits canaux qui se rassemblent en rigoles. L'eau creuse le sol, arrive à attaquer l'horizon B et défigure le terrain, rendant difficile et même impossible le travail mécanique.

Ce type d'érosion se rencontre dans tout le bassin versant. Avec l'action du relief et de l'homme, les rigoles se transforment en des ravins (zone 1).

6-2-1-e: L'érosion en ravines et ravins.

Cette érosion attaque la couche arable et les couches les plus profondes du sol jusqu'à la roche mère. La profondeur varie de 50 cm (dans le cas des ravines elle est inférieure à 1 m) à plusieurs dizaines de mètres (dans le cas des ravins elle dépasse 1 m). A Sébikotane dans la zone 1 (Koutane, Yéba)

les profondeurs dépassent parfois 1.5 m avec des largeurs de 7 m en moyenne.

L'érosion en ravines est souvent créée par l'action de l'homme. Elle est accélérée par le surpâturage, le déboisement et la détérioration du couvert végétal. Le décapage dépasse quelques fois la possibilité de régénération de la couche arable, entraînant à plus ou moins long terme, l'impossibilité de mise en culture. On localise ce cas sur les drains de la zone 1.

6-2-2: Les effets chimiques de l'érosion hydrique.

Toute érosion est généralement sélective. Elle entraîne les éléments fins en suspension ainsi que les éléments fertilisants en solution, souvent riches en ions. Ces pertes en éléments fertiles sont presque toujours très grandes et dépassent souvent dix (10) fois celle correspondant au seul décapage du sol en place.

En plus des effets mécaniques et chimiques, l'érosion des sols peut entraîner d'autres conséquences. Le phénomène d'érosion peut avoir un effet direct sur la disponibilité en eau (diminution de la perméabilité, de la recharge des nappes). Les conséquences indirectes peuvent être des dégâts matériels et en vies humaines, des inondations, le colmatage des barrages, l'inadaptation du sol aux cultures.

A Yéba II des tombes sont détruites par le ravinement (photo 6-3).

6-3: ESTIMATION DE L'EROSION.

Avant de procéder à l'estimation de l'érosion il est opportun de signaler qu'une bonne estimation de l'érosion des sols nécessite l'aménagement de PARCELLES D'OBSERVATION dont les caractéristiques physiques et climatiques sont bien connues: pente uniforme, couvert végétal, pratiques antiérosives. La pluviométrie (intensité, durée, hauteur moyenne annuelle des pluies) devra être nécessairement connue. C'est pour cette raison que nous avons essayé de déterminer ces paramètres.

L'objectif visé dans cette étude est de montrer l'ampleur du phénomène, par des chiffres estimatifs. En effet, Il est inutile de chercher trop de précision sur les paramètres, quand on sait que les formules existant dans ce domaine sont très approximatives et que les valeurs des paramètres que nous utilisons sont souvent sous-estimées.

Pour mieux utiliser les équations et abaques caractéristiques de l'érosion, nous devons choisir des parcelles de dimensions limitées surtout en longueur. La longueur de la parcelle d'observation se mesure dans le sens de la pente supposée uniforme. Plus la longueur de la parcelle est grande, plus grande sera l'énergie de ruissellement et donc l'érosion. Ainsi, afin d'être raisonnable (de ne pas sur-estimer le phénomène), nous supposons que la longueur est égale à celle de la parcelle de référence de WISHMEIER (L=72.6 pieds # 22.12m). Cette longueur étant retenue pour chacune des trois zones, nous déterminerons l'érosion dans cette aire de longueur L=22.12m puis nous ferons une extrapolation sur toute la zone considérée. La sommation pour les trois zones nous donnera une idée GLOBALE de l'érosion sur tout le bassin versant.

Le TABLEAU 6-4 donne la procédure de calcul adoptée.

Dans le cadre de la lutte antiérosive nous supposons que les pentes seront progressivement diminuées dans le temps (surtout au niveau de la zone 1). Ainsi si la pente de la zone 1 diminue jusqu'à 8% et si les pentes des deux autres zones diminuent jusqu'à 2%, alors les valeurs de SL correspondantes vont changer et deviendront:

$$- 0.84 \text{ pour la zone 1 : } 72.6^{0.5}/100 * (0.76+0.53*8+0.076*8^2) = 0.84$$

$$- 0.18 \text{ pour les zones 2 et 3: } 72.6^{0.5}/100 * (0.76+0.53*2+0.76*2^2) = 0.18$$

Des plantes à développement rapide seront prévues dans les pratiques bio-culturelles de même que des labours isohypses. Dans la zone 1 les plantes de couverture seront accompagnées par des ouvrages mécaniques (chapitre 7).

A cet effet les valeurs des Indices C et P seront changées et correspon-

dront approximativement à celles données au tableau 6-4 (indices primés "'").

L'érosion sera ainsi diminuée de plus de 80% . Cependant il faut signaler que ce coefficient de réduction ne sera atteint que lorsque toutes les pratiques prévues seront bien réalisées et que L'ENTRETIEN soit un processus continu: l'affaire de tout un chacun parmi les bénéficiaires.

Tableau 6-4: TABLEAU D'ESTIMATION ET DE PREVISION DE L'EROSION HYDRIQUE

DESCRIPTION	FORMULE	UNITE	RESULTATS				OBSERVATIONS
			ZONE 1		ZONE2	ZONE3	
			ECH. 1	ECH. 2			
Pente S %	mesurée sur carte	%	10.0		3.0	2.0	-Zonage
Intensité de la pluie de 30mm de durée pour une récurrence 1 an	Abaques I.D.F. SENEGAL	I_{30} mm/h	67.0		67.0		- Chapitre 2
Intensité de la pluie de 1h de durée pour une récurrence annuelle		I_{1h} mm/h	48.0		48.0		On suppose une pluie de durée moy. 1hr car la plupart des averse sont brèves
Energie cinétique totale de l'orage W	$W=1214 + 890 \log I_{1h}$	t.m./Km ² /mm	29.8		29.8		- Chapitre 1
Indice d'agressivité climatique annuel R	$R = \frac{W \times I_{30}}{1735.6}$	-	105		105		- Chapitre 1
Indice moyen d'agressivité climatique par la formule de ROOSE R_{am}	$R_{am} = \frac{R}{H_{am}}$ 0.50±0.05	-	330		330		- $H_{am} = 660$ mm - Dans notre cas on prend: $R_{am} = 0.50 \times H_{am}$
Indice annuel moyen d'agressivité climatique	Abaque de WISHMEIER dressé par ROOSE	mm/an	310		310		- Tiré de l'esquisse de la répartition de R_{am} en Afrique de l'Ouest - Esquisse basée l'éq. de Roose

TABLEAU D'ESTIMATION ET DE PREVISION DE L'EROSION HYDRIQUE (suite)

DESCRIPTION	FORMULE	UNITE	RESULTATS				OBSERVATIONS
			ZONE 1		ZONE2	ZONE3	
			ECH. 1	ECH. 2			
% de silt et de sables très fins. (diamètre de 0.002 à 0.1mm)	courbes granulo-métriques	%	50.5	43.5	29.5	15.0	Chapitre 5
% de sable entre 0.1 et 2.0mm	courbes granulo.	%	15.0	40.0	34.0	68.5	Chapitre 5
% de matières organiques	analyses de sols	%	0.38	3.08	1.53	1.94	Chapitre 5
1ère approximation de l'érodabilité des sols K	Abaque de WISHMEIER -CROSS	-	0.275	0.215	0.120	0.08	- fig. 1-2 (page 13)
Type de structure des sols	fig.1-2	-	2	2	2	2	2. finement polyédrique
Type de perméabilité	fig.1-2	-	4	4	5	5	4.lente à modér. 5.lente
FACTEUR D'ERODABILITE DES SOLS K	Abaque de WISHMEIER -CROSS	-	0.30	0.23	0.16	0.13	valeur utilisée dans l'éq. 1-5
Indice moyen d'agressivité climatique par GALLABERT et Al. H=80% de H (voir ch.2 ^{am} pl. mens.)	R= 0.01572* H*I - 30 1.179	-		555		555	-Régression établie pour les mêmes types de sols au Burkina, Niger et donc probablement applicable en Afrique de l'ouest.
Pratique antiérosive Indice P de pratique culturale		-		0.85		0.85	-actuellement il n'y a pas de prat. antiéros. à proprement parler

TABLEAU D'ESTIMATION ET DE PREVISION DE L'EROSION HYDRIQUE (suite)

DESCRIPTION	FORMULE	UNITE	RESULTATS				OBSERVATIONS
			ZONE 1		ZONE2	ZONE3	
			ECH. 1	ECH. 2			
Indice C de couvert végétal.	tableau	-	0.60	0.50	0.80	0.70	-fonction du couvert végétal - fonction du type de plante <u>hypothèse</u> :maïs, mil, arachides..
Facteur topographique SL	Abaque basée sur $SL = L \cdot \frac{S^5}{100} \cdot (.76 + .535 \cdot S + .076 \cdot S^2)$	-	1.15	1.15	0.25	0.20	-fonction de la pente S et de la longueur L -En Afrique on considère souvt. L = 22.12m
Perte en terre (érosion) E° sans les tech. antiérosives (actuellement)	$E = 2.24 \cdot R \cdot K \cdot SL \cdot P \cdot C$	t/ha/an	130.1	83.1	20.1	11.4	-on considère la médiane de R soit R = 330
Pertes en terre moyenne dans chaque zone.	E_z	t/ha/an	106.6		20.1	11.4	
Aire de la ZONE	A Planimét.	ha	3418		1697	4785	
Pertes à l'échelle de la zone	$A \cdot \frac{E_z}{z}$	Kt/ha	364.4		34.1	54.6	
Pertes en terre à la dimension du bassin versant.			453 100 t / an.				
Erodabilité moyenne K		-	0.265		0.160	0.130	-On ne peut pas agir sur K -Zone1: K= (0.30+0.23)/2
SL' (val. visée)	Courbe $SL = f(S, L)$		0.84		0.18	0.18	-Lire page 30
Indice C' (val. visée)	Tabl.1-1	-	0.40		0.40	0.40	- zones : 0.40 (plante hâtive) - maïs ... améliorés

TABLEAU D'ESTIMATION ET DE PREVISION DE L'EROSION HYDRIQUE (suite)

DESCRIPTION	FORMULE	UNITE	RESULTATS			OBSERVATIONS	
			ZONE 1		ZONE2		ZONE3
			ECH. 1	ECH. 2			
indice P' (val. visée)	Tabl.1-2	—	0.10		0.50	0.50	— muret (Zo.1) couvert vivant..
Pertes en terre E' (avec praž. antiéros.)	même équation	t/ha/an	6.58		4.26	3.46	—E' =perte dans la zone après la réalisat° du ré- seau antiérosif
Perte en terre par ZONE E'		kt/an	22.50		7.23	16.56	— E' =pertes dans le B.V. après le réseau antiéros.
— Pertes en terre prévue après réalisation des ouvrages antiérosives: 46 300 t/an — Pourcentage de réduction des pertes en terre: $(453.1 - 46.3)/453.1 \times 100 = 89.8\%$							

PHOTO 6-1: Le ravin dépasse 1 m de profondeur et 10 m de large (YEBA II).



PHOTO 6-2: érosion en nappe et en rigole à côté de Koutane Sérère.



PHOTO 6-3: L'érosion a détruit la tombe et mis à nu les racines de l'accacia. (YERA II).



PHOTO 6-4: Erosion en nappe au pied d'un baobab à YERA II.



PHOTO 6-5: l'érosion a atteint l'horizon B et les ravins dépassent 1.50 m de profondeur (YEGA I).



PHOTO 6-6: Erosion en nappe au pied d' un manguiier (Koutane Sérère).



PHOTO 6-7: Erosion en nappe, les rigoles commencent a apparaître sur distance moyenne (Sud de Dëni Tierigne).



BASSIN DE PANÉTIOR

-  Prairie ou steppe
-  forêt sèche peu élevée
-  Savane arborée ou arbustive.
-  avec arbres
-  Savane boisée ou forêt claire

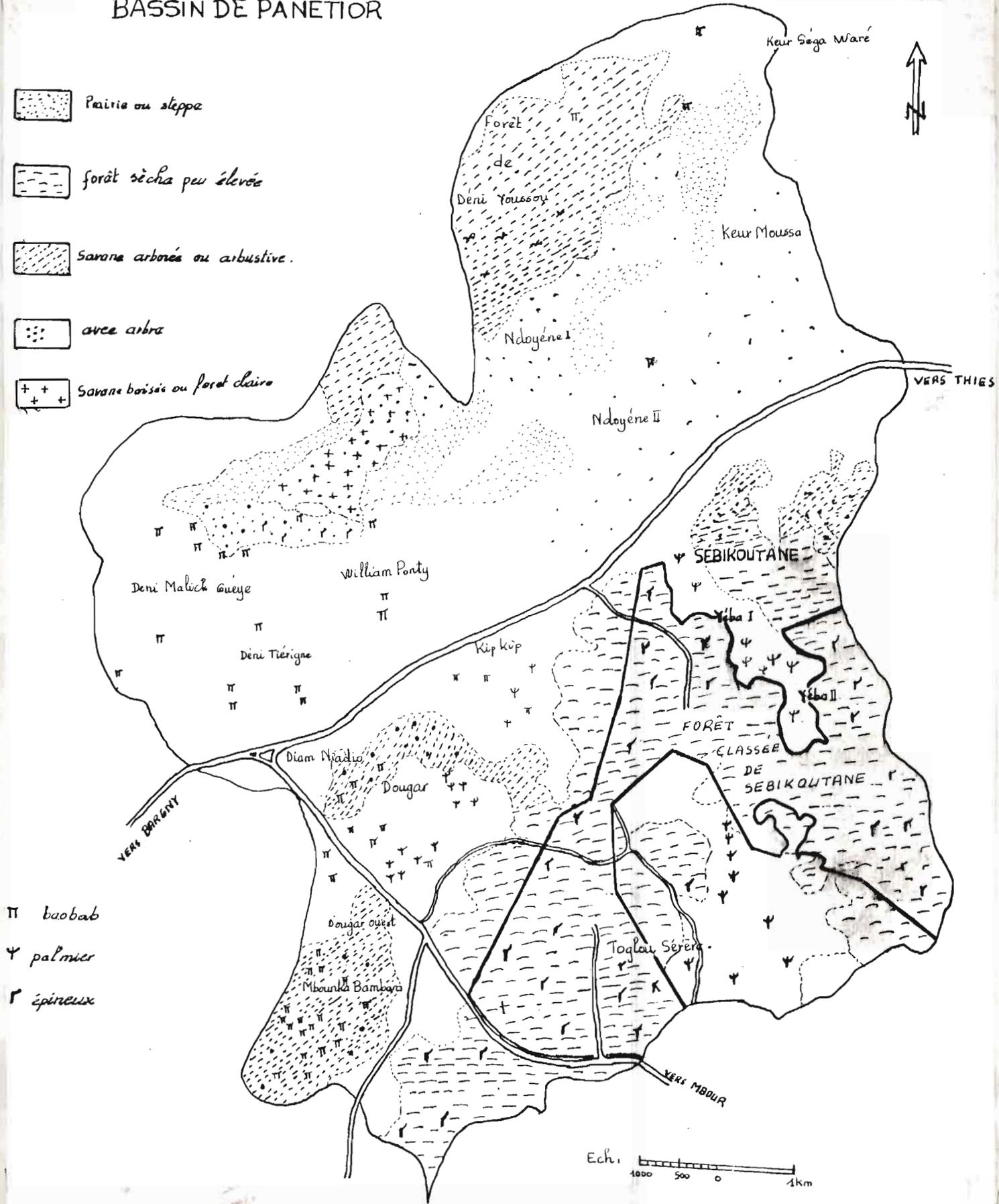


Fig. 6-2: Couverture végétale du bassin

CHAPITRE VII

TITRE

LES TECHNIQUES ANTIEROSIVES

CHAPITRE VII

LES TECHNIQUES ANTIÉROSIVES

Pour promouvoir une bonne protection contre l'érosion, il est souvent nécessaire de combiner plusieurs moyens de lutttes antiérosives. Ainsi les procédés biologiques, les procédés culturaux et quelques procédés mécaniques seront combinés en vue d'améliorer l'efficacité de la lutte antiérosive.

7-1: LES PROCÉDÉS BIOLOGIQUES

Les procédés biologiques consistent à conduire et à utiliser les cultures de telle sorte que la végétation exerce une protection efficace contre l'érosion. Ils ont la vocation:

- d'augmenter l'occupation du sol dans le temps et dans l'espace, par les parties aériennes et souterraines de la végétation.
- d'améliorer ou de maintenir l'équilibre minéralisation-synthèse organique (humification), fondement de la conservation biologique des sols (fertilité et résistance du sol à l'érosion).

Les procédés biologiques sont nombreux. Nous développerons les plus usités puis nous ferons un choix compte tenu de l'adaptabilité de chacun d'eux.

-Techniques applicables aux cultures arbustives ou arborescentes

Ce sont en général:

- * la couverture vivante
- * le paillage ou mulching [artificiel ou naturel (bandes d'arrêt)]

-Techniques applicables aux cultures annuelles

- * Les rotations culturales ou les associations de cultures permettent une occupation du sol au maximum dans le temps et dans l'espace.

L'association des cultures augmente aussi les rendements.

- * L'enfouissement des résidus de cultures, la jachère ou les prairies temporaires permettent l'entretien et l'accroissement des réserves organiques du sol et sa fertilité.

Les engrais verts (mil, sorgho etc...) permettent aussi d'améliorer la fertilité du sol.

Les engrais verts: Leur utilisation est difficile si on ne les connaît pas très bien. Si l'engrais vert est enfoui très jeune, sa matière organique, riche en protéine et cellulose mais pauvre en lignine, est rapidement et presque entièrement décomposée par les micro-organismes du sol. S'il est enfoui à un stade de végétation trop tardif, sa matière organique, riche en lignine et pauvre en azote, échappe à une minéralisation rapide, mais l'humification est très lente et peut avoir un effet dépressif sur les cultures qui se trouvent privées de l'azote assimilable, utilisé par les agents microbiens de l'humification. Une carence d'azote serait préjudiciable aux cultures. En plus le choix de l'espèce dépend de plusieurs facteurs (le climat, le sol, l'époque de l'enfouissement, la culture suivante, le cycle végétal, le pouvoir couvrant, la capacité de production de matières organiques, etc...). En quelque sorte, l'utilisation des engrais verts nécessite une étude soigneuse des modalités de travail, ce qui fait que, dans le cas de l'érosion à Sébikotane, ils ne sont pas préconisés.

L'amélioration des propriétés chimiques du sol (la fertilisation) à l'aide d'engrais chimiques et de fumures fait partie des techniques adaptables aux cultures annuelles. Les engrais chimiques sont applicables aux cultures arbustives. Leurs prix semblent être relativement chers mais les fumures sont bon marché. L'utilisation des fumures par les paysans est à encourager.

La couverture vivante

Elle consiste à densifier la couverture végétale vivante et permet de

protéger les sols contre le ruissellement et l'érosion. Comme méthode pérenne, la couverture vivante permet, dans des conditions moins onéreuses que le paillage de protéger le sol des interlignes contre l'action de la pluie et du ruissellement tout en accroissant la capacité de résistance du sol à l'érosion par un apport d'humus.

Les plantes de protection (plantes de couverture, plantes d'ombrage) offrent plus de qualités que les engrais verts car l'efficacité de ces derniers n'est pas une évidence; elle est aléatoire.

Les graminées sont plus utilisés et plus efficaces dans la lutte contre l'érosion que les légumineuses. Comme graminées, les plantes fourragères du type Panicum antidotale sont très utilisées et s'adaptent bien à notre zone car elles poussent pour des pluies supérieures à 550 mm.

Les andropogon gayanus sont originaires de notre sous-région et s'appliquent très bien aux sols sablo-limoneux de notre bassin.

Les graminées retiennent mieux le sol en surface grâce à leur enracinement fasciculé (fig.7-1a). Ils peuvent être associés aux Vigna unguiculata (niébé) qui s'adapte bien dans ce bassin.



Fig. 7-1a : Système d'enracinement d'une graminée.

Les graminées s'associent bien aux Leucaena sp. . Ceux-ci, appelés aussi "arbre du Sahel" par les spécialistes, sont efficaces dans la lutte antiérosive. Ils le sont beaucoup plus lorsqu'ils sont associés aux graminées (Alley Farming), (fig. 7-1b).

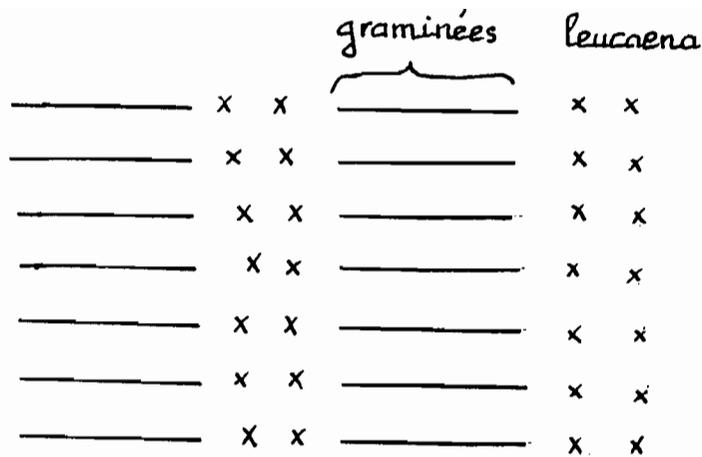


Fig. 7-1b : Schéma d'un Alley Farming.

Le Stylosanthes guyanensis (ex gracilis) est pérenne et est aussi très utilisé au Sénégal.

Des combinaisons peuvent être effectuées au niveau de toutes les zones de notre bassin d'étude.

Le paillage ou mulching

Il consiste à recouvrir la surface du sol d'une couche de matière végétale morte, de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur. Ce procédé risque d'être soumis aux insuffisances des volumes de couvertures mortes produits dans la zone. Son application poserait un problème d'approvisionnement en paille et le défrichement d'autres terrains qui seraient à leur tours, mis à nu. Le paillage augmente aussi les risques d'incendies. Ainsi avec l'intense activité dans cette zone et l'occupation humaine de l'espace, nous ne préconisons pas le paillage comme moyen de lutte. En effet, le paillage risque de ne pas être pratique, même s'il offre en soi une bonne efficacité dans la lutte antiérosive.

Par contre les résidus de cultures peuvent être enfouis dans le sol ou mis au niveau des ravines (voir correction des ravines) afin d'augmenter la fertilité et la résistance des sols à l'érosion.

Les cultures qui laissent le sol nu ou mal protégé à l'époque des pluies intenses, exposent davantage le sol à l'érosion que celles dont le couvert est mieux développé à pareil époque. Dans nos pays tropicaux nous pratiquons

très souvent des cultures sarclées telles que le coton, l'arachide, le maïs, les pommes de terres etc... . Ces cultures sarclées favorisent l'érosion (mauvaise couverture du sol, sarclage) et il serait très intéressant de sensibiliser les paysans à les associer sur la même sole avec d'autres cultures productives ou des plantes à couverture.

L'association de cultures permet une meilleure occupation du sol. Elle doit être faite avec des plantes à cycles différents, ce qui diminuerait le sarclage et les risques d'érosion. L'association peut se faire en cultures dérobées (une culture suit immédiatement une autre culture qui jouera un rôle de protection en plus de l'impact économique (ex. niébé-pois dolique...)).

La culture en bandes alternées consiste à disposer, perpendiculairement à la pente, les cultures en une série de bandes successives de telle manière qu'au moment où une bande reste dénudée ou bien porte une culture favorable à l'érosion, les deux bandes adjacentes soient couvertes de végétaux capables d'intercepter l'eau de ruissellement et de réduire la vitesse d'écoulement.

La jachère est une terre en repos, hors de culture. Elle fait partie d'un assolement, qui a été précédemment cultivée et sur laquelle l'Homme n'intervient pas. Elle s'inscrit dans une rotation culturale. Les terres en jachère peuvent être naturelles ou cultivées lorsqu'elles bénéficient de façons culturales ou sont enrichies par des légumineuses.

La jachère, même si elle apparaît désuète dans les pays modernisés, reste valable et toujours applicable dans l'agriculture de nos pays tropicaux.

En récapitulant les procédés biologiques, on peut dire qu'à l'exception des engrais verts et du paillage, les paysans pourraient tenter de combiner certaines des autres pratiques biologiques, qui sont d'une manière générale des règles de conduite visant l'amélioration de la qualité des sols:

- la couverture végétale vivante appliquée aux cultures arbustives
- les rotations et associations de cultures pour les cultures annuelles

- l'enfouissement des résidus de cultures
- prairies temporaires sur les terres en jachère pour le bétail car on note une activité d'élevage qui se développe de plus en plus.

Les engrais verts comme le mil et le sorgho sont maîtrisés par certains paysans mais leur efficacité contre l'érosion est très aléatoire.

7-2: LES PROCÉDES CULTURAUX.

Il est de pratique utile de concilier les exigences de la culture avec celles de la conservation du sol de façon appropriée aux conditions de sol, de relief et de climat pour ne pas obtenir le contraire de l'effet visé auparavant:

- interdire certaines façons culturales;
- éviter le sarclage et le binage;
- éviter certains engins motorisés qui peuvent compacter le sol et modifier sa texture et sa structure. Les risques liés à ces grands engins ne sont pas à craindre car l'agriculture de nos pays est encore peu mécanisée.

7-2-1 Le labour à plat en courbe de niveau:

Le labour, fait suivant les courbes de niveau, entraîne des sillons perpendiculaires à la ligne de plus grande pente, très proches les uns des autres et constituant des retenues d'eau.

Si les pentes sont fortes (>25%) ces labours sont inefficaces, s'ils sont appliqués seuls comme moyen de lutte antiérosive. Pour ce qui concerne notre bassin versant les pentes sont nulles, à assez fortes par endroits (sur le massif) mais toujours inférieures à 25% . Si les pentes sont faibles, ce type de labour est particulièrement efficace. Son efficacité décroît dès que la pentes dépassent 4% . Cependant aucun résultat ne permet de fixer la

valeur de l'effet de la pente. Le labour isohypse est très applicable dans les zones 2 et 3 où les pentes sont faibles et moyennement applicable dans la zone 1. Son utilisation favoriserait la construction de terrasses progressives dans le temps.

7-2-2: La culture en billons:

La technique du billonnage suivant les courbes de niveau ou faiblement inclinées est la même que celle du labour isohypse si les billons sont placés dans la direction des courbes de niveau. Le billonnage réalise, quel que soit le type, une retenue d'eau plus importante que le labour isohypse du fait de la hauteur des billons. La hauteur des billons, définie par rapport au fond des interbillons, varie de 0.15 à 0.40 m. Elle dépend de la nature de la plante cultivée sur les billons, de la profondeur du sol et aussi du régime des pluies. En effet, la capacité des interbillons doit être suffisante pour éviter, autant que possible, le débordement par dessus les billons lors des fortes pluies. Les billons inclinés ne doivent pas avoir une pente longitudinale de plus de 2‰ afin de contrôler les vitesses de ruissellement suivant cette pente.

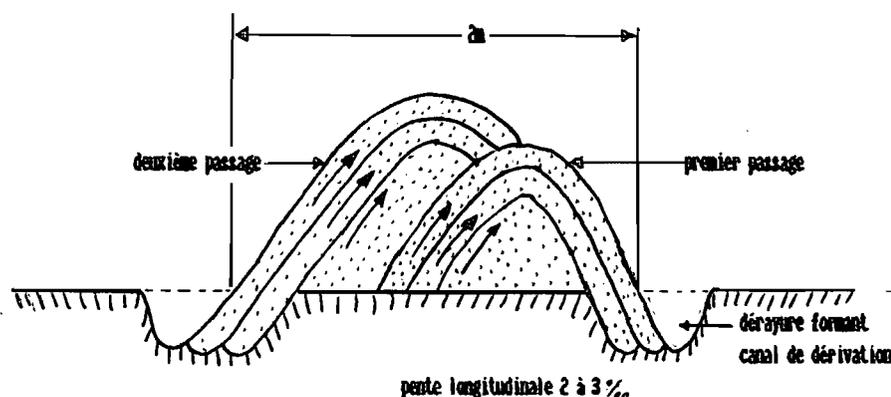


Fig.7-2: — Formation d'un billon

Dans nos pays à pluviométrie faible ou irrégulière le cloisonnement des billons améliore la lutte antiérosive et les réserves hydriques.

En plus de son action antiérosive, le billonnage remédie à l'insuffisance

de profondeur du sol. Il procure à la culture sarclée la terre meuble dont elle a besoin pour fructifier et favorise la production des plantes à tubercules.

Cependant le billonnage possède des inconvénients. Il laisse subsister l'érosion "splash" entre les crêtes et le creux d'un billon et exige la dextérité du cultivateur du fait de sa difficulté.

En plus le billonnage et le buttage lorsqu'ils sont associés présentent un risque (même s'ils assurent un bon développement racinaire). En fait ils augmentent la surface d'infiltration du sol (diminution du ruissellement) et la pente moyenne du terrain et donc l'érosion qui varie de façon exponentielle avec la pente (formule 1-5).

D'autre part le billonnage ne serait pas efficace là où les pentes sont moyennes à assez fortes et où les sols sont assez durs. A cet effet, nous ne recommandons pas le billonnage. En plus l'efficacité du billonnage est peu différente de celle du labour isohypse.

Le sous-solage et le défonçage (les travaux du sol en profondeur) qui consistent à ameublir le sol sans le retourner, nécessitent de gros moyens et ne sont donc pas préconisables.

Dans l'ensemble nous constatons que les sols sont meubles sur les parties basses et plus ou moins durs sur les parties élevées mais en général pauvres en matière organique. Dans les parties basses à l'Est du bras principal, les sols sont sableux faiblement argileux. Avec les pentes inférieures à 25%, une utilisation des cultures isohypses est facilitée. En plus, avec les sols lithiques du massif, les billons ne seraient pas très efficaces dans ces parties hautes. L'utilisation de ces labours isohypses favorise la réalisation de terrasses progressives car, avec la granulométrie sablo-argileuse, le sol est soumis à une reptation lors des précipitations.

Ainsi, en ce qui concerne les caractéristiques générales sur les sols peu ou pas lessivés, la pluviométrie aléatoire et faible, la topographie (relief

faible) et la granulométrie sablo-argileuse à sablo-limoneuse ils sont autant de critères dans le choix des labours isohypses dans les zones 2 et 3. La zone 1, avec son sol lithique dans sa partie élevée, sera protégée par un réseau mécanique dans lequel des mises en culture libre seront effectuées afin de réduire le "splash". Le labour suivant les courbes de niveau serait applicable dans les parties basses de la zone 1, en association avec les pratiques biologiques car, les sols y sont sableux fins.

7-3: LES PROCÉDÉS MÉCANIQUES

En plus des procédés biologiques et culturaux il est intéressant et même recommandé de compléter la lutte antiérosive par des procédés mécaniques là où les pentes du terrain naturel dépassent un certain seuil qui est de l'ordre de 3% . Dans ce cas, il est tout à fait opportun d'envisager la réalisation des travaux de terrassement dans la zone 1 de Yéba etc...

7-3-1 Présentation des divers procédés mécaniques

Les ouvrages existant dans ce domaine sont nombreux et leur efficacité dépend des conditions naturelles du terrain (pentes, climat etc...). Les principaux ouvrages sont les gradins, les terrasses, les fossés, les murettes de pierres, les diguettes ou levées de terre et les banquettes.

7-3-1-1 Les gradins.

Ce sont des ouvrages de petite dimension, à profil triangulaire exécutés avec des outils manuels. Ils conviennent bien aux travaux de reboisement, d'engazonnement et d'aménagement des pentes destinés aux pâturages. Cependant ils sont réalisés seulement sur des terrains de très forte pente (>40%); ce qui les exclut de notre choix.

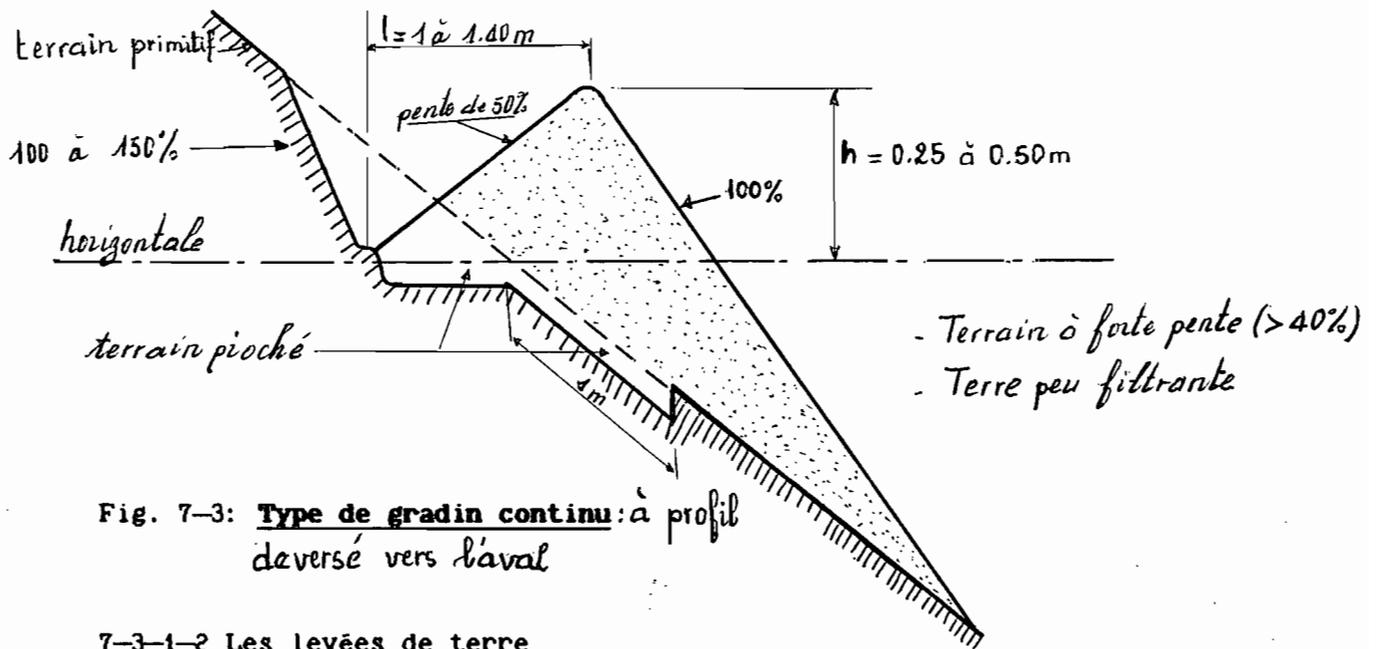


Fig. 7-3: Type de gradin continu: à profil
deversé vers l'aval

7-3-1-2 Les levées de terre

Ce sont des sortes de diguettes de faible hauteur destinées à retenir l'eau de ruissellement. Elles ne sont pas stables lorsque la pente naturelle atteint ou dépasse un certain seuil et elles présentent des risques d'éboulement. La nature pierreuse des sols sur massif fait que les diguettes ne sont pas adaptées à nos contraintes.

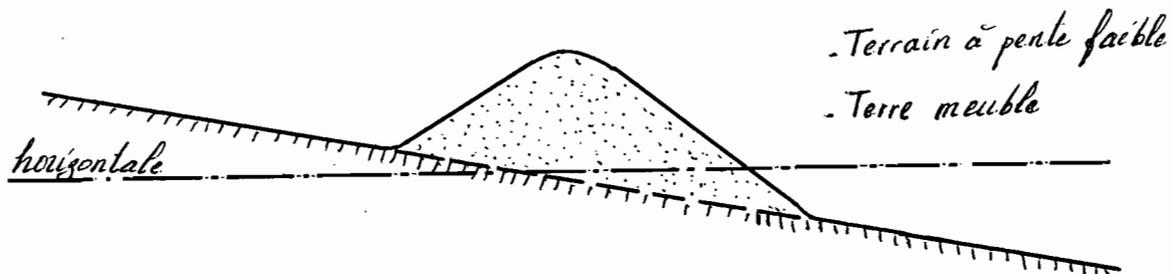


Fig. 7-4: Type de levées de terre

7-3-1-3 Les terrasses

Appelés en anglais "bench terraces", ce sont des plates-formes de terre horizontale (ou légèrement en contre-pente vers l'amont) de largeur variable disposées en marche d'escaliers sur un versant.

On utilise de plus en plus des procédés qui consistent à transformer progressivement en terrasse la surface du versant qui se trouve entre deux ouvrages. Ce procédé est possible par labour isohypse et par plantation de

haies vives (figure 7-5 ci dessous).

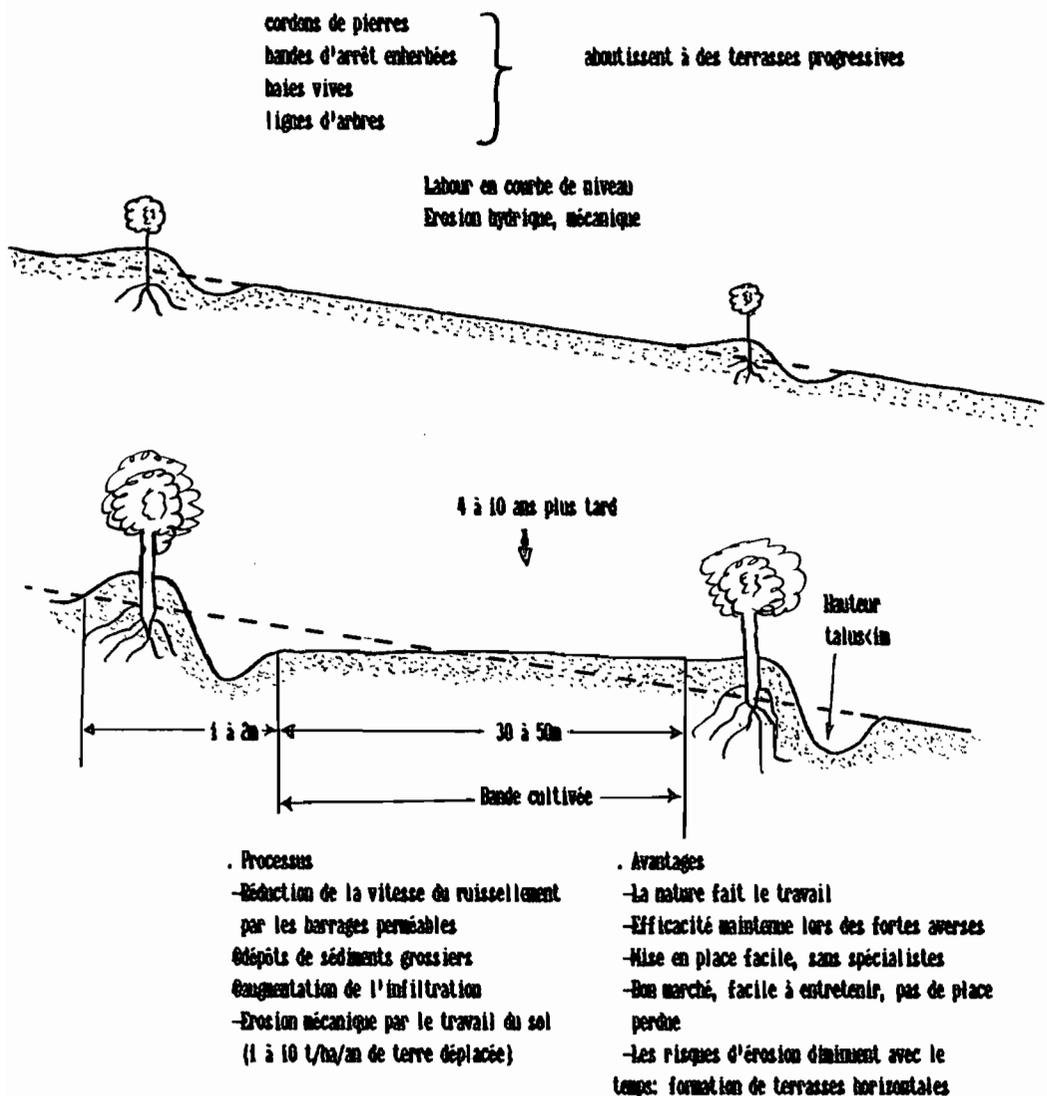


FIG 7-5: formation des terrasses progressives.

Cependant les terrasses construites d'emblée ou progressives ne sont pas sans risques (ravinement, érosion en nappe, dégradation, rupture en cas de pluie décennale). Les terrasses de diversion permettent d'éviter ces inconvénients mais elles demandent de gros moyens.

Les terrasses construites d'emblée nécessitent de gros moyens et ne se montrent efficaces que pour les fortes pentes. Elles entraînent un bouleversement des sols et un risque de décaper l'horizon humifère supérieur. A cet effet, les terrasses construites d'emblée ne peuvent pas être retenues dans

la zone 1 comme élément de défense mécanique.

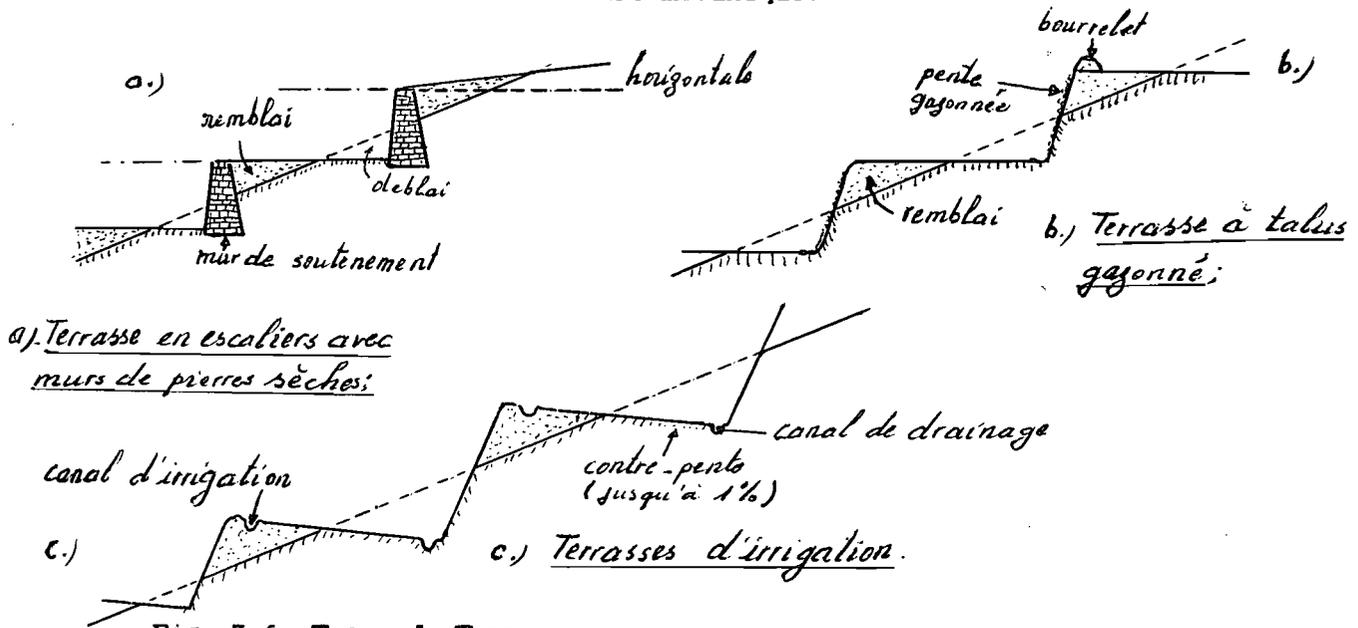


Fig. 7-6: Types de Terrasses

7-3-1-4: Les fossés

Un fossé est un ouvrage creusé, triangulaire ou trapézoïdal, dont la profondeur est supérieure ou au moins égale à la largeur du fond. Les figures ci-dessous montrent les types de fossés.

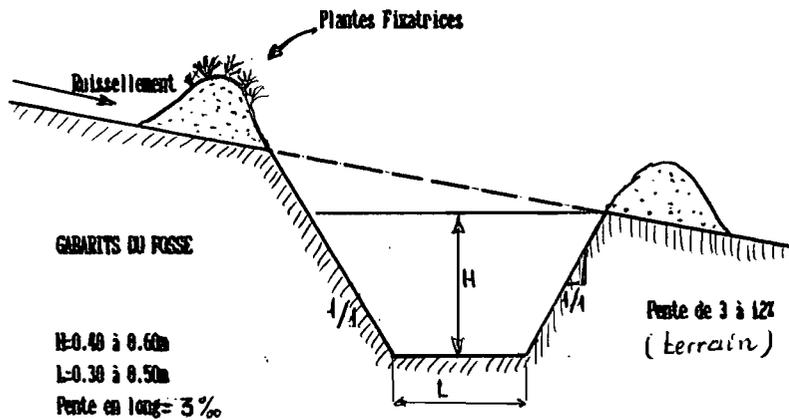
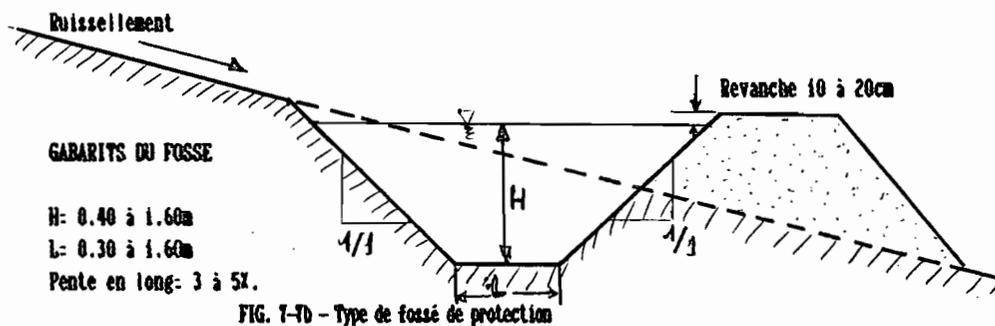


FIG. 7-7a - Type de fossé de diversion avec gros bourrelet en amont.

Les fossés de diversion avec gros bourrelet en amont sont généralement utilisés dans les pays à forte et moyenne pluviométrie. Ils ne peuvent pas être utilisés dans le cas de Sébikotane car notre zone est dans un climat semi-aride dit soudano-sénégalais.



Les fossés de protection, plus répandus, sont souvent doublés d'un autre fossé à l'aval afin de recueillir les débordements qui risquent de se produire lors d'une pluie exceptionnelle.

7-3-1-5: Les murets

Ce sont de petits murs en pierres sèches, construits plus ou moins suivant les courbes de niveau et dont la hauteur initiale ne dépasse pas 0.60m. Ils peuvent être appliqués sur forte pente ou sur pente moyenne, lorsque le sol est pierreux ou rocheux. La figure 7-8 ci-dessous montre un muret réalisé par les habitants d'un village au Niger. Les murets présentent ainsi des avantages certains dans la zone 1 où les pierres ne manquent pas, à côté de la pente moyenne.



FIG. 7-8

: - En 1972, près de la ville de Tchirozérine (à proximité d'Agadès) au Niger des nomades Touareg construisirent un mur de roches pour capter les eaux de crue. Les sols absorbent une couche d'humidité et les précipitations se transforment en crues "éclair". Au moyen de pierres recueillies dans les champs, les ouvriers Touareg ont construit huit murs de 1 mètre de haut à travers les plaines pour que le sol puisse retenir et absorber l'eau. Lorsque les averses de l'été sont tombées en 1973, l'eau retenue par les barrages et murs de pierres a inondé près d'un mille carré sur la plaine et de l'herbe a poussé événement extraordinaire dans cette région.

(OUSAN-AMERICA)

7-3-1-6: Les banquettes

Les banquettes ou "terraces" en anglais tout comme les terrasses sont les procédés mécaniques les plus anciens. Les banquettes sont des bandes de terres de largeur constante, disposées sur un versant et dont le profil comporte, de l'amont vers l'aval, un talus, un large fossé appelé fond ou sole et un bourrelet de terre. Dans le tableau schématique ci-dessous, on peut voir différents ouvrages mécaniques et certaines de leurs spécificités.

Répartition schématique des cultures en fonction de la pente

Pente	Ouvrages	Travaux	Densité des Ouvrages	Mise en valeur
>40%	Gradins ou Fossés étroits	Manuel	7 à 800m/ha	Boisement de protection, Prairie avec pâturage limité
30 à 40%	Banquettes à profil déversé	Mixtes	5 à 600m/ha	Boisement, Pâturage, Vergers de montagne.
20 à 30%	Banquettes à profil normal	Mécaniques	4 à 500m/ha	Vergers de montagne.
10 à 20%	Banquette à profil amorti	Mécaniques	250 à 350 m/ha	Vergers, Cultures.
3 à 10%	Banquettes à double ou triple courbure			
<3%	—	Néant	—	Cultures.

Les figures 7-9a et 7-9b montrent des types de banquettes.

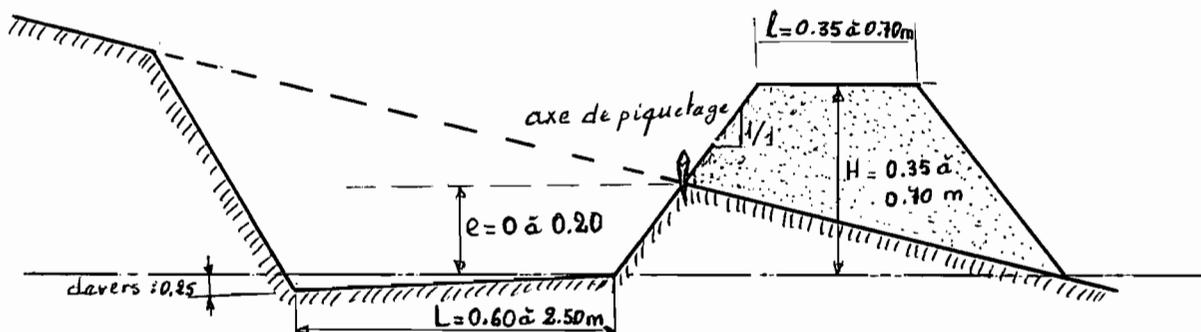


Fig. 7-9a: Type de banquette à profil normal

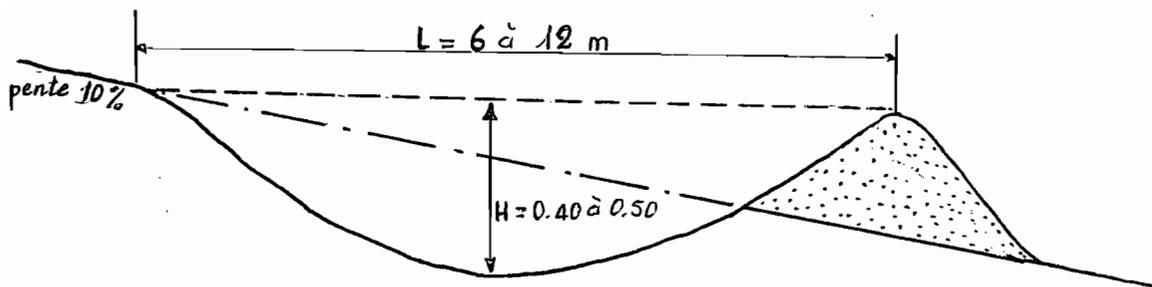


Fig. 7-9b: Type de banquette à profil amorti

7-3-2: Choix d'un réseau mécanique

Tous ces ouvrages cités ont des caractéristiques intéressantes et visent le même objectif qui est de réduire le ruissellement et par conséquent l'érosion. Cependant le choix d'un réseau type d'ouvrage mécanique s'impose et devra être effectué sur des bases réalistes. En effet les considérations d'ordre économique (ne pas gaspiller inutilement) nous poussent à choisir un réseau qui répondrait le mieux aux contraintes budgétaires et de milieu (climat, relief, etc...). Fort de toutes ces considérations les murets (murettes), les fossés de garde et les banquettes sont les plus adaptés à nos exigences.

Les murettes sont plus économiques et plus faciles à réaliser; elles ne nécessitent pas de matérialiser les courbes de niveau avec précision. Elles ne demandent pas beaucoup d'expérience et de qualification. Les paysans pourraient se les faire sans grande aide. Elles n'exigent qu'une mobilisation et un peu de moyens matériels et financiers. La réalisation des murets permettrait la constitution progressive d'une terrasse. Les murets conservent une grande porosité ce qui évite les ruptures brutales.

Malheureusement ces méthodes traditionnelles (murets et diguettes) fort intéressantes sont maintenant en voie d'être abandonnées sans raison, au profit des techniques importées. Avec ces méthodes traditionnelles l'efficacité des ouvrages serait optimisée.

Les banquettes sont très utilisées en Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie) comme moyen de lutte antiérosive. Cependant les avis sur les ban-

quettes restent partagés. Les géomorphologues concluent à l'inefficacité des banquettes, tandis que les avis des forestiers sont beaucoup plus divergents.

Mais on retient unanimement que la banquette n'est efficace que dans un cadre très précis: les pluies doivent être brèves très intenses mais peu fréquentes et survenant en été seulement de façon à ruisseler sur un sol sec et peu perméable.

Les sols limoneux conviennent à l'établissement de banquettes, à condition que la pente ne dépasse pas 8%, de façon à conserver un rapport raisonnable entre les volumes de terre remuée et d'eau stockée derrière le bourrelet. On constate que les conditions de pluies dans la sous-région et dans le cas de Sébikotane remplissent les conditions précitées, mais le type de sol lithique que nous avons sur le massif n'est pas très adéquat pour les banquettes.

Lorsque les pluies durent très longtemps, le sol peut être complètement saturé et le ruissellement hypodermique affleure au fond du fossé de la banquette et stagne. Dans ces conditions, la banquette de rétention se comporte comme un barrage en terre non compactée sans déversoir aménagé: il y a rupture au point de faiblesse. On observe un soutirage sur les pieds des fondations, un débordement au point le plus bas ou encore des renards exploitant des galeries d'animaux fouisseurs qui affectionnent les terres fraîchement remuées du bourrelet.

Les banquettes de diversions évitent ces inconvénients. Elles ont été utilisées au Burkina Faso et leur efficacité n'était pas celle attendue.

Les banquettes nécessitent des compétences et beaucoup d'expériences pour que leurs actions soient efficaces. En effet si les banquettes sont mal faites on assistera à un gaspillage de moyens et à un déséquilibre du milieu écologique. Les banquettes sont plus complexes à réaliser et demandent souvent des experts: topographes, conducteurs de travaux, d'angle dozers etc...

Au Burkina Faso, au Niger et au Mali la lutte antiérosive est assez avancée

et les observations ont montré que les méthodes traditionnelles sont plus efficaces et moins dispendieuses.

A la lumière de toutes ces caractéristiques des divers ouvrages le choix des murets en pierres s'impose, ce qui serait moins difficile à réaliser, plus économique et suffisamment fiable. Les fossés de protections sont applicables compte tenu du relief moyen du massif et des sols sablo-limoneux en surface. Les fossés complètent souvent les réseaux mécaniques de défense antiérosive. Par conséquent la place des fossés est indéniable dans la constitution de notre réseau. Ce réseau de défense et restauration mécanique des sols est donc une combinaison de murets et de fossés.

Au sommet du massif sur les pentes assez fortes à moyennes un Fossé de garde (protection) empêche les eaux du plateau de ruisseler sur le versant. Ses dimensions dépendent de la quantité d'eau qu'il doit récupérer. Il y aura évidemment les techniques bio-culturelles préconisées, sur les sommets du massif (Figure 7-10).

Sur les versants, dans les pentes assez fortes à moyennes des Murets réduiront l'énergie de ruissellement de la pluie tombée entre le fossé de garde et le fossé Ados-aval. Leur hauteur varie de 0.50 à 0.70 m et leur largeur est de 0.80 m environ. Ces murets seront d'autant plus rapprochés que la pente est forte (pour conserver la terre entre deux murets et faciliter l'infiltration d'eau). Les cultures seront effectuées au niveau des terrasses à lit en pente (intervalle entre les ouvrages).

Plus bas, sur les terres cultivées, les murets sont remplacés par des fossés dont la terre est rejetée vers le bas de la pente: il s'agit des Fossés Ados-aval. Pour éviter que cette terre soit emportée par les averses, elle est tassée et lorsque c'est possible recouverte de pierres.

Le curvimètre NQ 61 M8 (grandeur nature) nous a permis de mesurer les longueurs des courbes de niveau 60 m et 80 m de la zone 1 où se dresserait le réseau mécanique de défense.

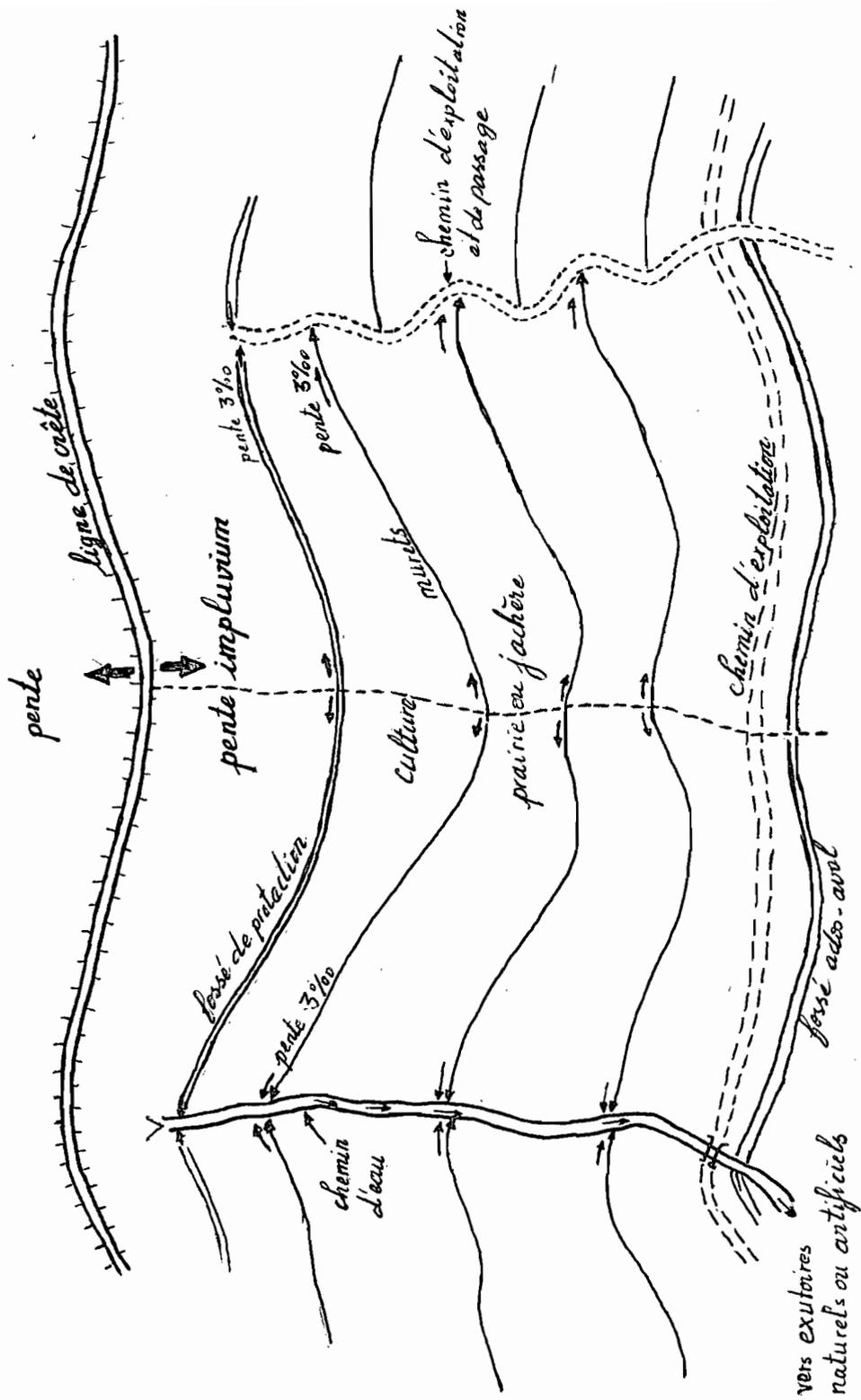


Fig. 7-10 : Schéma du réseau de défense mécanique.

Courbe de niveau 60 m : longueur = 13.2 Km

Courbe de niveau 80 m : longueur = 10.2 Km

L'aire qui doit être traitée mécaniquement est comprise entre les courbes de niveau 60 et 80 m du cordon Yéba-Koutane. Cette aire est arrêtée au niveau du bassin versant. Elle est vue sur de la carte de localisation des ponts et zonage du bassin (Figure 6-1). L'aire à traiter est égale à 2.55Km².

AIRE A TRAITER : 2.55 Km² soit 255 ha.

7-4: CORRECTION DES RAVINES

Les techniques proposées jusqu'à maintenant visent essentiellement la défense prévisionnelle des sols mais ne permettent pas de corriger les plaies déjà existantes. Par conséquent, un système de correction s'impose surtout dans la zone 1 où l'érosion est plus sévère. Les techniques de correction sont nombreuses et variées:

- les barrages fascines: fait à base de branchage, de tiges de mil etc... plus des piquets fichés en terre. Cette technique appelée aussi le clayonnage et fascinage n'est pas durable car les matériaux sont rapidement consommés par les termites.
- les barrages grillages de lavakas ou en treillis métallique. Le fer étant cher cette méthode est à écarter.
- les barrages en pieux, paille et branchages.
- les barrages en perche et branchages à ancrage latéral.
- les successions de mares avec levées de terre en thalweg.
- etc...

Pour des raisons de disponibilité des matériaux et du fait de son faible coût, les successions de mares avec levées de terre en thalweg, renforcées de pierres en amont et en aval paraissent plus adaptées à nos exigences et à nos contraintes. Elles le sont plus, lorsqu'elles sont renforcées par des branchages et des pieux de fixation (figure ci-dessous).

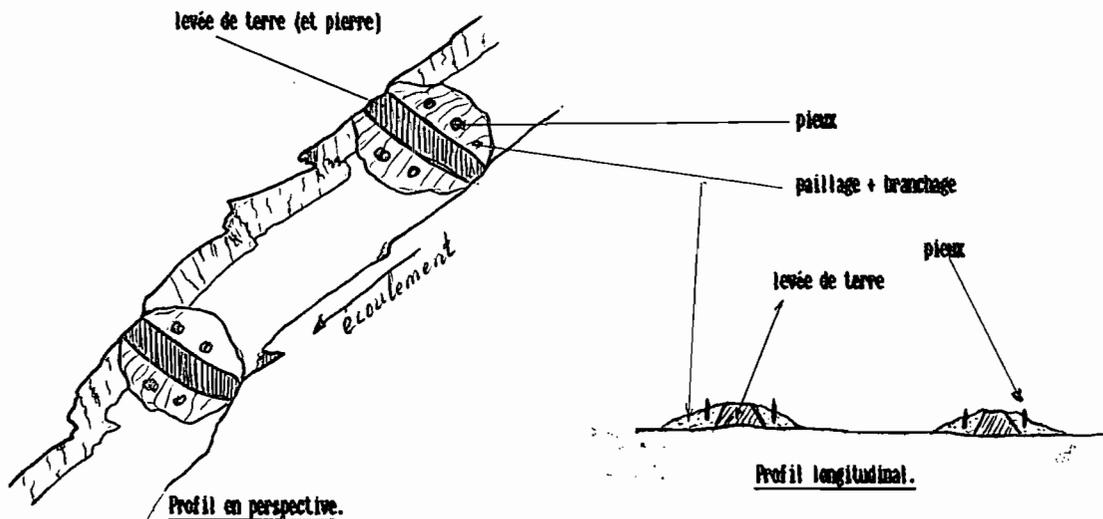
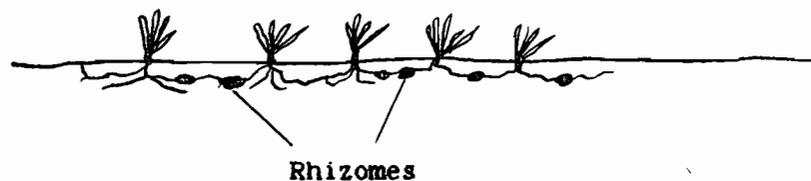


Fig.7-11: Correction des ravines

7-5: LES CHEMINS D'EAU ENHERBES.

Leurs dimensions dépendent de la pente, de la texture du sol et de l'aire à drainer. Le chemin d'eau doit avoir une section parabolique et être enherbé (dans notre choix) avec les plantes adaptées aux conditions locales. Les plantes rhizomateuses (cynodon dactylon ou chiendent, le gazon....) sont très utilisés dans les pays périforestiers et au Sénégal ou les stylosanthes sp. (luzerne).

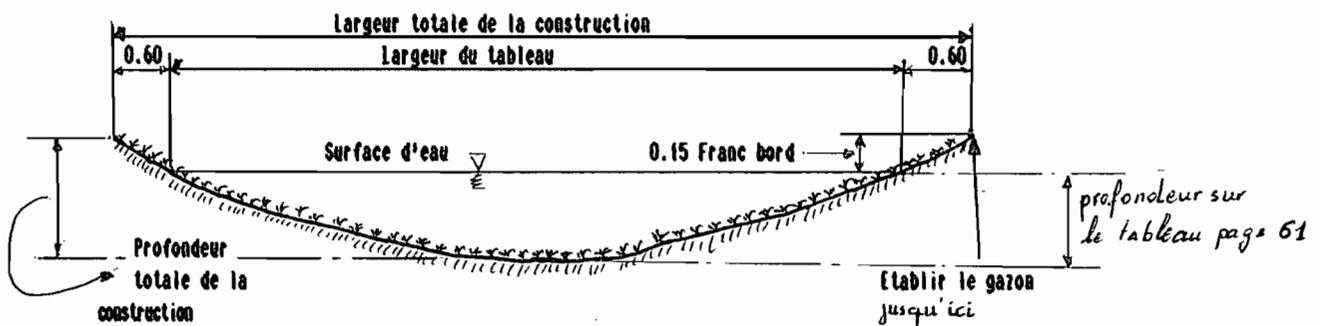
Les rhizomes sont des plantes à tiges souterraines, souvent allongées et horizontales. Leurs tiges sont pérennantes et se conservent bien durant la période sèche, sous forme de bulbes.



En zones arides, la résistance à la sécheresse des plantes doit aussi

être spécialement considérée. L'herbe à tige très dure doit être évitée en faveur des herbes tendres et en touffe qui offrent plus de qualités antiérosives. Ces dernières se courbent facilement avec l'écoulement de l'eau et créent une couverture. La végétation qui compose le chemin d'eau doit être bien protégée et le chemin d'eau serait traversé par les ouvrages mécaniques.

Les chemins d'eau permettent de recueillir les eaux qui proviennent des ouvrages et de les conduire à un collecteur artificiel ou naturel situé au bas du versant. Ci-dessous nous donnons le schéma et un exemple sur le calcul des dimensions du chemin d'eau retenu à cet effet (pente 10%).



Le tableau de la page suivante permet de déterminer les dimensions nécessaires pour nos chemins d'eau.

Par exemple pour la pente de 10%, retenue dans la zone 1, si nous supposons une vitesse de 1.20 m/s et un débit de 2.70 m³/s dans un chemin d'eau, alors la largeur du chemin d'eau serait de 37.5 m et la profondeur de 0.09 m (d'après le tableau ci-dessous).

Les chemins d'eau, de par leur rôle, doivent être réalisés avant les ouvrages de défense. Pour les dimensions de construction on ajoute 0.15m à la profondeur et 1.20m à la largeur, données par le tableau ci-dessous.

Dans notre cas nous utiliserons un chemin d'eau principal comme collecteur pour drainer l'eau jusqu'au niveau des ponceaux ou parmi les drains déjà existants avec une profondeur allant jusqu'à 0.50 m au centre.

Tableau des chemins d'eau ou exutoires enherbés (Ref. 14)

PENTE	0.5%			1%			2%			3%			4%		
VITESSE	0.6	0.9	1.2	0.9	1.2	1.5	0.9	1.2	1.5	0.9	1.2	1.5	0.9	1.2	1.5
Profondeur	0.30	0.34	0.41	0.35	0.54	0.72	0.21	0.30	0.42	0.15	0.24	0.30	0.12	0.18	0.24
Débits															
0.270										3.0;			3.9;		
0.405	3.3;						3.6;			4.8;			6.0; 3.0;		
0.540	4.5;						4.8;			6.3; 3.0;			7.8; 3.9;		
0.810	6.9;			4.2;			6.9;			9.3; 4.8;			11.7; 5.7; 3.3		
1.080	9.0; 3.6;			5.4;			9.3; 4.5;			12.3; 6.3;			3.6; 15.3; 7.5; 4.5		
1.350	11.1; 4.2;			7.2;			11.7; 5.7;			15.6; 7.8;			4.5; 19.5; 9.3; 5.4		
1.890	15.5; 5.7;			9.9; 5.4;			16.2; 7.8;			4.5; 21.6; 10.8;			6.0; 27.3; 13.2; 7.5		
2.700	22.5; 8.4;			3.9; 13.8; 6.9;			23.4; 11.4;			6.6; 31.5; 15.9; 12.3;			19.2; 11.1		
3.760	31.5; 11.4;			5.7; 19.2; 9.3;			32.7; 15.9; 9.0;			21.6; 17.4;			27.0; 15.3		
5.400	45.0; 16.5;			8.1; 27.3; 13.5; 7.5;			22.2; 12.9;			30.9; 22.5;			21.6		
7.000	21.6; 10.5;			35.7; 17.7; 9.9;			29.4; 16.5;			25.8;			27.9		
8.100	24.9; 12.0;			20.1; 11.4;			33.6; 19.2;			29.4;			32.1		
9.170	27.9; 13.5;			22.5; 12.9;			21.6;			33.0;					
10.200	31.5; 15.3;			25.5; 14.4;			24.3;			34.5;					
10.800	33.0; 16.2;			26.7; 15.0;			25.8;								
11.800	36.6; 17.7;			29.4; 16.5;			28.5;								
13.500	41.4; 20.1;			18.9;			32.4;								

PENTE	6%			8%			10%			12%			14%		
VITESSE	0.6	0.9	1.2	0.9	1.2	1.5	0.9	1.2	1.5	0.9	1.2	1.5	0.9	1.2	1.5
Profondeur	0.09	0.15	0.18	0.09	0.12	0.15	0.06	0.09	0.15	0.06	0.09	0.12	0.03	0.09	0.09
Débits															
0.270	5.4; 3.0;			6.6; 3.0;			7.8; 3.6;			9.0; 4.5; 3.0; 11.7;			5.1; 3.0		
0.405	8.1; 3.9;			9.9; 4.8; 3.0; 12.3;			5.7; 3.0; 13.2;			6.6; 3.6; 18.0;			7.5; 4.2		
0.540	10.5; 5.1;			3.0; 13.2; 6.6;			3.6; 16.2; 7.5;			4.2; 18.0; 8.7;			4.8; 24.0; 10.8; 5.7		
0.810	15.9; 7.8;			4.5; 19.8; 10.2;			5.4; 24.0; 11.4;			6.6; 27.0; 12.9;			7.5; 36.0; 13.8; 8.4		
1.080	21.3; 10.5;			5.7; 26.4; 13.2;			7.2; 31.8; 15.0;			8.7; 36.3; 17.1;			9.9;		
1.350	26.7; 12.9;			7.5; 33.6; 15.6;			9.0;			18.6; 10.5;			21.3; 12.3;		
1.890	37.8; 18.0; 10.5;			22.5; 12.9;			26.1; 15.0;			30.6; 17.4;			34.5; 19.8		
2.700	24.4; 15.0;			32.4; 18.6;			37.5; 21.3;			24.9;			28.2		
3.760	36.0; 21.0;			26.1;			30.9;			35.1;					
5.400	30.0;														
7.000															

Explications:

1^{re} colonne à gauche: débits en m³/s

1^{re} ligne en haut: les pentes % des canaux.

2^e ligne du haut donne un choix de trois vitesses en m/s, pour chaque pente.

3^e ligne donne la profondeur en m au centre du canal et est lue au-dessous de la vitesse désirée.

Les chiffres dans les colonnes du tableau donnent la largeur du haut du canal en mètre.

7-6: PRÉDIMENSIONNEMENT

Le prédimensionnement concerne donc uniquement le réseau mécanique de défense prévu sur les parties pentues de la zone 1. Nous donnons ainsi les dimensions préliminaires des murets et des fossés.

7-4-1: LES MURETS

La superficie totale à traiter est égale à 255 ha environ. Elle est supérieure à 10 ha, ce qui fait que nous la partagerons en parcelles de 10 ha (en moyenne) et nous construirons pour chacune des parcelles des systèmes indifférents. Nous aurons à cet effet 25 parcelles ($255/10=25.5$) environ.

La figure 7-12 ci-dessous montre les caractéristiques des murets.

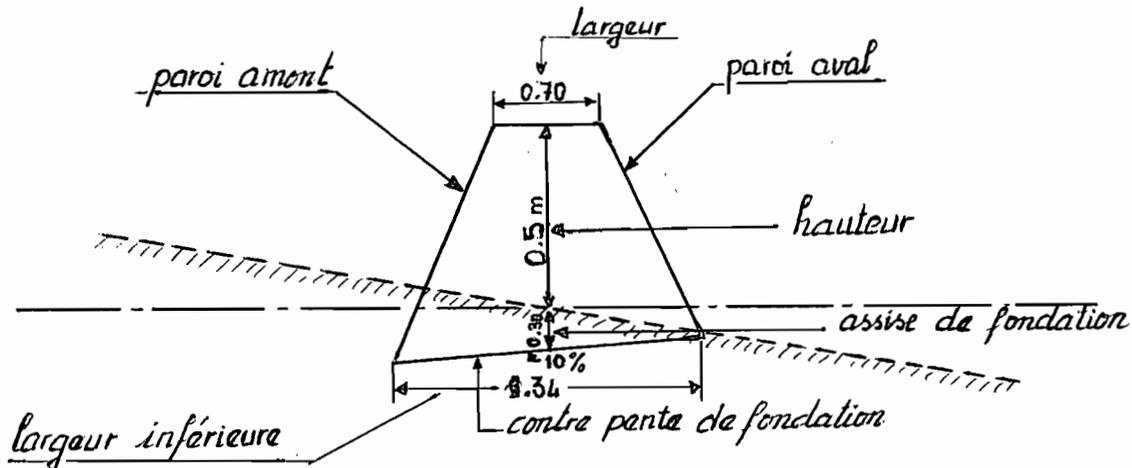


Fig. 7-12: Schéma descriptif des différentes parties d'une murette.

- Nombre de Parcelles: 25
- Aire d'une Parcelle: 10 ha
- Hauteur de Murettes: 0.50 m

Au départ cette hauteur ne dépasse généralement pas 0.60 m. Nous retenons la hauteur de 0.50 m, ce qui pourrait être augmenté lors des opérations d'entretien.

- Contre Pente de la fondation:

On considère une pente de 10% vers l'amont.

- Parois de la murette:

On considère souvent une pente à l'aval variant de 25% à 50% . Nous

retenons une pente de 40% en amont et en aval.

- Largeur de la Murette

Nous choisissons une largeur de 0.70 m au-dessus du mur.

- Assise de fondation

Elle varie de 0.20 à 0.40m. Une assise de 0.30m conviendrait.

- Largeur inférieure de fondation

Cette largeur serait ainsi de:

$$0.70 + 2 \times (0.50 + 0.30) \times 0.40 = 1.34\text{m.}$$

- Ecartement (dénivelée verticale) entre les murettes: H'

La formule de RAMSER, dans les conditions modérées d'érodabilité des sols, de pente et de pluie sera utilisée.

$$H' = 0.305 \times (2 + S/3) \quad (7-1) \text{ où}$$

S: pente du terrain naturel.

0.305 facteur de conversion pied en mètre.

$$\text{A.N.: } H' = 0.305 \times (2 + 10/3) = 1.63\text{m.}$$

Soit $H' = 1.63 \text{ m}$

- Intervalle horizontal entre les murettes: I

C'est la largeur moyenne horizontale du champ dominant (Figure 7-13).

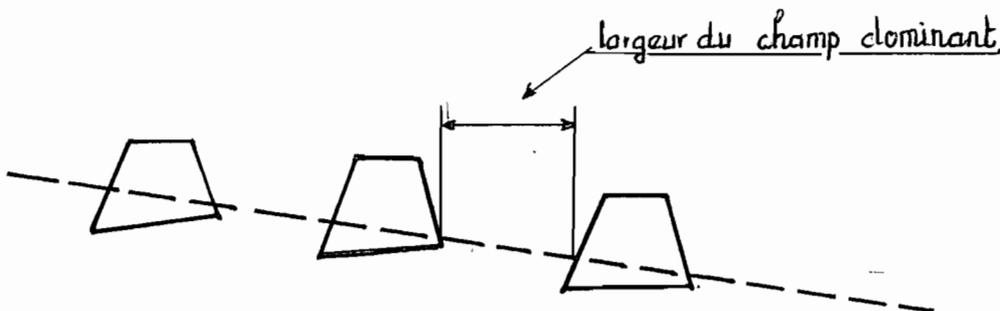


Fig. 7-13: Schéma du champ dominant et des intervalles entre les murs

$$I' = H'/S = 1.63 / 0.10 = 16.3 \text{ m}$$

Soit $I' = 16.3$

- Longueur de murettes: L

Elle correspond à la longueur de la parcelle considérée, mesurée dans le sens perpendiculaire à la pente du terrain naturel. Ces longueurs peuvent varier de 400m à 500m dans le cas des ouvrages de diversion. Les ouvrages de diversion, contrairement aux ouvrages d'absorption, sont constitués par des ouvrages à faible pente longitudinale. Leur but est, après avoir infiltré une partie de l'eau retenue, d'évacuer le surplus vers un exutoire (ou collecteur) préalablement aménagé. Les systèmes de diversion conviennent lorsque le sol n'est pas suffisamment perméable pour pouvoir absorber la totalité de l'eau tombée, ce qui est notre cas. Ils conviennent par ailleurs, lorsque les précipitations sont trop abondantes.

Pour déterminer la densité du réseau nous allons utiliser un artifice de calcul. Si nous retenons une longueur de 500m sur la parcelle de 10ha alors la largeur de la parcelle serait de:

$$0.1\text{km}^2 / 0.5\text{km} = 0.20\text{km} \text{ soit } X=200\text{m}.$$

La dimension X est la longueur de la pente du terrain naturel, mesurée entre les deux courbes de niveau 60 et 80 m où notre réseau serait établi. Cependant ces dimensions devront varier d'une parcelle à l'autre, selon leur géométrie.

7-4-2: Le fossé de protection

Ses dimensions sont calculées pour récupérer les précipitations tombées dans la partie supérieure non protégée par les ouvrages. Le point le plus élevé est situé à Galdia à une altitude d'environ 95 m. Le fossé sera situé sur la courbe de niveau 80 m, soit une dénivelée de:

$$H' = 95 - 80 = 15 \text{ m}.$$

Ainsi la largeur moyenne horizontale de l'impluvium dominant sera:

$$l = \frac{H'}{S} = \frac{15}{0.10} = 150 \text{ m.}$$

Nous supposons une longueur de fossé de 500 m.

L'intensité moyenne de la pluie décennale mesurée à partir des courbes I.D.F. du SENEGAL pour une durée égale au temps de concentration du bassin versant ($t_c = 28 \text{ min.}$) est égale à :

$$i = 96 \text{ mm/h} = 1.60 \text{ mm/min.}$$

Le débit évacué est calculé par la formule de la méthode rationnelle $Q = C \cdot l \cdot A$, en considérant un coefficient de ruissellement C est égal à 1. On obtient:

$$Q = A \cdot l \cdot i_{10} \quad (7 - 2a)$$

$$Q = \frac{L \cdot l \cdot i_{10}}{60000} \quad (7 - 2) \quad \text{avec}$$

Q: débit en m^3/s

L: longueur du fossé en m

l: largeur du terrain supérieur en m

i_{10} : intensité décennale de la pluie en mm/h

$$\text{A.N. } Q = \frac{500 \cdot 150 \cdot 1.60}{60000} = 2.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 2.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

penne longitudinale: en Afrique de l'ouest on prend entre 2 et 3‰ .

Par ailleurs on sait que $Q = V \cdot A$ avec

V: vitesse moyenne de l'eau dans le canal (m/s)

A: section transversale du canal.

Considérons un canal enherbé et utilisons la formule de Manning-Strickler pour déterminer la vitesse . Nous supposons aussi que le canal (fossé) sera trapézoïdal.

$$V = \frac{1}{n} \times R_0^{2/3} \times s^{1/2} \quad (7-3)$$

s: pente en m/m

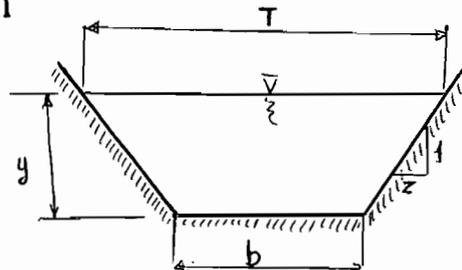
n: coefficient de rugosité de Manning

n=.035 pour les canaux avec lits de pierres rugueuses, herbes sur les rives de terre dont l'état des parois est assez bon. C'est la valeur la plus utilisée dans les projets, pour ce type de canal.

R_0 : rayon hydraulique.

Dans le cas d'un canal trapézoïdal

$$R_0 = \frac{(b+z*y)*y}{b+2*y*(1+z^2)^{.5}} \quad (7-4)$$



Section en travers d'un canal trapézoïdal avec ses différentes caractéristiques

Nous considérons un rayon hydraulique maximum ce qui nous donne une relation entre b et y :

$$b = 2*y*(1+z^2)^{.5} - z \quad \text{et un rayon hydraulique égal à } R_0 = 0.5*y$$

Fixons z=1 et prenons une pente longitudinale de 3% .

nous obtenons $A = (b+z*y)*y$

$$= (2*2^{.5}-1)*y^2 = S$$

d'où

$$Q = V * A \quad (7-5)$$

$$= \frac{1}{n} * A * R_0^{2/3} * s^{.5}$$

$$= \frac{(2*2^{.5}-1)}{n*2^{2/3}} * y^{8/3} * s^{.5}$$

$$\implies y = \left(\frac{n*2^{2/3}*Q}{(2*2^{.5}-1)*s^{.5}} \right)^{3/8}$$

$$A.N. \quad y = \left(\frac{.035 \times 2^{2/3} \times 2.0}{(2 \times 2.5 - 1) \times .003 \cdot 5} \right)^{3/8} = 1.04 \text{ m}$$

Prenons ainsi $y = 1.05 \text{ m}$

$$b = 2 \times y \times (2.5 - 1) = 2 \times 1.05 \times (2.5 - 1) = .87 \text{ m}$$

soit $b = .90 \text{ m}$

$$T = b + 2 \times z \times y = .90 + 2 \times 1.05 = 3.00 \text{ m}$$

Ainsi les dimensions de la fossé de protection seront:

$$T = 3.00 \text{ m}$$

$$b = .90 \text{ m}$$

$$y = 1.05 \text{ m}$$

$$\text{Volume du fossé de garde : } 1.05 \times (b+T) / 2 \times y \times \text{longueur} = 1.05 \times (3.0 + 0.9) / 2 \times 1.05 \times 10200$$

La valeur de 1.05 tient compte d'une revanche de 5% .

$$\underline{\text{Volume du fossé} = 21930 \text{ m}^3.}$$

7-4-3 Le fossé Ados-Aval

Celui ci sera dimensionné de telle sorte qu'il puisse récupérer l'eau qui ruisselle à son amont et à l'aval du fossé de protection. Nous supposons, avec sécurité que 50% de l'eau qui tombe entre les deux fossés arrive au fossé ados-aval et que le reste est soit retenu par les murettes soit perdu par infiltration.

$$H' = 80 - 60 = 20 \text{ m}$$

$$l = \frac{H'}{S} = \frac{20}{.10} = 200$$

$$Q = \frac{50}{100} \times \frac{500 \times 200 \times 1.60}{60000} = 1.34 \text{ m}^3/\text{s}$$

De la même façon nous trouvons les dimensions suivantes pour les fossés Ados-Aval.

$$T = 2.55 \text{ m}$$

$$b = 0.75 \text{ m}$$

$$y = 0.90 \text{ m}$$

Volume du fossé ados-aval = $1.05 \times (2.55 + 0.75) / 2 \times 0.90 \times 13200 = 20582 \text{ m}^3$

avec une revanche de 5% (1.05).

VOLUME TOTAL DE FOSSE = $20582 + 21930 = 42512 \text{ m}^3$.

VOLUME DES FOSSES = 42512 m^3

- Densité du réseau des murettes

Largeur entre les deux fossés (de protection et Ados-aval) X=200m.

Intervalle entre les murettes : $I' = 16.30 \text{ m}$

Largeur inférieure de la fondation : 1.34 m

Largeur occupée par les fossés: $3.0 + 2.55 = 5.55 \text{ m}$

Largeur occupée par les murs et les espaces libres: $200 - 5.55 = 194.45 \text{ m}$

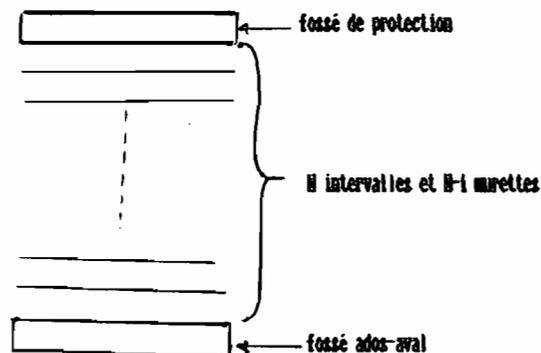
Espace libre entre les murettes: $194.45 - 1.34 \times N$; N: nombre de murs.

Nombre de murettes $N = (194.45 - N \times 1.34) / 16.3 - 1$.

Ainsi nous obtenons $N = (194.45 - 16.3) / (16.3 + 1.34) = 10$ murets

ou $10 \times 500 \text{ m} = 5000 \text{ m}$ de murette par 10ha

Soit 10 murettes tous les 200m de largeur
Ou 5000m de murettes tous les 10ha de terrain



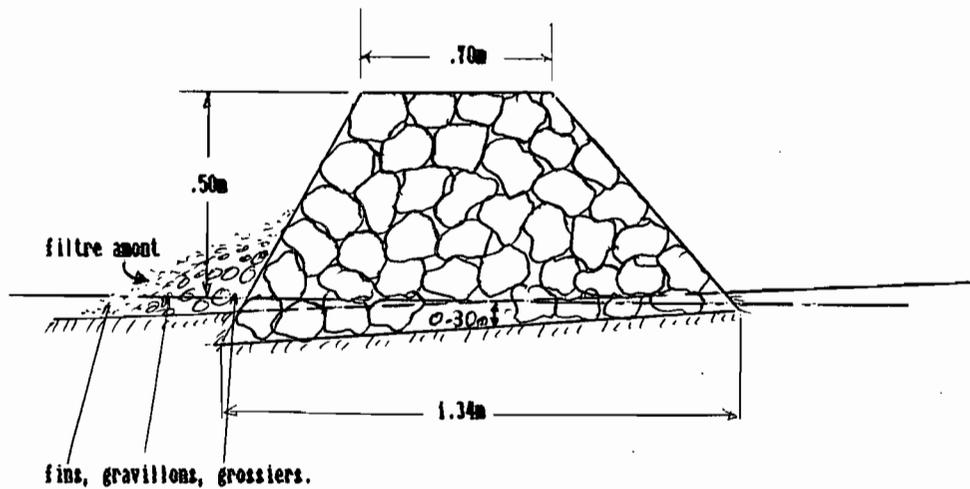


Fig.7-14: section transversale de la murette.

Conformément à ce que nous avons retenu , nous prévoyons des chemins d'exploitation ou des passages de bétail de haut en bas du versant. Il n'existe pas de dimensionnement pour ces annexes du réseau mais leur tracé est conseillé. Cependant en ce qui nous concerne, dans la mesure où nous ne disposons pas de carte topographique à grande échelle (1/1000 à 1/10000) de la zone nous n'entrerons pas dans les détails du tracé.

Nous prévoyons des chevauchements entre les différentes murettes qui aboutissent de part et d'autre de deux parcelles consécutives; ceci dans le but de créer une dispersion qui diminuerait l'énergie de ruissellement sur les interfaces entre deux parcelles adjacentes (Figure 7-10).

CHAPITRE VIII

TITRE

LE COUT DU RESEAU MECANIQUE

CHAPITRE VIII

LE COUT DU RESEAU MECANIQUE

Le travail du réseau d'ouvrages mécaniques comprend le tracé, le piquetage et l'exécution. Son coût comprend les frais de personnel calculés d'après les prix locaux de la main d'oeuvre, l'amortissement des appareils, les prix de transport, les frais généraux et une part des frais de conception et de surveillance. Dans notre cas certaines dépenses comme frais de conception et surveillance des travaux ne sont pas prises en compte.

Nous basons notre étude de coût sur l'expérience des pays comme la Tunisie, le Burkina Faso, le Mali, le Congo etc..., en tenant compte bien entendu des caractéristiques de notre zone.

8-1: LE TRACE ET LE PIQUETAGE

Les prix par hectare les plus courants de piquetage et tracé varient entre 1 et 6 u et les valeurs extrêmes observées sont 0.9 et 10 u. L'unité u correspond au prix journalier du manoeuvre agricole dans le pays considéré.

La valeur de 6 u par ha, observée à Korhogo en Côte d'Ivoire nous semble être excessive pour notre cas. En effet le tracé que nous avons prévu demande peu de moyens techniques, une précision moyenne dans le cas des fossés et moins de précision pour les lignes de murettes. Ainsi la valeur moyenne de 3 u nous semble être du côté raisonnable.

PRIX d'un ha de piquetage et tracé: 3 u /ha .

AIRE totale à piquer et à tracer: 255 ha .

LE COUT du tracé et du piquetage: 3 u/ha * 255 ha = 765 u .

LE COUT DU TRACE ET PIQUETAGE : 765 U

8-2: L'EXECUTION DES TRAVAUX.

Les prix de revient des travaux de pierres varient de 0.25 à 1 unité par m³ de pierres. Ces prix comprennent les charges de chantier et d'outillage. Pour l'exécution de notre réseau nous n'avons pas prévu de matériels lourds. Le travail se fera soit manuellement, soit avec les moyens fermiers (charrues, pelles à cheval, rateaux terrasseurs etc...). Avec les moyens fermiers le prix de revient des travaux sera nettement moins élevé que celui du travail manuel. La surveillance des travaux, le transport etc... étant négligeable, nous retiendrons la valeur minimale de 0.25 u. Cette valeur reste valable pour l'exécution des murettes.

A Ouahigouya au Bourkina fasso, sur 400 ha de fossés antiérosifs, le prix du m³ terrassé varie de 0.16 à 0.25 u net. Avec les frais généraux et outillage inclus, le prix de revient varie de 0.25 à 0.30 u. Nous prendrons pour fin de calcul, la valeur de 0.20 u pour les fossés.

longueur des murettes = 500 m/ha * 255 ha * 1.1 # 140250 m.

La valeur de 1.1 représente d'une majoration de 10% afin de prévoir des imprévus durant l'exécution des travaux.

Longueur de murettes : 140250 m.

Volume des murettes : $140250 * (0.7 + 1.34)/2 * 0.5 = 71527.5 \text{ m}^3$.

Longueur des fossés : $(10.2 + 13.2)*1.1 = 25.7 \text{ Km}$.

Volume des fossés : 42512 m³

Matériel: matériel local (Charrettes, Camions, hommes etc....)

TRAVAIL	QUANTITES (m ³)	PRIX UNITAIRE (u/m ³)	COUT DU TRAVAIL (u)
FOSES	42512	0.20	8502
MURETTES	85833	0.25	21458

Ces coûts comprennent aussi les travaux des chemins d'eau. Le coût nécessaire pour la correction des ravins ne peut être évalué car on ne connaît pas exactement la longueur de tous les ravins à corriger. Il aurait fallu, pour cela, faire une campagne de reconnaissance in-situ pour les mesurer. La durée allouée au projet au projet ne le permettait pas.

Montant de l'exécution en unité u : $21458 + 8502 = 29960$ u.

Montant des travaux en unité u : $29960 + 765 = 30725$ u.

A partir du Bulletin de la Commission d'Officialisation des Prix (B.C.O.P.) numéro 03/88 du mois de mars 1988 (Réf.23), nous tirons les prix de la main d'oeuvre.

Main d'oeuvre (manoeuvre) : 183.75 FCFA/hr (pour 40 hrs/semaine de travail) soit donc 8 hrs par jour et le Week-end commence après la journées de travail du Vendredi.

Ainsi coût du manoeuvre : # 1470 FCFA par jour.

Montant des travaux : $30725 * 1470 = 45,165,750$ FCFA

MONTANT GLOBAL = 45 165 750 FCFA

CHAPITRE IX

TITRE

ENQUETE ET EXPLOITATION

CHAPITRE IX

ENQUETE ET EXPLOITATION

Pour effectuer une enquête répondant à nos besoins il nous faudra un modèle de fiche sur laquelle sont portés les principaux renseignements relatifs à chacune des parcelles de l'Unité de Production Familiale (U.P.F.) étudiée, au cours de la saison culturale considérée:

- identification de la parcelle et des caractéristiques physiques propres,
- les principales observations agronomiques effectuées,
- les principaux travaux culturaux effectués dans la saison,
- les difficultés agricoles rencontrées,
- les manifestations non désirées, s'il y en a, sur les cultures et les sols,
- les résultats agricoles obtenus et les personnes impliqués.

La saison culturale retenue est l'hivernage passé et l'actuelle contre saison .

L'enquête commencée n'a pu être bouclée, faute de temps et de moyens difficiles. Nous avons fait une campagne d'une journée (10 hrs à 18 hrs). Le nombre d'U.P.F. visé était de 30 mais nous n'avions pu enquêter que 7 unités.

Au niveau du Centre d'Expansion Rurale (C.E.R.) de Sébikotane nous avons consulté la nomographie de la C.R. (Réf. 22). A l'annexe VI nous fournissons les résultats de cette étude.

CHAPITRE X

TITRE

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CHAPITRE X

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La conservation, ou mieux l'amélioration, des sols constitue à la fois un impératif pour le développement agricole et aussi un devoir envers les générations futures, surtout dans les pays en voie de développement.

Conscient de la gravité du phénomène dans la C.R. de Sébikotane, nous avons à travers cet ouvrage tenté une ébauche de solutions. Celle-ci tient compte de la disponibilité sur place des matériaux nécessaires, des sols et du relief. Cette ébauche de solutions tient aussi compte des expériences antérieures dans certains pays d'Afrique, dans le domaine de la Défense et de la Restauration des sols (D.R.S.).

Cette proposition de solution nous semble la plus adaptée, si nous tenons compte des exigences économiques et locales. Cependant elle n'est point la seule solution possible.

Notre solution consiste en une réunion de méthodes biologiques, culturelles et mécaniques. Les méthodes bio-culturelles en soi ne constituent pas des techniques directes de défense mais des pratiques efficaces, permettant d'améliorer la qualité du sol et sa couverture. Elles contribuent ainsi à réduire le ruissellement et l'érosion "splash", là où les pentes sont faibles. Elles améliorent la résistance du sol et sa perméabilité en agissant toujours sur la stabilité et la taille des agrégats. Par conséquent ces méthodes biologiques et culturelles peuvent être multipliées dans la C.R. .

Quelques unes de ces méthodes sont même utilisées, dans certains endroits, par les paysans (labour isohypse, billonnage, clôtures vivantes etc...). Malheureusement des méthodes visant à appauvrir les sols, sont aussi utilisées par endroits. C'est le cas du sarclo-binage utilisé sans association avec des cultures de cycles différents (annexe3).

Nous accordons ainsi beaucoup d'importance au labour isohypse, à la couverture vivante et aux associations de cultures antiérosives.

En plus des procédés biologiques et culturaux nous estimons nécessaire de prévoir des techniques mécaniques dans les endroits où la pente dépasse un certain seuil (pente supérieure à 3 %). Ainsi dans la zone 1 sur une superficie de 255 ha nous prévoyons un réseau mécanique constitué par:

- un fossé de protection au niveau de la courbe isohypse 80 m;
- un réseau de murettes entre les courbe 80 m et 60 m;
- un fossé Ados-aval sur la courbe 60 m.

Les raisons du choix des murettes sont d'ordre économique et d'efficacité. L'expérience dans les pays comme le Burkina Faso, le Niger etc... a montré que les murettes réalisées étaient plus économiques et de loin plus rentables que les banquettes. En plus les murettes étaient efficaces pour lutter contre l'érosion. Par ailleurs notre superficie considérée contient des pierres (sur le massif) ce qui réduirait les coûts de réalisation et d'entretien.

Le fossé de protection aura un rôle de récupérateur de la pluie tombée sur l'impluvium. Il accompagne souvent les réseaux de défense dans les pentes moyennes à fortes. Il est presque toujours suivi par le fossé ados-aval. Ce dernier récupère la précipitation tombée dans l'aire comprise entre le fossé de protection et lui et qui n'est pas retenue par les murets.

Des chemins d'eau et d'exploitation sont prévus dans le but de faciliter l'évacuation des eaux excédentaires ainsi que l'accès facile à l'exploitation des terres.

Cette surface traitée serait mise à la culture. Il serait souhaitable que les populations en tirent le meilleur profit. L'espoir de cette population repose sur le sol et l'eau, ces deux éléments vitaux qui constituent

la préoccupation de tous les pays du Sahel. La maîtrise de l'eau et du sol dans le bassin permettrait une meilleure utilisation de ces ressources (eau et sol). Elle mettrait également un terme aux pertes énormes en éléments fertilisants des sols, en particules fines et en eaux douces qui ruissellent après les averses, pour gagner la mer. L'érosion serait ainsi réduite à des proportions acceptables sans être éliminée totalement.

Pour mieux bénéficier des avantages de la réalisation du projet il est plus opportun d'entamer certaines démarches et de continuer avec certaines habitudes qui sont déjà bien comprises par les paysans. Néanmoins nous faisons certaines recommandations à l'égard de la population.

1. LE RECRUPEMENT DE LA POPULATION:

L'intérêt de se regrouper et d'unifier leurs actions a été très vite compris par les populations de la communauté rurale. LA C.U.R.E. en est une illustration. Cette association regroupe tous les villages de la C.R. de Sébikotane et de quelques villages des C.R. avoisinantes, et vise à mettre en valeur les ressources du terroir. Nous recommandons la poursuite de cette initiative, car elle est une condition sine qua non pour le développement, là où les moyens sont assez limités.

A propos des moyens, il faut signaler que le coût estimatif détaillé de notre réseau de D.R.S. dépasse les moyens économiques de la Communauté Rurale. Mais, ce serait sans compter sur la mobilisation des habitants. Le coût de quarante cinq millions de francs CFA, même s'il est relativement très économique par rapport aux coûts des mêmes travaux réalisés dans les pays comme le Congo, la Tunisie, la Côte d'Ivoire etc..., reste tout de même élevé pour la C.R. . Cependant, le coût peut être considérablement réduit lorsque la participation de la population est bénévole ou bien forfaitaire. Par exemple si les populations acceptaient de travailler pour 1000 F_{CFA} la journée de labeur, le coût des travaux serait réduit jusqu'à 30 000 000 F_{CFA}.

2. LA FORMATION DES JEUNES:

Ce volet semble être négligé alors qu'il occupe une place importante dans l'évolution économique de la C.R. . En effet la formation, aux méthodes de base dans la conservation des sols, donne de l'expérience aux jeunes qui seront utilisés dans la main d'oeuvre. Cette formation peut être élargie sur tous les types de projets engagés dans la zone. Lorsque la formation est bien assise, les travaux de réalisation, de façon générale, vont beaucoup plus rapidement en ce sens que les différentes étapes sont maîtrisées et mieux exécutées par la main d'oeuvre.

En plus des considérations d'ordre général, il est opportun de recommander aux populations certaines façons dont le but est la réalisation d'ouvrages de défenses antiérosives.

3. LA FICHE D'INTENTION

Cette fiche viserait à attirer l'attention des autorités gouvernementales sur l'opportunité de la défense et de la restauration des sols contre l'érosion hydrique. Elle devra être faite par les services techniques locaux (développement rural, C.E.R. etc ...) en collaboration avec les autorités administratives locales. Elle serait un résumé sommaire des axes principaux prévus dans la D.R.S. et des coûts approximatifs de réalisation.

La fiche d'intention devrait en principe précéder notre étude d'avant projet. Mais dans notre cas l'avant projet est fait avant la fiche. Cela n'est pas sans avantages. En effet la fiche d'intention pourra être faite plus aisément et avec beaucoup plus de précision. A cet effet il suffira de résumer en une vingtaine de pages (au maximum) la présente étude. Dans la fiche les points suivants seront tracés:

- la Définition explicite du problème de D.R.S. ;
- la Situation géographique des différentes zones concernées (cartes à grande échelle);

- la Présentation des contextes écologiques et socio-économiques dans lesquels ce problème s'inscrit (pluviométrie, érodabilité des sols, actions anthropiques, etc...) et son aggravation;
- les Incidences actuelles et celles prévisibles dans le cas d'une non intervention;
- les Orientations générales à prendre sur les plans technique, humain, et économique, pour remédier à la situation;
- les Indications sur le calendrier des actions et travaux souhaités;
- l'Evaluation approximative du coût global;
- la Comparaison des "coûts et bénéfices" des actions prévues.

4. POUR LA SUITE DU PROJET

L'étude comparative des coûts et des bénéfices attendus de la mise en culture des terres traitées n'a pas été abordée car nous étions très limités dans le temps et les types de cultures sont laissées au libre choix des paysans (donc rendements variables).

Nous demandons au C.E.R., qui a déjà effectué beaucoup d'enquêtes sur les cultures pratiquées dans la communauté, d'examiner l'aspect rentabilité de la mise en exploitation de cette aire sous toutes ses formes. Cet aspect sera certes difficile à cerner car il n'est pas facile de déterminer les fertilités futures des sols, leurs qualités futures lors de la mise en cultures et les rendements escomptés selon les types de cultures.

Il est aussi souhaitable d'intégrer dans cette étude comparative, l'amélioration de la qualité des produits suite à l'éradication de certaines maladies des plantes qui occasionnent des baisses de rendements.

Cette lutte contre les agents vecteurs des maladies chez la plante (annexe VI) constitue une partie intégrante dans la lutte contre l'érosion, car elle permet au sol de retrouver plus de résistance, tout en augmentant le feuillage des plantes etc... .

Toujours dans cette phase de suite de l'avant projet, il faudrait examiner le coût de l'exécution des procédés bio-cultureaux. Ce coût va dans le sens d'un reboisement (couverture vivante, etc...). L'estimation de ce coût dépasse le cadre de notre étude dans la mesure où le choix des espèces à planter est laissé au cultivateur. Nous avons cependant donné des espèces efficaces dans la lutte antiérosive et nous espérons que les paysans les utiliseront à bon escient. A la suite de l'avant-projet il est aussi souhaitable, de procéder à une évaluation des coûts des plantes pour une recherche éventuelle de financement.

Lorsque le projet sera en voie d'être réalisé ou déjà réalisé, il serait aussi nécessaire de garder certaines attitudes, propices à l'entretien et à la protection du terroir.

5. LIMITER LES FEUX DE BROUSSE.

Même si le feu de brousse constitue une méthode rapide de défrichement de la terre pour le cultivateur ou une façon efficace pour piéger le gibier, il demeure un danger réel qui aggrave l'érosion des sols. En effet le feu peut changer la texture du sol, sa fertilité et expose le sol nu au "splash" et au ruissellement. Il est donc nécessaire de le réduire à son strict minimum ou de l'éliminer tout bonnement des pratiques courantes.

6. ENTRETIEN ET REPARATION.

Bien plus que certains ouvrages hydroagricoles, les ouvrages antiérosifs nécessitent davantage d'entretien et de réparation. Une fois les murettes et les fossés réalisés un entretien continu s'impose et à partir de ce moment, il devient l'affaire de chaque habitant de la zone. A ce sujet, nous suggérons à chacun en ce qui le concerne, de se sentir responsable de l'entretien des ouvrages. Leur réparation devra se faire périodiquement et occasionnellement à chaque fois que des averses exceptionnelles s'abattent sur le bassin.

Enfin il faudra éviter le surpâturage dans les formations herbeuses. Il faudra délimiter les zones de pâture et veiller à ce que les troupeaux ne tracent pas partout des chemins et qu'ils évitent les exutoires (artificiels ou naturels) créés. En plus il ne faut pas que les hommes créent des sentiers de façon anarchique. Certains sentiers ou ravins servant de drains seraient certainement barrés par les ouvrages et les habitants devraient consentir à ne pas les utiliser. Ils devraient s'habituer au nouveau réseau de déplacement ./.

ANNEXE I

ANNEXE I :

PROJET DE FIN D'ETUDE

TITRE: CONSERVATION DES SOLS CONTRE L'EROSION HYDRIQUE **DANS LA ZONE DE SEBIKOTANE**

I: PRESENTATION DU PROJET:

L'eau (surtout l'eau douce) et les produits des sols sont des éléments vitaux qui constituent les préoccupations quotidiennes des populations rurales. C'est à cet effet que, de nos jours, la dégradation de ces milieux naturels n'a cessé d'attirer l'attention des spécialistes du monde entier.

Ce projet est un projet de développement à valeur sociale élevée. Il se veut d'étudier les transports de sédiments et les moyens pour une limitation de l'érosion des sols par les pluies, dans la zone de sebikotane. Ainsi en envisageant la réalisation d'ouvrages très économiques pour limiter l'érosion, nous permettrons aux populations locales de pouvoir optimiser les rendements de leurs cultures. La défense et la restauration des sols augmentent la fertilité des sols, retiennent les éléments fins de sols ainsi que les éléments nutritifs pour les plantes.

Comme nous pourrons le constater, ce projet entrerait dans le cadre du processus d'auto-suffisance alimentaire mené par le gouvernement.

Pour atteindre notre objectif, nous élaborons une méthodologie et un calendrier d'exécution du travail prévu. Ainsi, nous pourrons, en respectant ce calendrier d'exécution, être dans les délais imposés au projet.

II: METHODOLOGIE:

Pour mieux effectuer le travail envisagé, il est plus pragmatique de donner une démarche à suivre.

1. VISITE DES LIEUX ET PRESENTATION AUX POPULATIONS :

La population locale aura un rôle très important à jouer pour la bonne marche du travail. Cette visite permettrait de mieux asseoir notre collaboration avec les habitants de la zone.

2. ETUDES HYDROLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES DE LA ZONE :

Cette étude nous donne les caractéristiques hydrologiques et hydrographiques de notre bassin. Elle nous permet de connaître les hauteurs pluviométriques annuelles, mensuelles et journalières du bassin versant. Elle aussi permet de prendre connaissance des intensités pluviométriques qui sont très déterminantes dans le processus d'érosion.

3. ETUDES GEOMORPHOLOGIQUES DE LA ZONE:

La réalisation de cette étude nous permettra de mieux connaître le relief du terrain. Connaissant les différentes composantes de ce relief, on divisera la zone en plusieurs parties. La géologie nous permettra de connaître les différentes formations et leur chronologie, les propriétés hydrodynamiques des formations rencontrées.

Les résultats de cette étude seront considérés comme critères dans le choix de notre réseau de défense.

Cette partie sera complétée par des études topographiques, ce qui nous permettra l'évolution du relief.

4. ETUDES PEDOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT:

Cette étude sera faite dans le but de connaître les caractères physiques, chimiques, biologiques des sols. L'étude pédologique nous permettra de déterminer les différents types de sols et leur nature.

5. ANALYSES DE SOLS:

Les analyses granulométriques et la détermination du pourcentage de matière organique seront utilisées pour estimer l'érosion des sols.

6. ESTIMATION DE L'INTENSITE DE L'EROSION:

A partir de ce qui précède, on devra être en mesure d'estimer l'intensité de l'érosion avec la méthode de WISHMEIER.

7. LIMITATION DE L'EROSION:

Les critères topographiques et pédologiques seront les plus importants dans le choix de notre réseau de défense contre les pertes en terres dans la zone.

On essayera ainsi de concevoir des micro-ouvrages permettant de limiter l'érosion.

8. ETUDE DE COUT:

Enfin, nous ferons une étude des coûts de réalisation des ouvrages retenus pour diminuer l'érosion des sols.

9. ENQUETE SUR LES CULTURES:

Nous ferons des enquêtes sur les cultures pratiquées, les rendements obtenus et les difficultés rencontrées. Ces difficultés peuvent être liées au sol (les pertes en terres et en éléments fertiles, causées par l'érosion

Nous essayerons, à cet effet, de voir si les rendements des cultures effectivement pratiquées peuvent être améliorés dans les mêmes conditions ou par changement de cultures. Nous effectuerons des visites à l'I.S.R.A. (si le temps nous le permettrait), pour compléter au mieux les résultats des enquêtes.

10. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS:

Nous terminerons par une conclusion sur les résultats obtenus et des recommandations utiles pour la réalisation prochaine de l'étude ou d'une partie de l'étude, ainsi faite.

REMARQUES:

Nous notons que cette démarche n'est pas définitive car, il se peut qu'au cours de l'avancement de notre travail, d'autres idées nouvelles surgissent et nécessitent d'autres démarches.

Par Alioune BA 5 Année

Génie Civil

Date: le 07.11.1988

CALENDRIER D'EXECUTION.

- 0: Recherches Bibliographiques.....Octobre - Janvier

- 1: Visite des lieux et présentation aux populations...Novembre

- 2: Pluviométrie et hydrologieNovembre

- 3: Géomorphologie et Topographie des lieux.....Décembre

- 4: PédologieJanvier - Février

- 5: Analyses des sols de la zone.....Février

- 6a: Estimation de l'érosion.....Janvier

- 6b: Remise du rapport d'étape.....Février

- 7: Techniques de limitation de l'érosion.....Mars - Avril

- 8: Etudes de coût des ouvragesAVRIL

- 9: Enquêtes et exploitationAvril - Mai

- 10: Conclusion et recommandationsMai - Juin

- 11: Rédaction du Projet..... Juin

ANNEXE II

ANNEXE I I

CHAPITRE I I I

ETUDES HYDROLOGIQUES ET PLUVIOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT

La connaissance des caractéristiques physiographiques du réseau de drainage et l'étude de la pluviométrie, de la climatologie de notre bassin de drainage (qui est limité au bassin de Panetior) sont d'une grande importance. En effet, l'érosion hydrique d'un sol dépend de plusieurs facteurs qu'il faudrait considérer en même temps (chapitre 1). Ainsi, en déterminant les quantités d'eau précipitées, leur intensité et leur fréquence, on aura effectué un pas vers l'estimation de l'érosion hydrique des sols.

2-1 : ETUDE HYDROLOGIQUE

Cette étude hydrologique du bassin de Panetior a déjà été faite dans le cadre d'un projet de fin d'étude de trois étudiants polytechniciens (Réf. 6). Nous reprenons les résultats qu'ils avaient obtenus.

Le tableau 2 - 1 donne les résultats de l'étude. La figure 2-1 donne le réseau hydrographique du bassin versant.

2-2 : PLUVIOMETRIE DU BASSIN

Dans ce paragraphe nous donnons la synthèse de certains éléments qui constituent des risques d'érosion pluviale:

- la hauteur moyenne de la précipitation annuelle,
- l'intensité de la pluie moyenne,
- la fréquence des pluies.

Ces facteurs sont plus ou moins liés à d'autres phénomènes comme la climatologie et la pluviométrie.

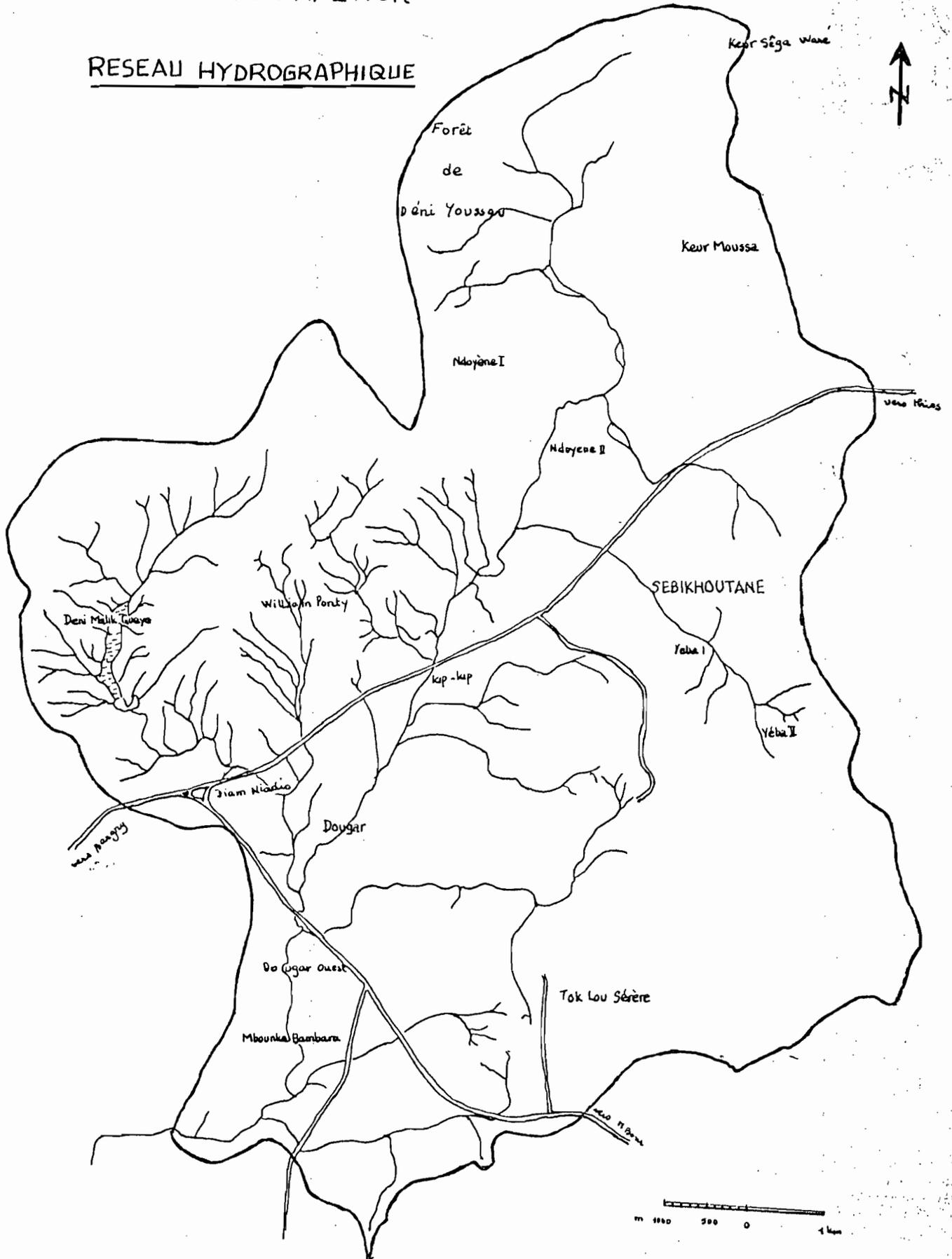
Tableau 2 - 1: Récapitulation des caractéristiques du bassin versant de PANETIOR

DESIGNATIONS	SYMBOLE	VALEURS	UNITE
Aire du bassin versant	A_{BV}	99	Km ²
Périmètre du bassin versant	P	50	Km
Longueur du cours d'eau principal	L_p	18.33	Km
Longueur de tous les cours d'eau	L_c	119.5	Km
Longueur de l'exutoire jusqu'au centre de gravité du bassin versant	L_{ca}	8.2	Km
Altitude maximale du bassin versant	H_{max}	96	m
≈ minimale ≈ ≈ ≈	H_{min}	5	m
≈ moyenne ≈ ≈ ≈	H_{moy}	38.3	m
Densité de drainage	DD	1.21	Km/Km ²
Indice de compacité de Horton: $\frac{A_{BV}}{L_p^2}$	ICH	0.295	
Indice de comp. de Gravelius: $\frac{P}{2 * (\pi * A_{BV})}$	ICG	1.41	
Indice de comp. de Miller: $\frac{4 * \pi * A_{BV}}{P^2}$	ICM	0.5	
Indice global de pente: $\frac{\sum H}{L}$	I_g	65.5	m/Km
Hauteur moyenne du profil	H_{moyc}	20.1	m
Pente moyenne du cours d'eau	FMC	2.19	m/Km
Relief du bassin versant	R_B	44.7	m
Longueur maximale directe du bassin mesurée dans le sens de l'écoulement	L_B	15400	m
Rapport de relief: $\frac{R_B}{L_B}$	RR	0.0029	
Rapport de compacité	RC		

Fig. 2-1

BASSIN DE PANÉTIOR

RESEAU HYDROGRAPHIQUE



2-2-a : La climatologie: généralités

Le climat de la zone de Sébikotane est classé comme étant un climat Soudano-sénégalais avec une influence à dominante maritime.

Le climat Soudano-sénégalais est un climat de transition entre le climat d'alizé marin de la côte sénégalaise et le climat continental Sahélo-soudanais. Le climat marin est plus chaud et moins sec que le climat sahélo-soudanais et il est caractérisé par une courte saison des pluies (mi-Juin à mi-October).

2-2-b : Pluviométrie

Nous avons choisi Thiès comme station d'observation de la pluviométrie à Sébikotane. La figure 2-2 montre la localisation des différentes stations d'observation. Le choix de Thiès se justifie par le fait qu'il est plus proche de notre zone d'étude (surface hachurée). Les observations de la station de Thiès ont commencé depuis 1922.

2-2-b-1 pluviométrie annuelle:

Un échantillon pris pendant 43 années, comprises dans la période allant de 1922 à 1972, a donné, grâce à un ajustement d'une loi normale la hauteur moyenne annuelle suivante:

- Hauteur moyenne = $H = 660 \text{ mm/an}$.

Cette valeur est représentative d'une bonne pluviométrie. Actuellement, avec la sécheresse qui sévit dans le Sahel depuis 1973 les hauteurs annuelles de précipitation sont moindres.

La figure 2-3 donne la pluviométrie hivernale de 1975 dans le bassin de Panetior.

2-2-b-2 pluviométrie mensuelle

Le tableau 2-2 donne les répartitions mensuelles de la précipitation moyenne pluriannuelle à Thiès pour les échantillons observés sur 43 années. Nous notons que l'ensemble Juillet-Août-Septembre supporte 88% des précipita-

Fig. 2-2

LOCALISATION DES STATIONS

 *Zona étudiée*

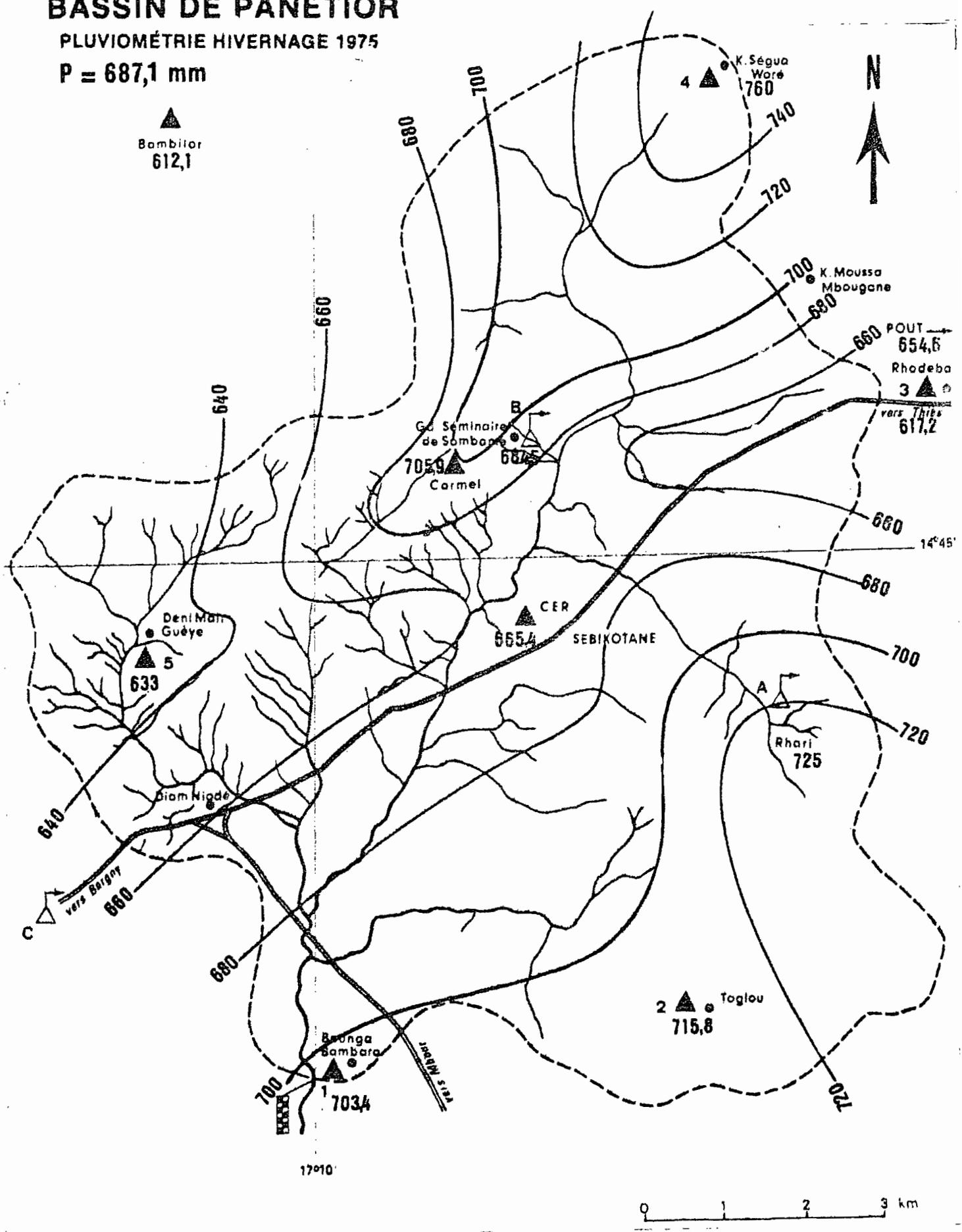


Fig. 2-3

BASSIN DE PANÉTIOR

PLUVIOMÉTRIE HIVERNAGE 1975

P = 687,1 mm



tions annuelle. La moyenne pluriannuelle des journées de pluie s'établit à 47 jours par année et la saison des pluies s'étale de Juin à Octobre.

Tableau 2 - 2: Répartition mensuelle des précipitations moyennes à Thiès

MOIS	Hauteur moyenne (mm)	Répartition mensuelle (%)	Répartition moy. mens. des jours de pluie: Jrs
JANVIER	0.4	0	0.4
FEVRIER	1.3	0.2	0.3
MARS	0.1	0	0.1
AVRIL	0.1	0	0.1
MAI	1.0	0.1	0.3
JUIN	82.9	3.5	2.9
JUILLET	117.2	17.8	9.2
AOUT	260.8	39.5	15.1
SEPTEMBRE	200.6	30.4	12.8
OCTOBRE	49.8	7.5	4.4
NOVEMBRE	2.4	0.5	0.7
DECEMBRE	3.5	0.5	0.4
ANNEE	660.1	-	46.7

2-2-b-3 pluviométrie journalière.

Le tableau ci-dessous reprend la liste des averses supérieures à 100 mm. Nous remarquons que ces valeurs sont assez fortes et cela s'explique par la position de Thiès qui est à la limite de la bande côtière.

DATE	20-08-24	10-08-25	20-08-28	21-08-32	01-08-33	17-08-35	25-08-35	06-08-40	15-08-40	20-08-42	25-07-45
HAUTEUR (mm)	105.5	119.0	119.0	161.0	151.0	104.0	150.1	117.1	115.0	100.2	129.9

DATE	31-08-46	22-07-50	04-10-51	11-09-52	26-07-54	10-08-55	11-09-57	23-08-62	25-08-64	BAMBEY 1989 ^d
HAUTEUR (mm)	105.5	119.0	119.0	161.0	151.0	104.0	150.1	117.1	115.0	plus de 135mm hivern. dernier

Par ailleurs il a été trouvé pour la C.R., à partir des cartes d'égales hauteurs journalières de pluie de probabilités annuelle et décennale (figures 2-4a et 2-4b) les hauteurs de pluies suivantes:

- Hauteur journalière annuelle = 70 mm;
- Hauteur journalière décennale = 135 mm.

2-2-b-4 intensité des précipitations.

D'après les mesures et constatations effectuées l'année dernière grâce à la collaboration de certains habitants de la communauté rurale nous avons constatés que les fortes pluies durent environ 1 heure de temps.

Pour étudier l'intensité des précipitations nous allons utiliser les courbes I.D.F. montrées aux figures 2-5a et 2-5b. Ces courbes calibrées pour le SENEGAL ont été tirées du livre de Y. BRUNET-MORET (Réf. 21). Elles présentent une rupture d'alignement des points; rupture qui s'explique par la forme typique des diagrammes des tornades. Ceux-ci dans leur forme la plus simple, comprennent:

- une très courte période à assez faible intensité, appelée l'averse préliminaire,
- une période à très forte intensité qui s'appelle le corps,
- une période pendant laquelle l'intensité décroît et peut se maintenir assez longtemps à une valeur assez faible. Cette dernière partie de l'averse est appelée la traîne.

Le point de rupture des courbes I.D.F. sépare le corps de l'averse représenté à gauche de la traîne de l'averse préliminaire représentée à droite.

Les courbes de périodes de récurrence annuelle et décennale nous donnent directement l'intensité de précipitation en fonction de la durée et de la hauteur journalière. Nous avons eu précédemment des hauteurs de précipitations journalières de $H_1 = 70$ mm et $H_{10} = 135$ mm dans la C.R. . Une interpolation

à partir des courbes pour une durée de $t_0 = 30$ secondes nous donne:

Fréquences....	Hauteur jour....	Intensité 30'	Intensité 60'
1/1 an	75mm	67mm/hr	48mm/hr
1/10 ans	135mm	95mm/hr	67mm/hr

2-2-b-5 coefficient de ruissellement

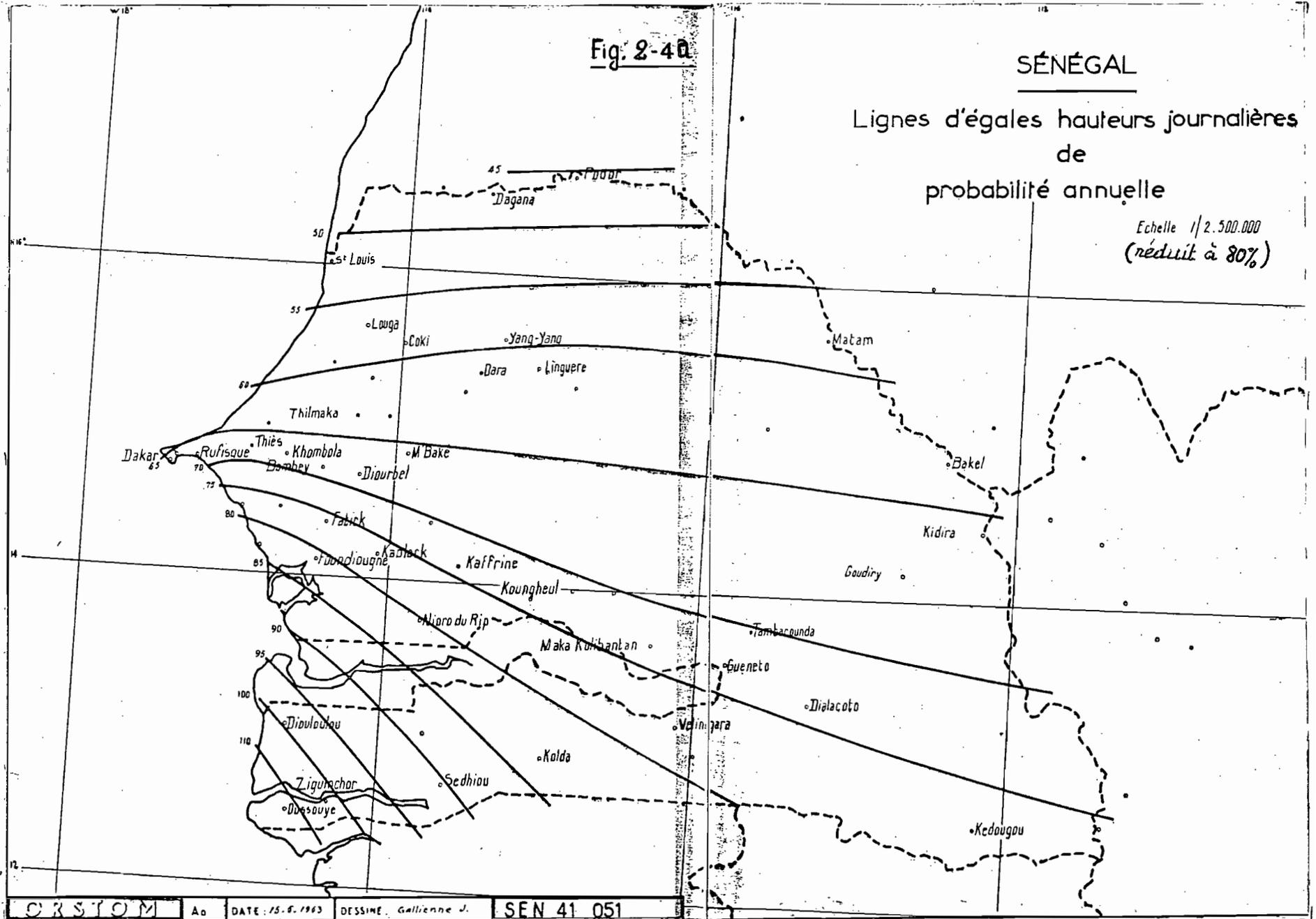
Pour un régime sahélien et sub-désertique (le climat de notre zone) et pour la classification R_4P_3 la figure 2-6 donnent un coefficient ruissellement moyen de 26% pour le cas de notre bassin versant qui a une superficie de 99Km^2

Fig. 2-40

SÉNÉGAL

Lignes d'égaux hauteurs journalières de probabilité annuelle

Echelle 1/2.500.000
(réduit à 80%)



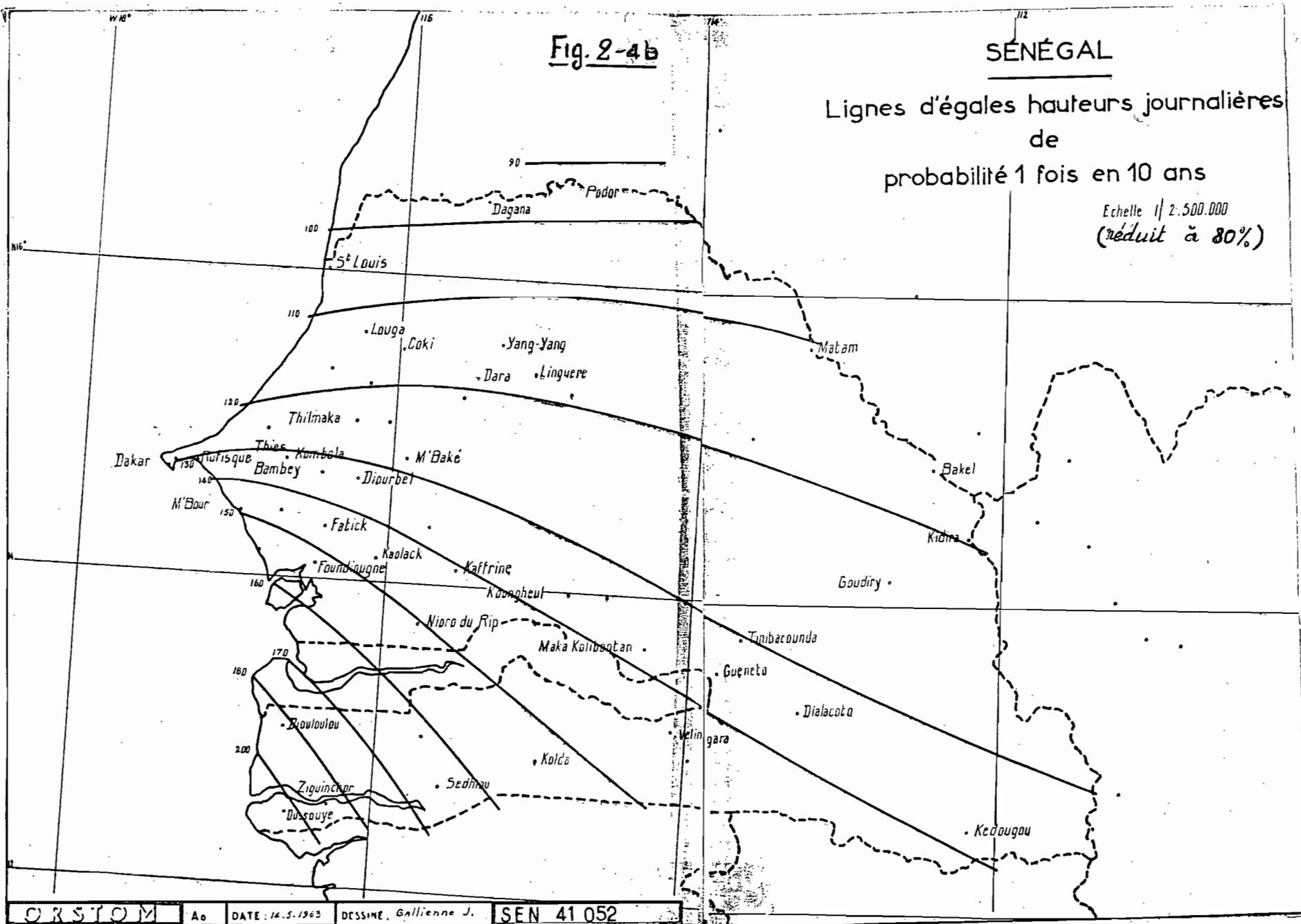
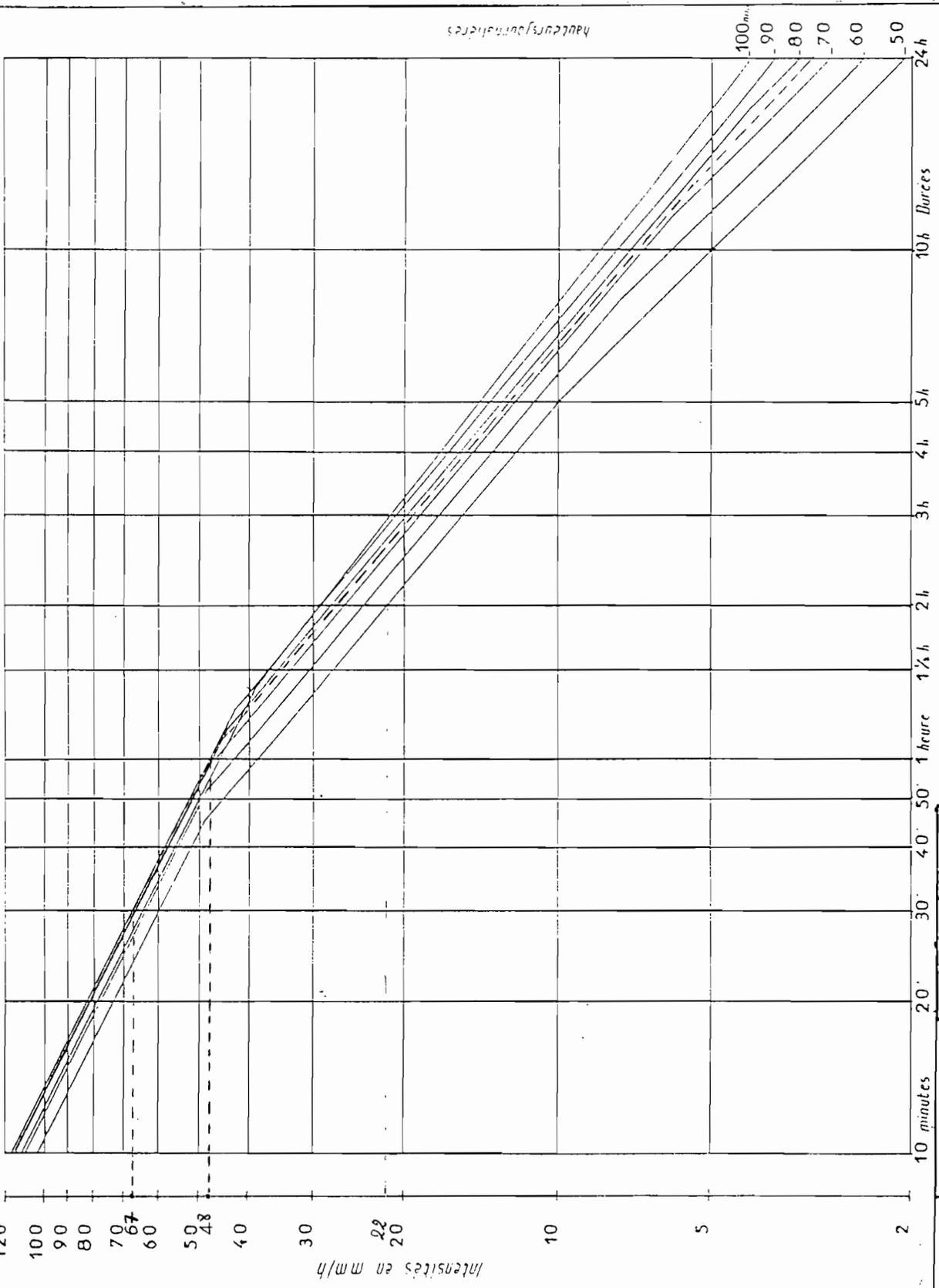


Fig. 2-52a

Courbes intensités-durées

probabilité annuelle

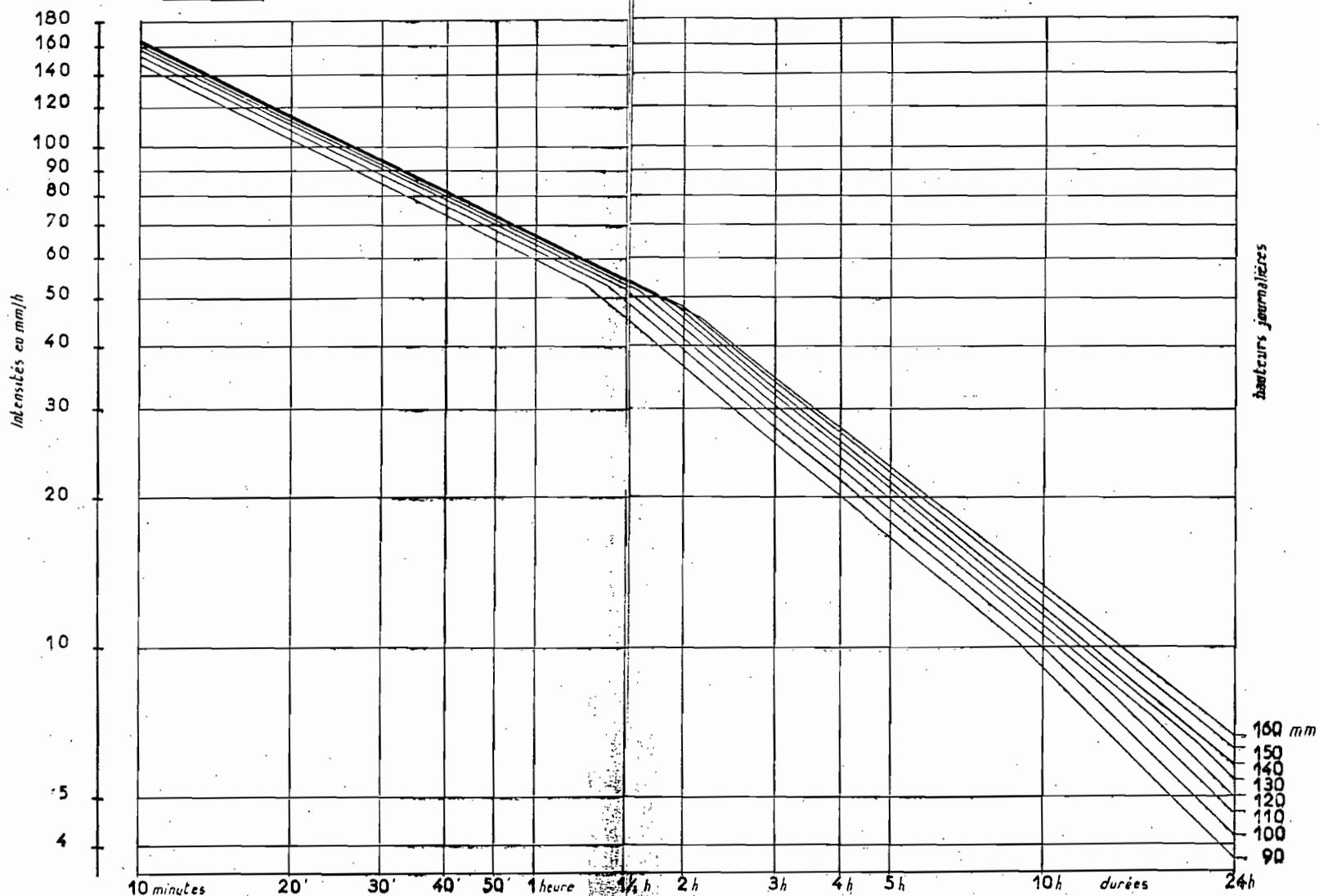


hauts jours

DESIGNÉ PAR: SEN 41 054

Courbes intensités-durées
probabilité 1 fois en 10 ans

Fig. 2-5b



hauteurs journalières

160 mm
150
140
130
120
110
100
90

ORSTOM

Ao

DATE A. 6. 1965

DESSINE Galliano J.

SEN 41 057

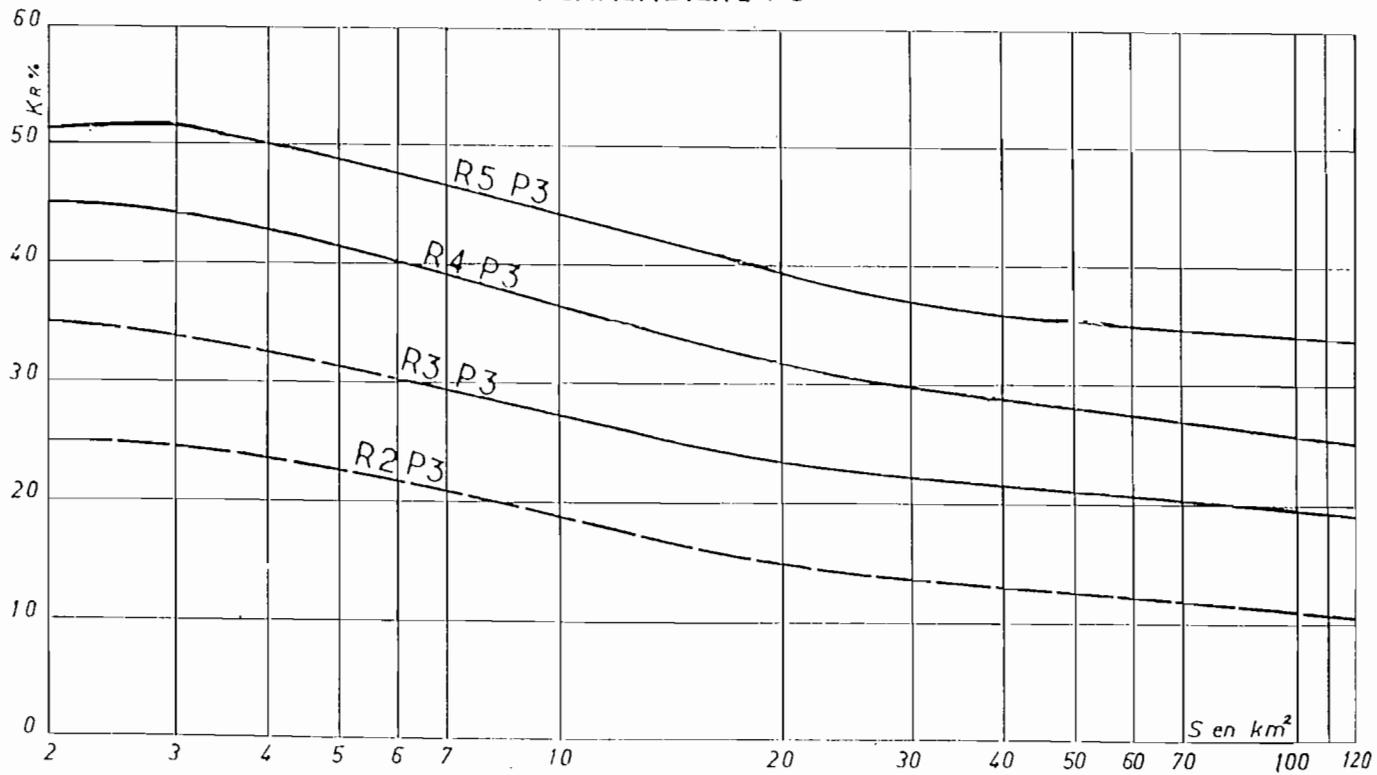
Fig. 2-6.

COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes sahéliens et subdésertiques

(P varie de 150 à 800 mm.)

PERMEABILITÉ P3



ANNEXE III

ANNEXE III

CHAPITRE III

ETUDES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN

3-1: ETUDE GEOLOGIQUE DE LA ZONE.

Au Sénégal l'échelle stratigraphique présente de haut en bas des séries allant du quaternaire au précambrien. La planche 3-1 donne la chronologie des différentes formations géologiques que nous allons rencontrer dans la suite.

Notre zone d'étude (la C.R. de Sébikotane), située sur la partie ouest du Sénégal est caractérisée par des accidents tectoniques repérables dans les directions N39°E à N43°E. Quatre accidents majeurs de direction plus ou moins Nord-Sud divisent la zone en trois parties (figure 3-1):

- Le compartiment de Sébikotane,
- Le compartiment de Ndiass,
- Le compartiment de Pout.

3-1-1: Le compartiment de Sébikotane.

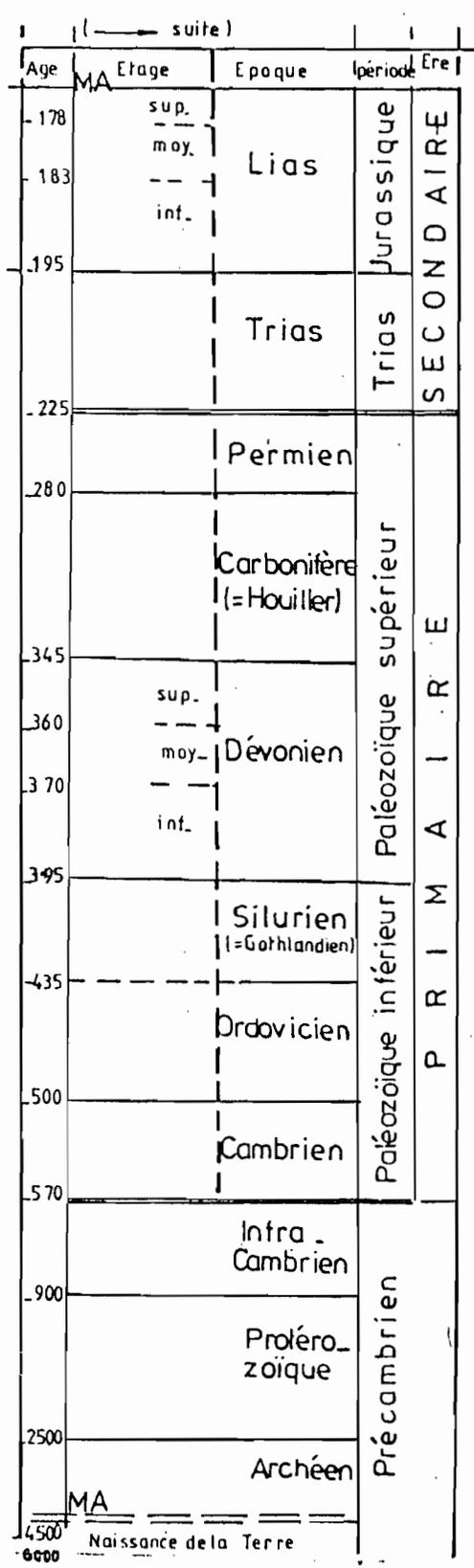
Il est limité à l'Est par la faille de Sébikotane et à l'ouest par la faille de William Ponty (figure 3-2). La faille de William Ponty-Kayar met en regard de part et d'autre des formations marneuses et marno-calcaires très peu ou pas perméables de l'éocène et du paléocène à l'Ouest (de la faille) et les niveaux aquifères des calcaires paléocènes (zoogènes) karstifiés à l'Est.

La faille de Sébikotane met en communication les calcaires paléocènes de Sébikotane et les niveaux sablo-gréseux du maestrichtien profond du compartiment Nord de Pout, isolant ainsi les calcaires paléocènes du compartiment de Pout avec ceux de Sébikotane.

La faille de W. Ponty joue le même rôle entre les niveaux argileux à l'Ouest et argilo-gréseux du maestrichtien à l'Est (limite ouest de la zone d'étude).

Les calcaires du compartiment de Sébikotane ont un pendage Ouest. A l'approche de la faille de W. Ponty le plongement s'accroît et au-delà les

PLANCHE N°3-1
CHRONOLOGIE GEOLOGIQUE SOMMAIRE



mA: milliers d'années
MA: millions d'années

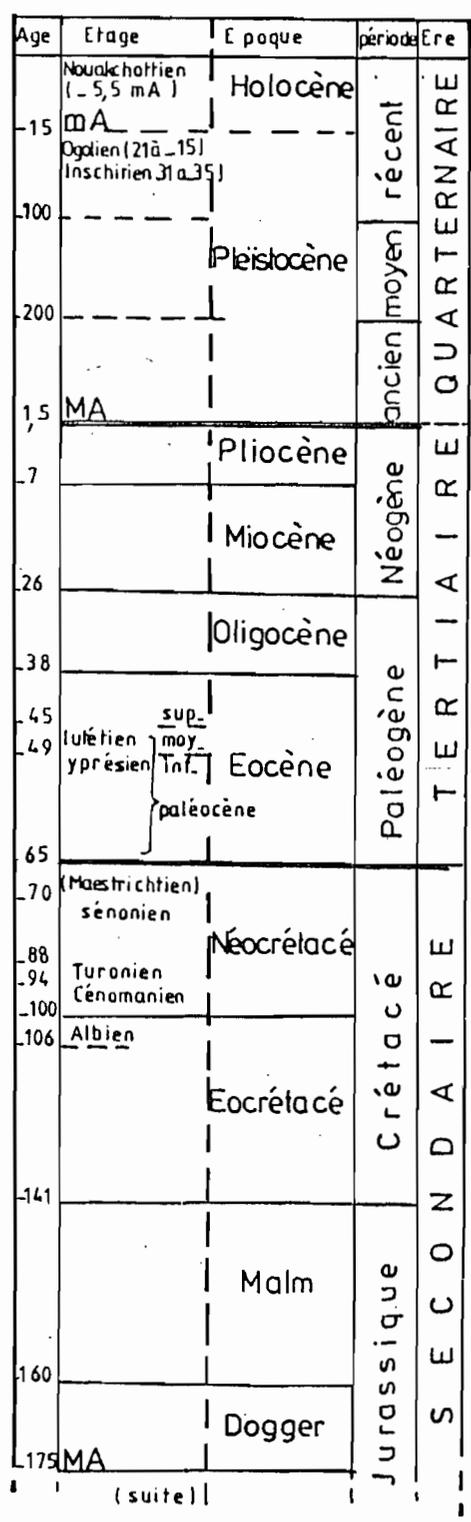
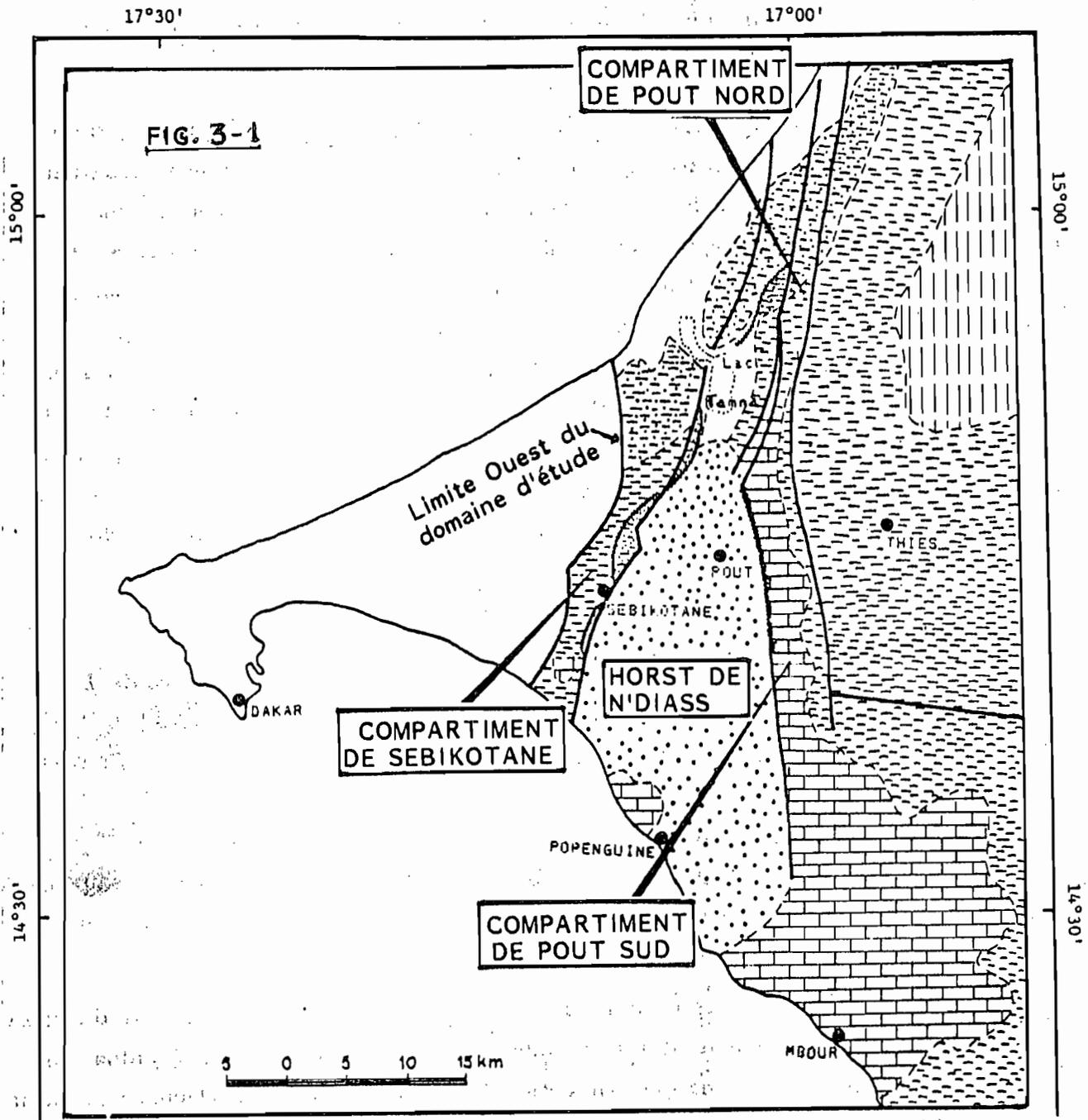
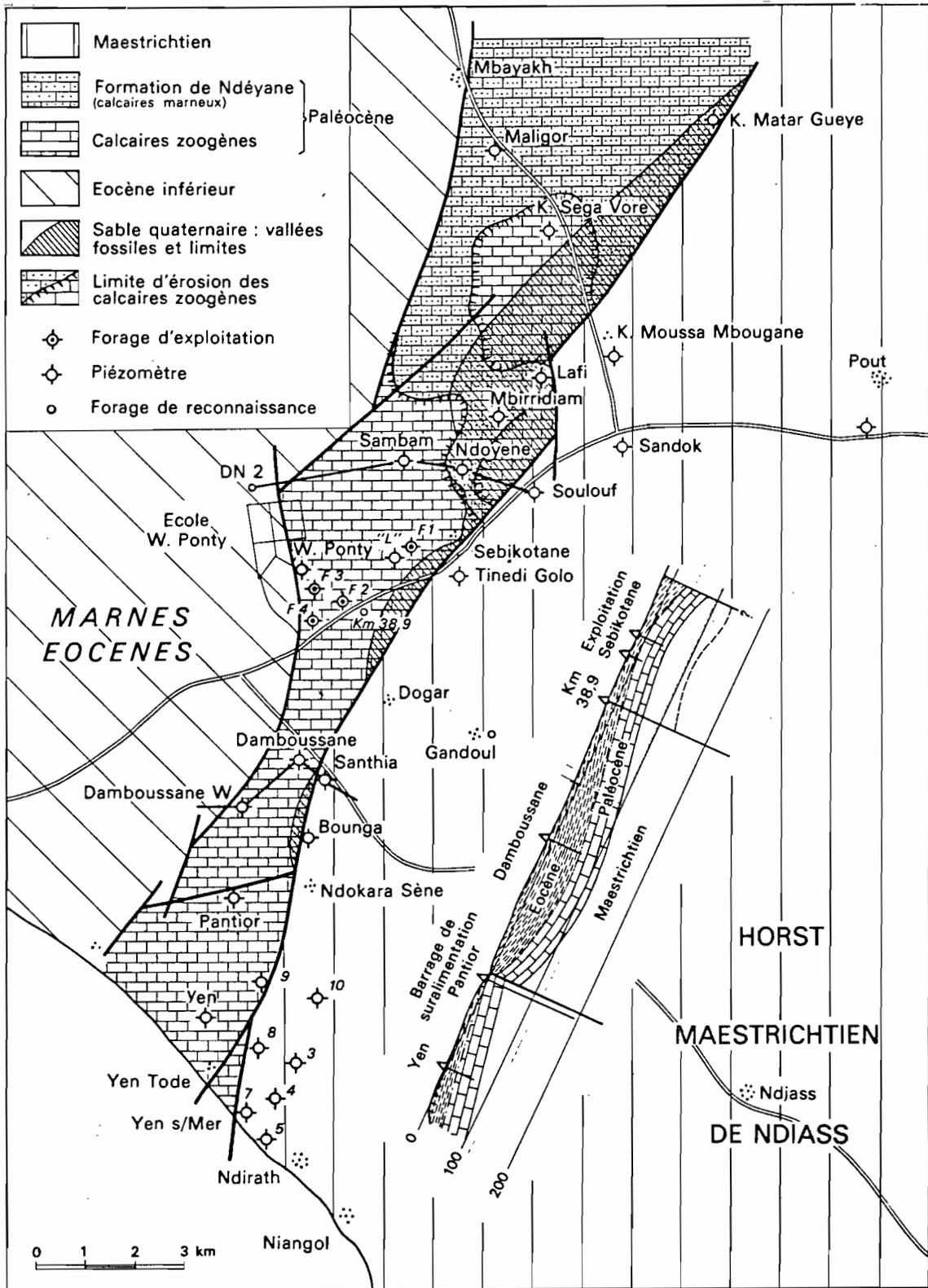


Fig. 3-1: STRUCTURES GEOLOGIQUES DE LA PARTIE OUEST DU BASSIN SEDIMENTAIRE DU SENEGAL



- | | | |
|---------------------------|--|--|
| <p>QUATERNAIRE</p> | <p>☐ dunes recentes, vases et sables marins</p> <p>▤ dunes fixes</p> | <p>— Faille</p> <p>— Contour de vallée fossile</p> |
| <p>TERTIAIRE</p> | <p>▧ calcaire et marne (lutetien)</p> <p>▨ marne et marno-calcaire (Lut. Inf. à Eoc. Inf.)</p> <p>▩ calcaire (Paléocène)</p> | |
| <p>SECONDAIRE</p> | <p>▫ sables et grés (Maestrichtien)</p> | |

Fig. 3-2



Ecorché du compartiment de Sébikotane (Eocène inférieur supposé enlevé)

calcaires cèdent la place à une série essentiellement marneuse (à l'Ouest de la faille de W. Ponty; marnes blanches et marno-calcaires).

Du Nord au Sud, les calcaires zoogènes peu profonds à Sébikotane, s'enfoncent vers Damboussane et se relèvent légèrement vers Panetior (fig. 3-2). Là, une faille relève le compartiment Sud, faisant affleurer les calcaires dans le marigot non pérenne de Panetior. Au-delà les calcaires replongent à nouveau vers le Sud, recouvert par un toit de marne de l'éocène inférieur.

Au Nord de Sébikotane, dans les limites même du compartiment tectonique, le paléocène a été largement érodé, parfois même il n'existe plus. C'est le cas à Lafi, Maligor ... où les marnes de l'éocène reposent en discordance sur la formation de Ndéyane. Les vallées fossiles de Ndéyane et de Santhia sont actuellement comblées par un remplissage sableux quaternaire (fig. 3-3).

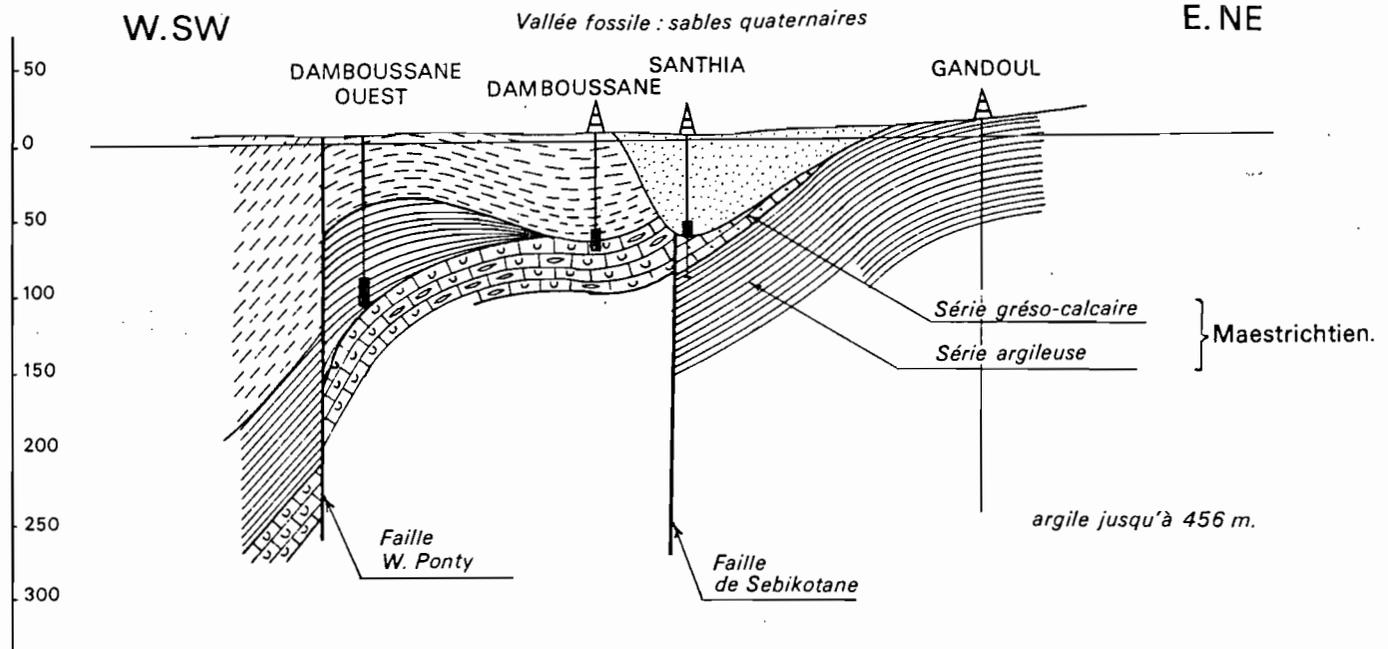
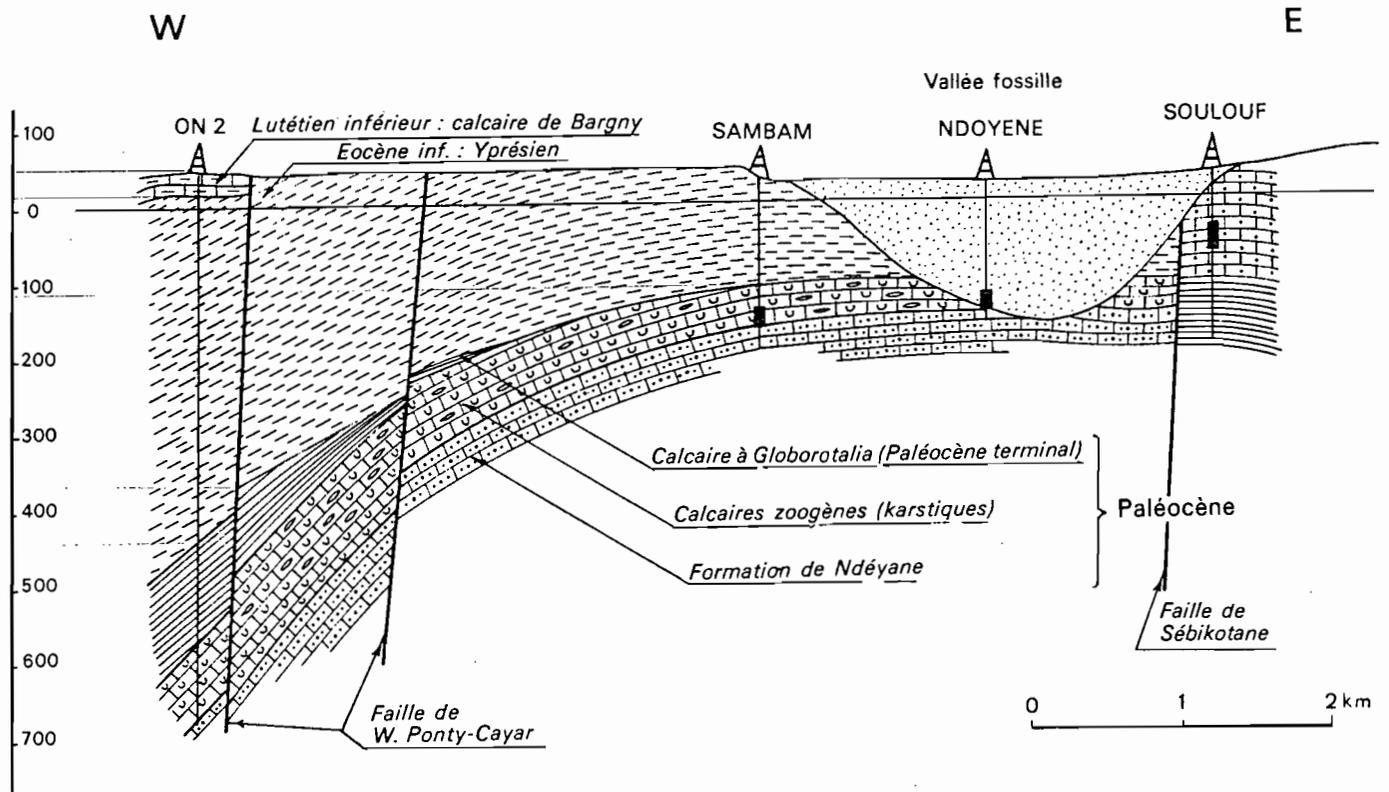
Les calcaires zoogènes profondément karstifiés sur toute l'étendue du compartiment tectonique de Sébikotane constituent un aquifère perméable à grand débit. La formation de Ndéyane et les grès calcaires sous-jacents, faiblement aquifères et confinés à l'intérieur du compartiment, sont en relation hydraulique avec la nappe des calcaires paléocènes, mais indépendants de la nappe maestrichtienne du massif de Ndiass.

3-1-2: Le Horst de Ndiass.

Il est limité par la faille de Sébikotane à l'Ouest, celle de Pout-Foulomé (Pout) à l'Est et par le lac Tamna au Nord (fig. 3-1). Au Sud du compartiment de Sébikotane, les calcaires paléocènes communiquent toujours avec les niveaux maestrichtiens profonds. La faille de Pout met en contact la série sablo-argileuse du maestrichtien supérieur du Horst de Ndiass avec les calcaires paléocènes de Pout. Au Nord le rôle de la faille de Pout s'annule et les calcaires paléocènes forment un banc continu entre la faille de Sébikotane et celle de la falaise de Thiès (fig. 3-4)

Les formations maestrichtiennes sont subaffleurantes sur la quasi totalité du compartiment de Ndiass et sont souvent masquées par de puissantes forma-

Fig. 3-3



Compartiment de Sébikotane : Coupes W-E

tions latéritiques et localement par des recouvrements sableux. Elles affleurent au Sud le long des falaises côtières qui interrompent le massif.

Le Horst maestrichtien de Ndiass est aussi visible à l'extrémité Ouest du profil au niveau de Keur Moussa et de Pout. Le toit des sables s'effondre ensuite brusquement vers l'Est en direction de Thiès (un rejet de 160 m sur une distance de 10 Km).

Le lac Tamna qui prolonge vers le Nord le massif de Ndiass correspond à la partie Nord du horst primitif qui, par le jeu d'un basculement au Lutétien supérieur, a donné naissance au massif de Ndiass et au lac Tamna.

Les figures 3-4 et 3-5 donnent la carte et les coupes structurales du horst de Ndiass.

3-1-3: Le compartiment de Pout.

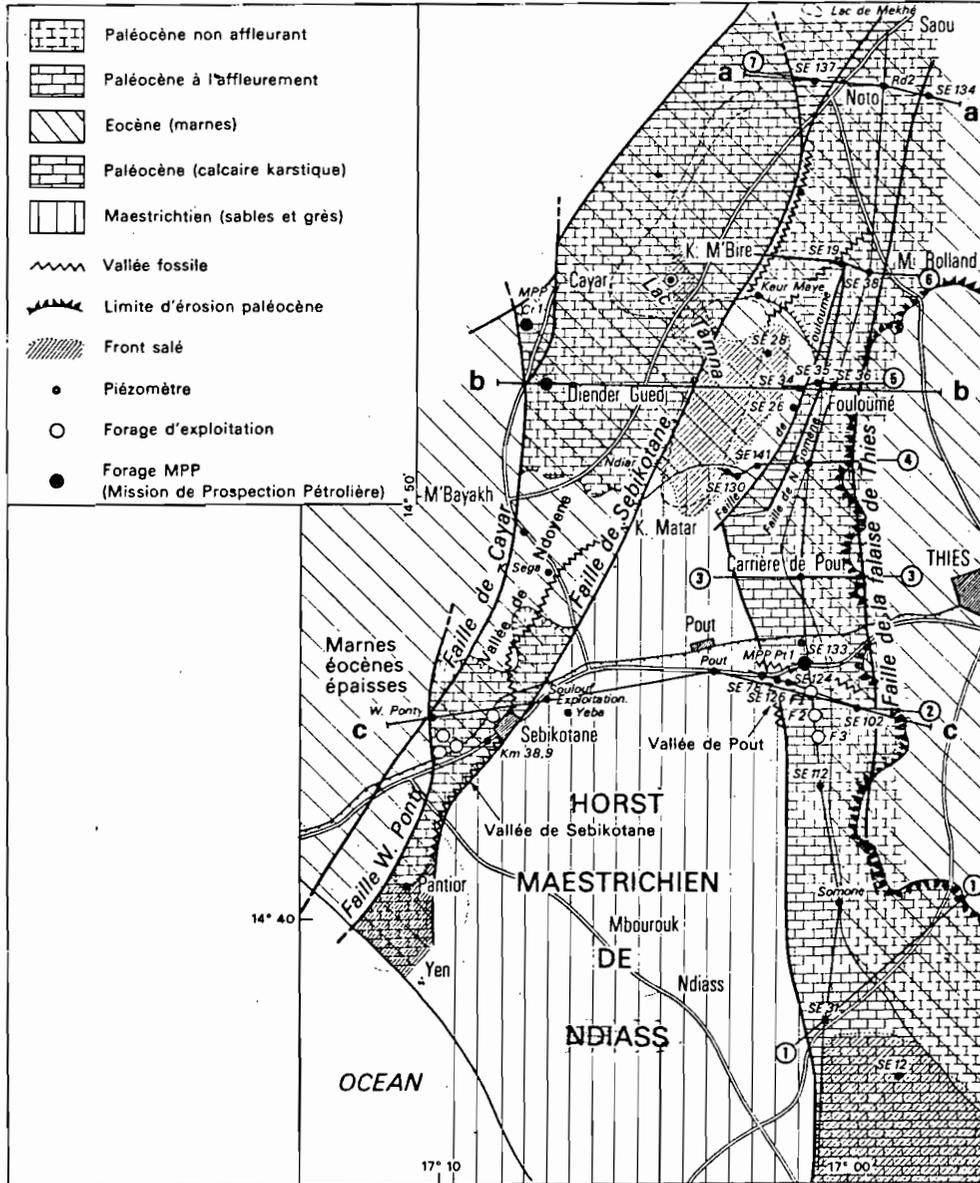
Il constitue la limite Est de la zone d'étude. Le compartiment de Pout est limité par la faille de Pout à l'Ouest et celle de la falaise de Thiès relayée par la faille de Pout Diack à l'Est de la karstification des calcaires paléocènes. Ainsi, au-delà de cette limite, les calcaires deviennent compacts et s'engouffrent progressivement sous une importante série éocène.

3-2 : RELIEF ET TOPOGRAPHIE DANS LE BASSIN

A l'échelle du bassin versant de Panetior (plus réduit que la zone d'étude géologique) les pentes des terrains sont assez variables. Au Sud de la route Nationale 2 de Thiès (Yéba I et II etc...) le relief est plus sévère et les pentes sont moyennes à assez fortes dans certains endroits. Les pentes y atteignent parfois 10% ou même plus. Le point culminant se trouve sur le massif de Ndiass; c'est la butte de Galdia à 96 m I.G.N.. Dans les autres parties, le relief s'amortit et les pentes sont parfois inexistantes. Le zonage du bassin (chapitre 6) complètera cette étude.

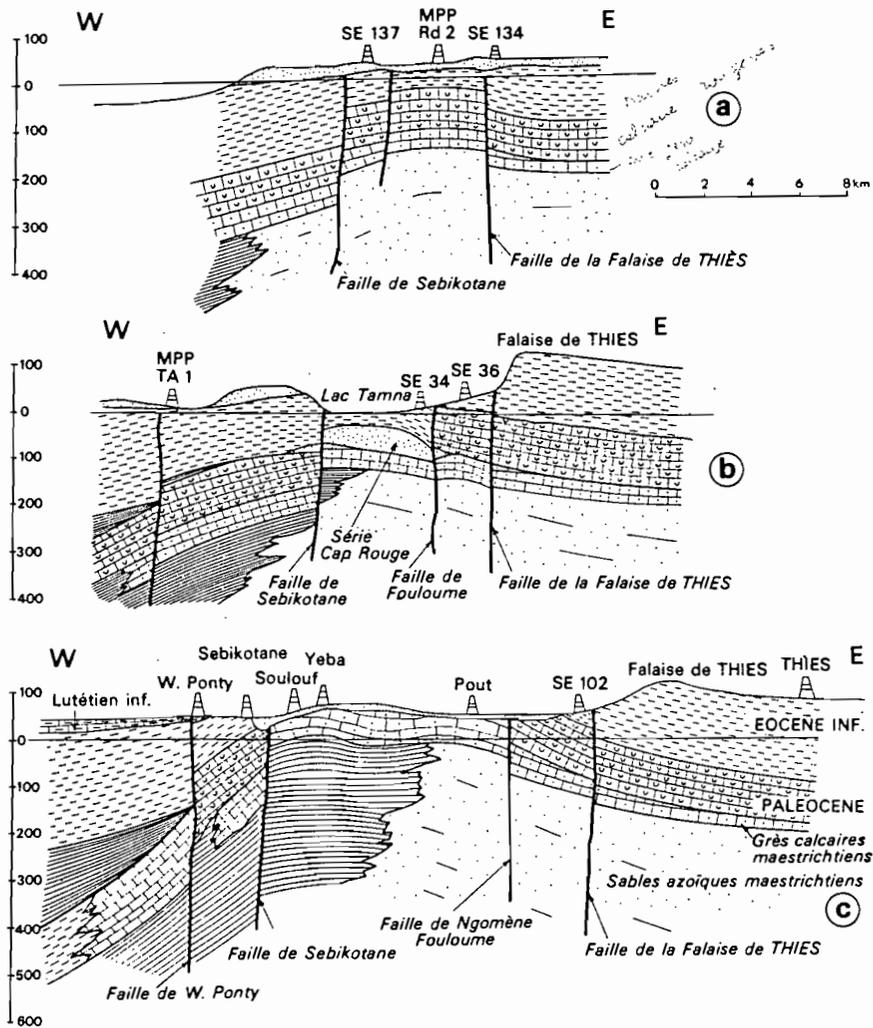
La figure 3-6 donne la carte hypsométrique du bassin versant.

Fig. 3-4



Carte structurale du Horst de Ndiass

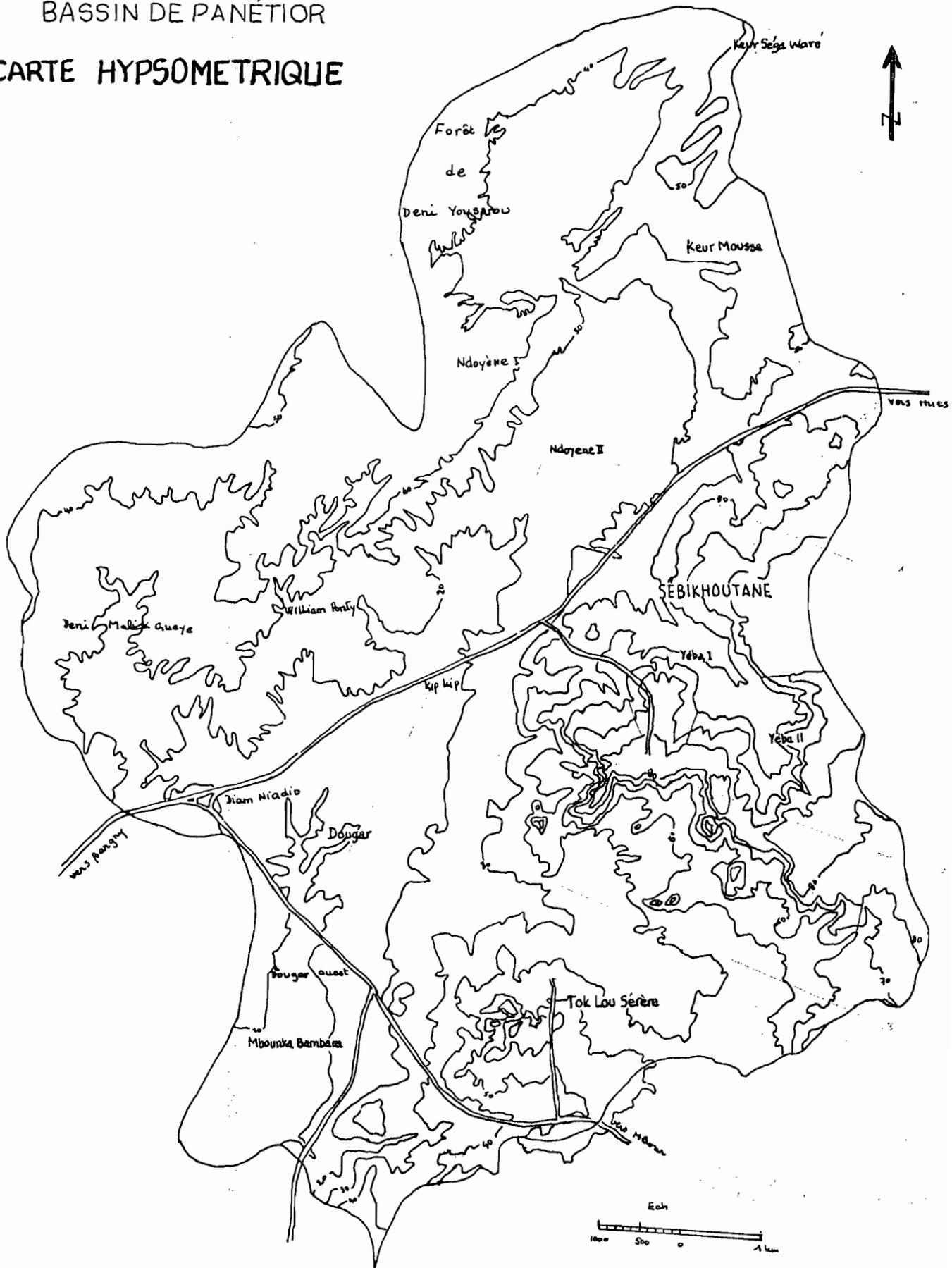
Fig. 3-5



Coupes structurales du horst de Ndiass

Fig. 3-6

BASSIN DE PANÉTIOR
CARTE HYPSONOMETRIQUE



ANNEXE IV

ANNEXE IV

CHAPITRE II V

ETUDES PEDOLOGIQUES DU BASSIN

Comme nous avons eu à le constater, la zone est caractérisée par une tectonique cassante; ce qui lui confère des particularités géomorphologiques importantes à comprendre, pour mieux saisir leurs incidences au plan économique. En effet différentes unités géologiques ont été mises en place. Ce sont:

- Le massif de Ndiass,
- Les dépressions de Sëbikotane, de Pout,
- Les formations dunaires,

Cette diversité géomorphologique entraîne une diversité des sols:

- Les sols hydromorphes argileux: dans les plateaux,
- Les sols hydromorphes sableux: dans les vallées,
- Les sols lithiques (pierres): sur les massifs (figure 4-1).

Ainsi le bassin versant peut être divisé en deux secteurs distincts grâce au bras principal du réseau de drainage aboutissant à Panetior.

4-1. A L'EST DU BRAS PRINCIPAL. (cours d'eau principal)

4-1-a: Sur le cordon dunaire.

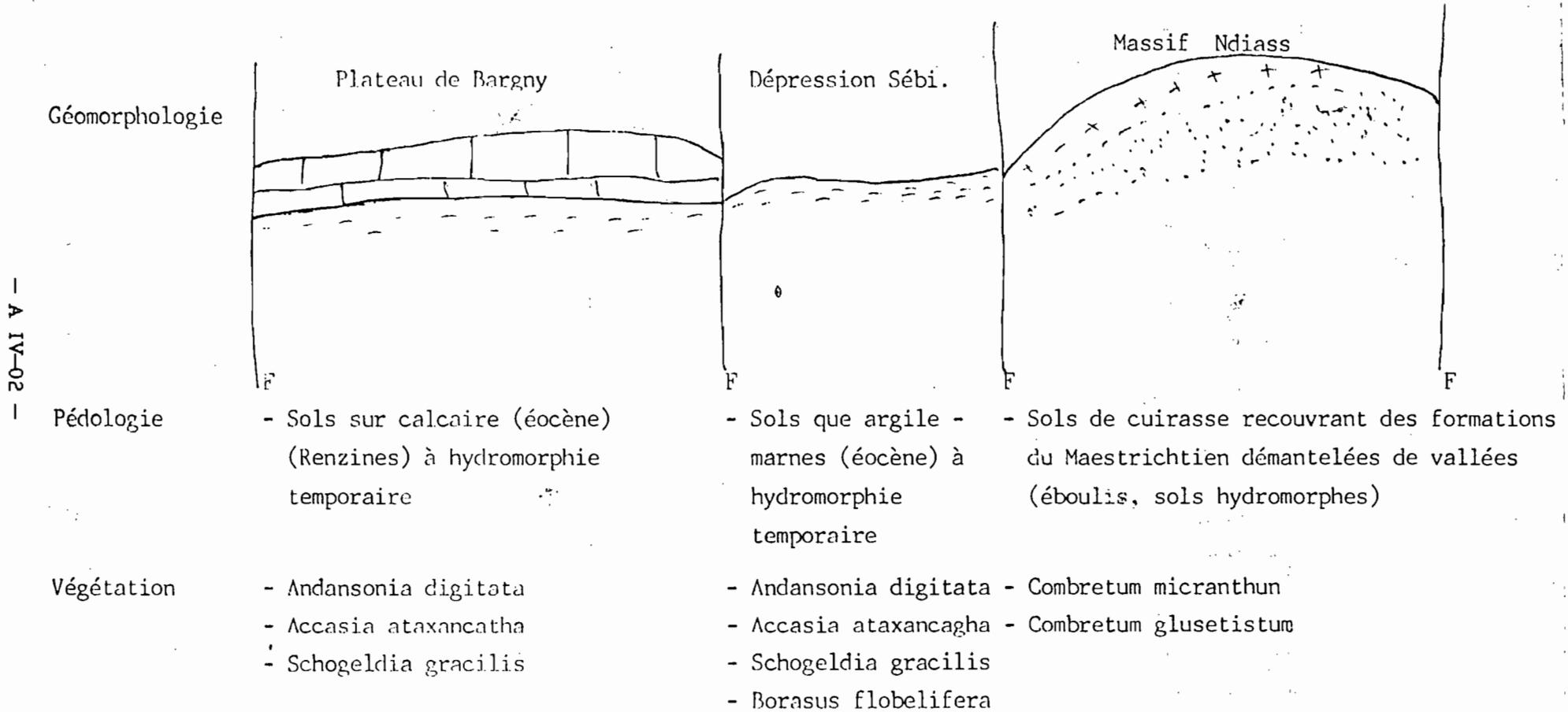
On y rencontre des sols isohumiques des pays subarides, brun-rouges, sur dune. Ce sont des sols sableux, très meubles dans tout le profil mais comportant sur 120 cm supérieur, des taux de matières organiques faibles mais bien répartis par une activité faunique intense (rongeurs, arthropodes).

On distingue deux types de sols suivant la tectonique de la zone.

4-1-b. Dans les zones basses au pied des grès cuirassés du massif.

Des sols à sesquioxydes de fer, ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés, sur colluvions (dépôts résultant d'un transport à faible distance sur le bassin) sablo-argileuses des grès ferrugineux. Ces sols dits évolués sur place

Fig. 4-1



diversités géomorphologiques et pédologiques des sols

font parti du sous ordre ferrugineux tropical. Ils appartiennent (sous-groupe des sols Diors) à la famille des Diors. Ce sont des sols sableux, faiblement argileux dans la majorité du profil, devenant en profondeur (vers 180 cm) assez mal drainés et argilo-sableux avec des taches vives d'oxydo-réduction du fer. Ces profils présentent à moyenne profondeur, des zones internes blanches avec des quartz lavés, ce qui indique une forte éluviation d'argile par drainage interne sous-épidermique, lors des périodes humides.

4-1-c Dans les zones basses au pied du cordon dunaire.

Les sols évolués sur place appartiennent au sous ordre des hydromorphes, au groupe hydromorphe à engorgement total et permanent (sols organiques) et à la famille sur alluvions sablo-argileuses de la série de Thiaye. Ces sols sont peu humifères à pseudogley gris à taches en profondeur sur sables de bas-fond. Ils sont faiblement argileux en surface, noirs ou gris et très compacts sur 1 m d'épaisseur, passant vers 120 cm à un matériau meuble sableux avec taches de pseudogley. Cette forte compacité rend les sols assez peu perméables et ils constituent des mares temporaires dans les dépressions au pied des dunes, lors des périodes humides.

4-2 : A L'OUEST DU BRAS PRINCIPAL.

On y rencontre des sols très argileux, de couleur noire ou brun foncé et calcaires dans la majorité du profil.

4-2-a Sur les pentes fortes et les entailles des axes de drainage.

Les sols sont calcimagnésiques carbonatés, évolués sur place et sont du sous ordre calcimorphe. Ils appartiennent au sous-groupe des rendzines d'érosion. Ils font parti de la famille sur marnes et calcaires marneux de Rufisque. Ces sols à fortes effervescence sur marne sont très calcaires, là où les marnes sont sub-affleurants. Ils s'érodent ainsi très rapidement du fait de leur forte pente.

4-2-b Sur les interfluves.

Les sols sont calcimagnésiques carbonatés, bruns calcaires vertiques, sur marnes. Ce sont des sols très calcaires à Ph élevé (≈ 8.5). Ils sont de couleur noire, avec une structure très stable polyédrique moyenne à granuleux. Ils présentent très souvent des accumulations de calcaires secondaires en encroûtement et à amas friables. Ils présentent peu de quartz, seulement dans les horizons supérieurs. Du fait de la stabilité des argiles calciques, l'eau agit par transport des grains et des agrégats plutôt que par mise en suspension sélective de l'argile.

4-2-c Dans les bas-fonds et les cuvettes.

Les sols sont des vertisols à drainage interne nul ou réduit, à structure arrondie en surface, à caractère d'hydromorphie. On les rencontre du côté de Kip-Kip, Dougar.... Ce sont des sols noirs irrégulièrement calcaires dans l'ensemble du profil, comportant des lots entrecroisés de grains calcaires et de gravillons. Ils sont très argileux, épais de 1.5 m ou plus, avec des fentes de dessiccation et une structure nette cubique à prismatique. Ils sont traversés par des chenaux servant d'axe de drainage. Ces sols sont peu soumis à l'érosion par l'eau.

4-2-d Dans les zones à couvertures sableuses peu épaisses.

Les sols sont calcimagnésiques saturés, bruns, épais à structure massive, sur marnes et marno-calcaire. Ces sols se rencontrent à proximité de Sébikotane et au Nord de l'école W. Ponty. Ils correspondent à des recouvrements de 1.5 à 2.0 m d'épaisseur de sables jaunes faiblement argileux, provenant d'un erg certainement très ancien, actuellement très aplati et persistant dans les creux de la topographie. Ils recouvrent directement les marnes de l'éocène inférieur sans mélange apparent des matériaux en présence. Les sols sont sableux à sablo-argileux, avec une couleur brune. Ils ne sont calcaires qu'en profondeur. Les horizons à matière organique sont relativement compacts en surface. Ces sols sont en plus assez médiocrement drainants en profondeur.

Le ruissellement superficiel est donc relativement important sur ces types de sols lors des précipitations et il y a un entraînement sélectif des sables moyens et fin vers les axes de drainage.

En somme, on peut dire que les conditions naturelles sont favorables. Les sols sont assez riches et conviennent à l'arbre (fig. 4-1). La figure 4-2 donne la carte pédologique du bassin.

Fig. 4-2

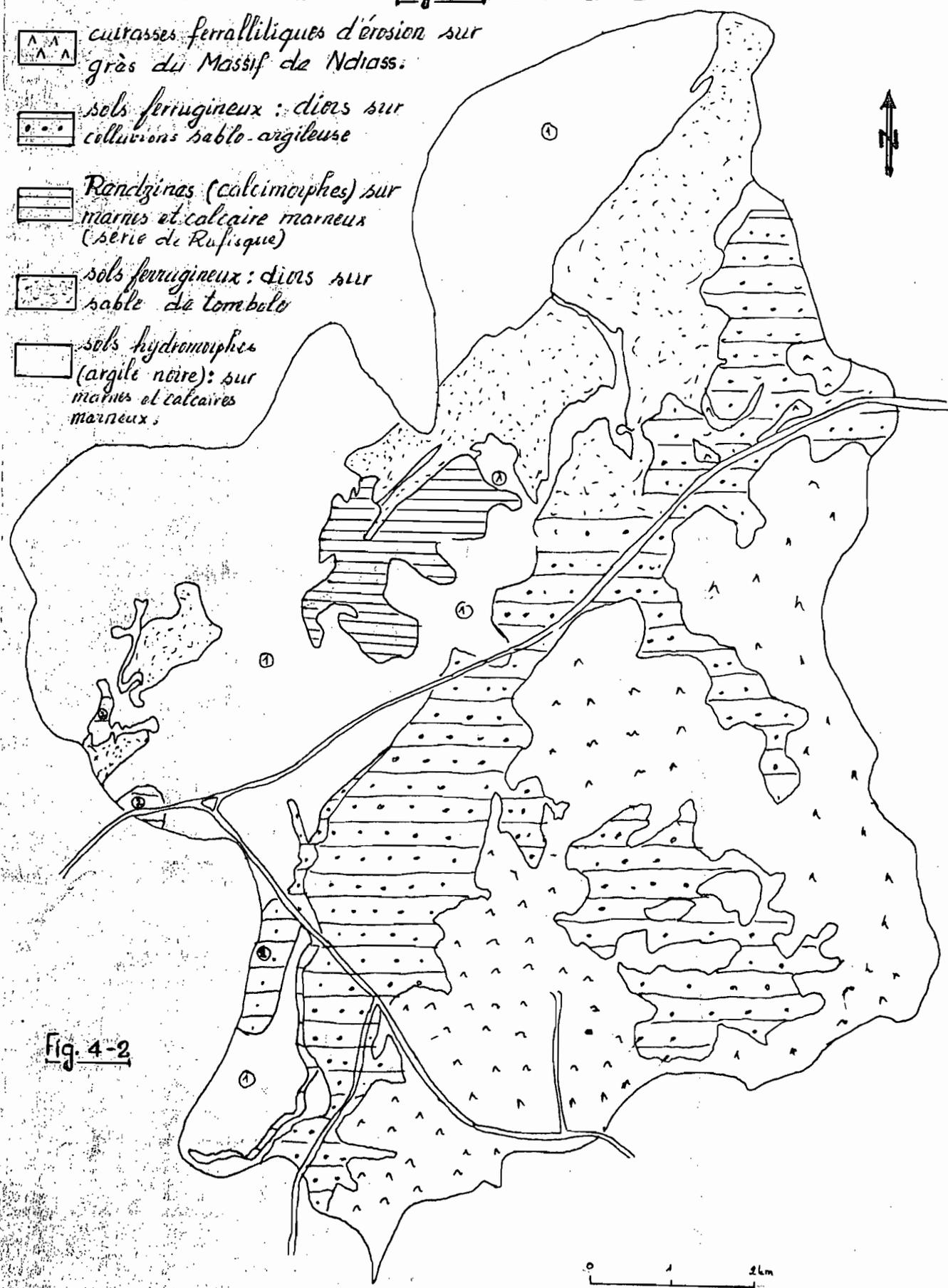


Fig. 4-2

Carte pédologique du bassin

ANNEXE V

ANNEXE V

COMPTURE V

ANALYSES DE SOLS

Des échantillons de sols ont été pris dans le bassin pour déterminer leurs caractéristiques granulométriques et organiques. Nous avons pris des échantillons à Yéba I et à Yéba II, dans les parties élevées. Dans la zone 3 (voir chap.6), un échantillon est pris au Sud de Déné Thierigne. Et, dans la zone 2, nous avons pris un échantillon à l'approche de Dougar peulh. Avec ces échantillons nous déterminons la granulométrie et le pourcentage de matières organiques.

5-1 ANALYSES GRANULOMETRIQUES.

Nous avons déterminé la densité spécifique et la granulométrie des échantillons de sols par tamisage et par sédimentation. Pour la plupart de ces échantillons nous avons effectué à deux essais puis nous avons soit la moyenne des deux essais (si les deux sont jugés bons).

Pour la granulométrie par tamisage nous avons utilisé le tamisage par lavage à partir du passant 40 car les grains de sols étaient fins. Bien entendu les résultats pourraient être altérés si nous étions en présence d'argile gonflante mais dans notre cas c'était le seul procédé valable, à cause de la finesse ou de l'humidité du sol. Et, il est complété par la sédimentométrie. Les résultats de la granulométrie sont montrés par les tableaux et les figures N^{OS} 5-1 à 5-4. Les sols ont une granulométrie peu érodable ($Cu > 15$), mais cela est insuffisant pour juger l'érodabilité d'un sol.

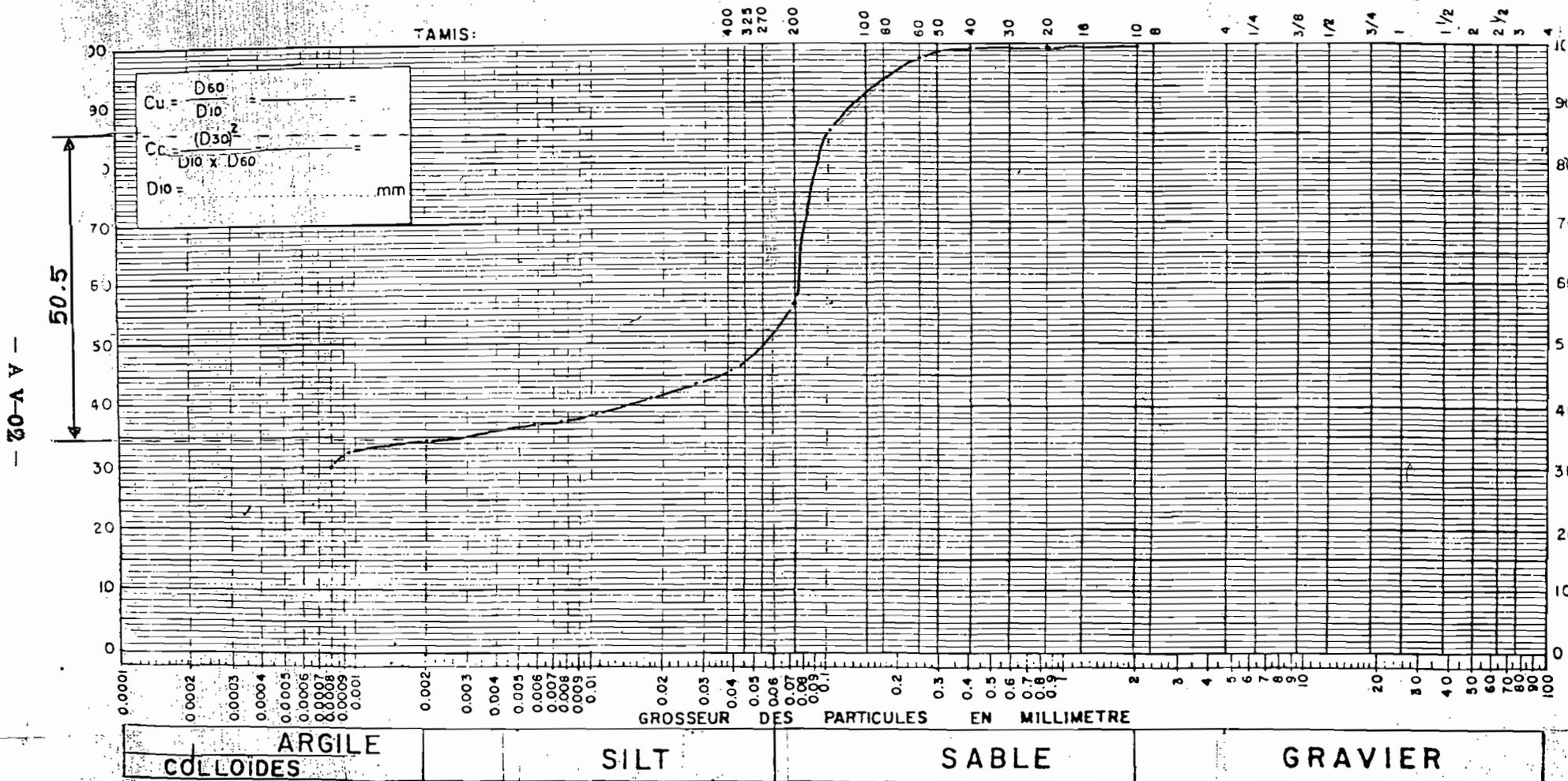
Pour l'utilisation de l'abaque de Wischmeier, dans la détermination de l'érodabilité, nous avons fait une interpolation des pourcentages de limons et sables très fins (0.1 à 0.002 mm) contenus dans ces différents échantillons.



DATE 04-04-89

ECHANTILLON NO 1

COURBE GRANULOMETRIQUE (M.I.T.)



ECHANTILLON DE YEBA II

DESCRIPTIONS: sable argileux silteux

REMARQUES: gravier (0%); sable (48%); silt (17.5%); Argile (34.5%)
 $C_u > 15$: granulométrie peu érodable.

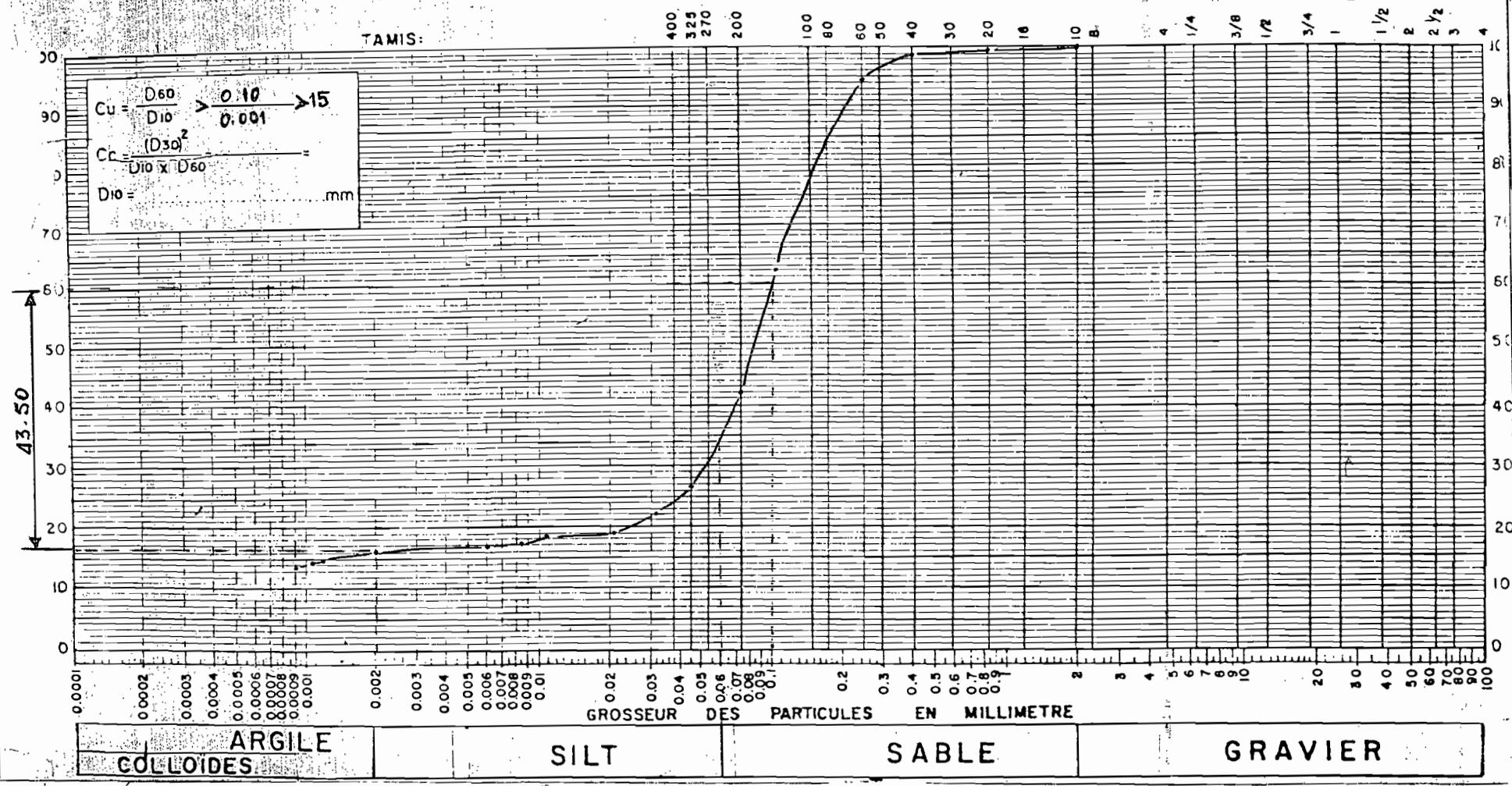


DATE 05-04-89

ECHANTILLON NO 2

COURBE GRANULOMETRIQUE (M.I.T.)

- 50-A V -



Echantillon de YEBA I

DESCRIPTIONS: Sable argileux silteux

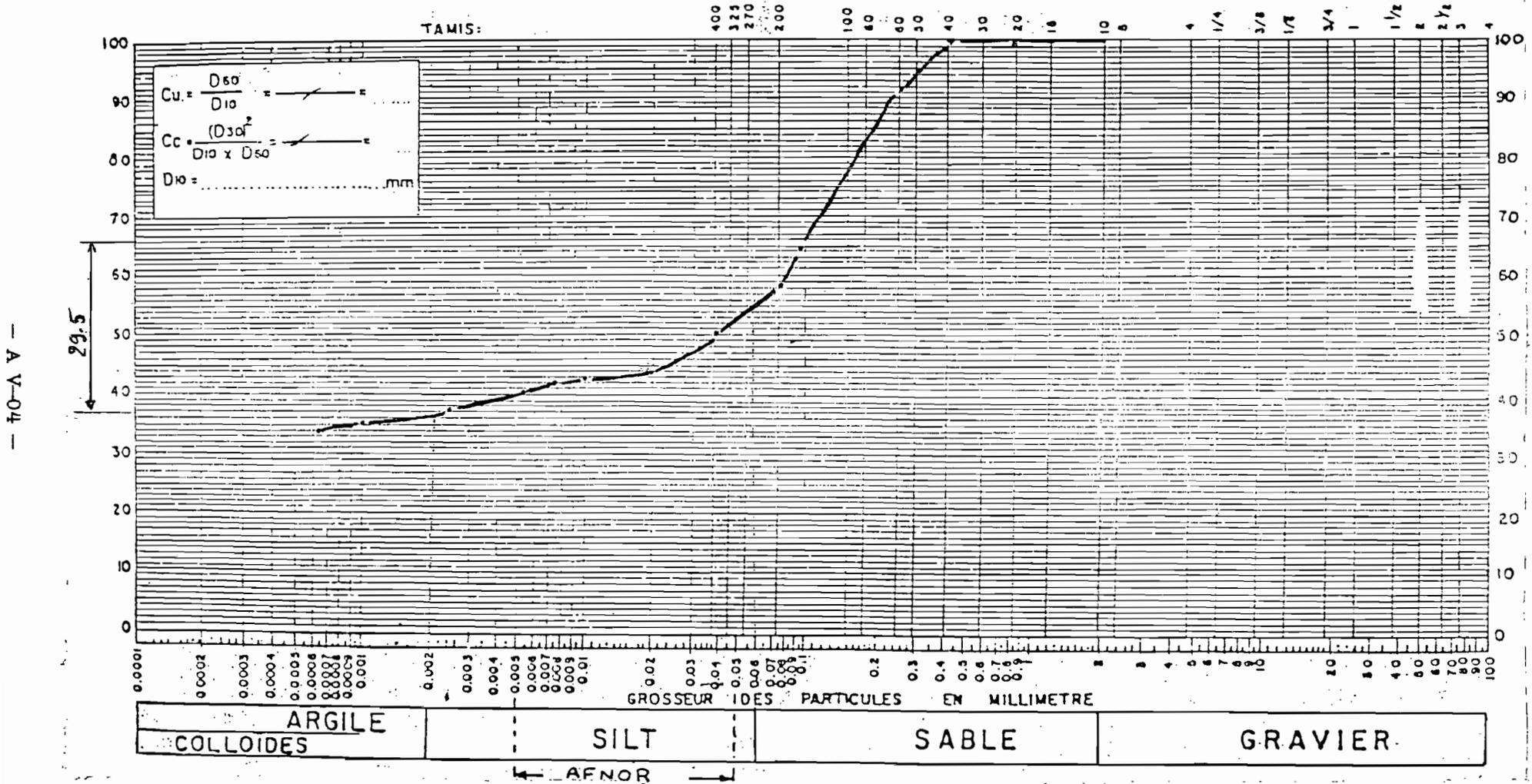
REMARQUES: gravier (0%); sable (66%); silt (17.5%); Argile (16.5%) . gr. peu érodable



DATE _____

ECHANTILLON NO. 3

COURBE GRANULOMETRIQUE



Echantillon de Dougar

DESCRIPTIONS: Argile sableuse avec silt

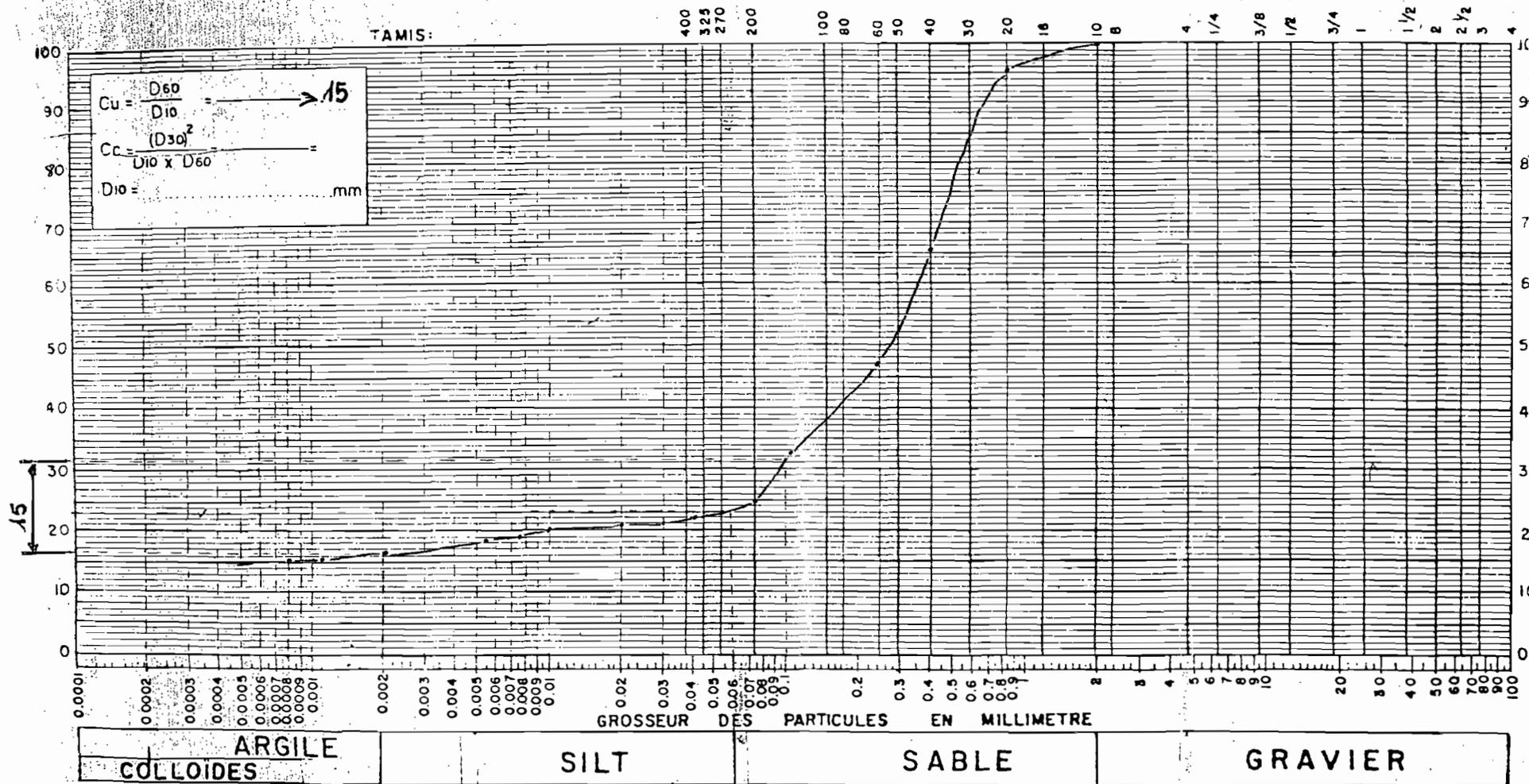
REMARQUES: gravier (0%); sable (44%); silt (19%); argile (37%). $C_u > 15$



DATE 04-04-89

ECHANTILLON NO 4

COURBE GRANULOMETRIQUE (M.I.)



Echantillon de D. Tierigne

DESCRIPTIONS: sable argileux silteux de couleur noire

REMARQUES: gravier (0%); sable (77%); silt (6.5%); Argile (16.5%). Granulométrie peu érodable

5-2 DETERMINATION DES POURCENTAGES DE MATIERES ORGANIQUES.

Ces analyses nous ont été faites gratuitement par les laboratoires de l'I.N.D.R.. Nous avons eu l'accord du Directeur dudit institut grâce au co-directeur externe.

Ce dosage de la matière organique (M.O.) a été effectué par incinération. Le principe consiste à sécher l'échantillon de sol (5g) à 105°C à l'étuve pendant une nuit. On détermine la perte de poids représentant l'eau d'hygroscopicité (humidité). La capsule est ensuite portée à 700°C au four électrique "à moufle" pour incinérer la M.O., transformée essentiellement en CO₂ et H₂O .

Le poids réel de la M.O. s'obtient en retranchant de la perte totale de poids, les pertes correspondant à l'eau d'humidité et de constitution des argiles et celles dues à la décomposition des carbonates (Ca CO₃). Cependant il faut signaler que la méthode par incinération ne tient pas compte de l'eau de constitution des argiles et de la décomposition des carbonates.

Ainsi les causes d'erreurs sont nombreuses; c'est pourquoi cette méthode doit être plus particulièrement réservée aux terres humifères, pauvres en argile et non calcaires.

Le tableau 5-1 ci-dessous donne les résultats obtenus:

ECHANTILLONS	HUMIDITE %	M. TOTALE %	M.O sans eau %
DOUGAR	6.27	7.80	1.53
YEBA I	0.67	3.75	3.08
YEBA II	0.92	1.30	0.38
THIERIGNE	5.46	7.40	1.94

La colonne 3 sera utilisée pour l'estimation de l'érosion (chap. 6).

ANNEXE VI

ENQUETES ET EXPLOITATION

La communauté rurale a un système agraire très intense. Les cultures pratiquées sont diversifiées et s'étendent depuis les cultures hivernales à l'arboriculture en passant par le maraîchage qui couvre toute l'année.

1. LES CULTURES HIVERNALES

Les valeurs correspondant aux superficies occupées, à la production moyenne et au rendement obtenu, mentionnées dans le tableau ci-dessous, proviennent des estimations faites par le Centre d'Expansion Rural de Sébikotane. Comme nous le constatons, certaines informations concernant des plantes, ne figurent pas dans le tableau. Cela est dû au fait que celles-ci n'ont pas été disponibles au niveau du C.E.R. . Les valeurs des rendements optimaux ont été tirées de la référence 8 (mémento de l'agronome).

Ce manque d'informations en ce qui concerne les Pastèques, les tomates etc... peuvent rendre difficile l'interprétation des résultats.

Cultures pratiquées	Superficies occupées (ha)	Production moyenne (T)	Rendement obtenu (Kg/ha)	Rendement optimum (Kg/ha)
Arachide	235	200	850	1500 à 3000
Mil souna	430	258	600	1500 (moy.)
Maïs	500	100	200	1000 (moy.)
Sorgho	620	465	750	1000 à 1200
Niébé	40	—	—	2000 à 7000 (vert)
Manioc	240	—	—	3000 à 15000
Pastèques	—	—	—	20000 à 40000
Gombo	—	—	—	4000 à 8000
Aubergines	—	—	—	15000 à 20000
Tomates	—	—	—	6000 à 30000

Le tableau étant incomplet, il est difficile de tirer des conclusions généralisables sur toutes les plantes. Néanmoins, nous pouvons faire des comparaisons entre les cultures de mil, maïs, sorgho et arachide.

Nous constatons que les rendements observés, sur les cultures d'arachide, de maïs, de sorgho et de mil, sont inférieurs aux valeurs minimales des rendements optimaux correspondants. Cette baisse des rendements peut être due à une perte de fertilité des sols, aux méthodes et moyens d'exploitation ou bien même aux manques de terres meubles et fines dont elles ont souvent besoin pour leur saine croissance.

Par ailleurs, nous saluons l'application par des paysans, de certaines techniques bio-culturelles. Parmi ces techniques nous citons les rotations de cultures (jachère arachide, céréale-arachide (JACA)). Cependant le sarco-binage est fortement utilisé sans association d'autres cultures.

Nous notons que les principales contraintes du paysan semblent être liées au manque de moyens techniques et à la difficulté de l'eau.

2. L'ARBORICULTURE

Les principales cultures arboricoles pratiquées dans la zone sont les manguiers, les clémentines (mandarines), les avocatiers, les corrossoliers, les papayers, etc.... Les manguiers et les mandarines dominent.

Les chiffres dans le tableau suivant ont été tirés des références 22, 8 et au CDH de Cambérène

Arboric. pratiquées	Nombre de pieds dénombrés	Superficie moyenne (ha)	Densité obtenue (pieds/ha)	Densité Optimum (pieds/ha)
Manguiers	30430	150	200	100 (60 à 160)
Mandarines (citrus reticulata)	13000	52	250	200
Avocatiers	1034	10	100	
Corrossolier	600	3	200	

<u>SUPERFICIE</u> (ha)	Mandarines	Manguiers
Zone de Sébikotane Escale Domaine de Filfili Domaine séminaire Sembane	300	200
Zone de Yéba - Koutane Sérère Dougar - Yène	350	300
Zone de Ponty Diam Niadio Dène - Ndoyéne.	50	100
TOTAL	700	600

Un constat sommaire entre les rendements des manguiers et des mandarines montre qu'il y a plus de pieds qu'il n'en faut dans un hectare. Comparés à leur optimum, les manguiers et les mandarines sont surexploités.

La petite enquête menée ainsi que les observations effectuées sur place montrent que la maladie la plus fréquente chez les arbres se manifeste sous forme de trous noirs apparaissant sur le fruit. Le fruit attaqué, est sucé se qui empêche sa bonne croissance. Dans le tableau qui suit, nous présentons les diagnostics auxquels nous rattachons des maladies physiologiques susceptibles ainsi que des traitements possibles.

Nous n'entrerons pas dans les détails (carences en azote (N), potassium (K), magnésium (Mg) ou calcium (Ca)).

<u>DIAGNOSTICS</u>	Maladies susceptibles	Traitements
Croissance lente et baisse progressive des rendements	NEMATODES	Injection DBCP 2 ou 3 fois par an i.e 20 à 30 l/ha. Nématicides: - phenamifos (némacur) - prophos (Mocap) - carbofuran (furadan)
Pourriture noire des rejets ou du fruit.	Thielaviopsis paradoxa	Désinfection avec des Salicylamides de sodium pulvérisation cuprique juste avant la floraison et pendant la formation des fruits.
Avortement des fleurs et des fruits.	Anthraxose	Pulvérisation cypiq. juste avant la floraison et pendant la formation des fruits.

Apparemment le phénomène d'érosion ne semble pas gêner les activités arboricoles même si la menace est réelle.

3. LE MARAICHAGE

Le maraîchage dans la C.R. se fait bien. Les principales cultures maraîchères sont les tomates, le gombo, les melons, les pastèques, les cerises, les aubergines etc.... La superficie cultivée atteint 580 ha et les maladies les plus fréquentes n'ont pas pu être diagnostiquées. Cependant elles recourent probablement les grandes lignes des nématodes, acariens etc.... Pour les combattre il faudrait utiliser des nématicides et des acaricides. Celles-ci existent dans des gammes très variées (peropal, torque, artaban etc... pour les acaricides et furadan, basamid etc... pour les nématodes).

FORMULAIRE D'ENQUETE:

VILLAGE DE:

CULTURES PRINCIPALES

U.P.F. N°:

CULTURES DE CONTRE-SAISON.....

NOMBRE DE CHAMPS:

AUTRES CULTURES

CHAMP N°

PERIODE DE L'ENQUETE:

NOM DE L'ENQUETEUR:

CULTURES	SUPERFICIE OCCUPEE	NOMBRE DE PERSONNES TRAVAILLANT DANS L'EXPLOITATION	DIFFICULTES RENCONTREES (sols, eau ...)	DIAGNOSTICS des effets indésirables sur les plantes	NOMBRE DE PERSONNES EN CHARGES	PRODUCTIONS ATTEN- DUES	REVENUS ATTENDUS

ANNEXE VII

ANNEXE VII

PLANTES ET ASSOCIATIONS DE CULTURES

Dans cette partie annexe, nous donnons d'abord les caractéristiques des types de plantes les plus utilisées dans la lutte antiérosive puis nous donnons des types d'associations de cultures qui sont utilisées au Sénégal et ailleurs. Ces associations culturales, appliquées ou non au Sénégal, sont très souvent, des associations de graminées-légumineuses.

TABLEAU A7-1: PLANTES UTILISEES SUR LES TALUS ANTIEROSIFS.⁽¹⁾

NOMS SCIENTIFIQUES	NOMS VERNACULAIRES	FAMILLE	CARACTERISTIQUES	AUTRES UTILISATIONS AGRICOLES
<u>Andropogon gayanus</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Gamba grass -Ouaga (Bambara) -Gamba (Haoussa) 	Graminée	<ul style="list-style-type: none"> - vivace - cespiteuse 	<ul style="list-style-type: none"> - ensilage - pâture permanente
<u>Cenchrus ciliaris</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Buffel grass -African fox tail -Bunch grass -Blue buffalo grass -Blue buffel grass -Anjan grass -Rhodesian fox tail -Pasto buffel 	Graminée	<ul style="list-style-type: none"> - vivace - cespiteuse 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrage (foin) - pâture
<u>Chloris gayana</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Herbe de Rhodes -Rhodes grass 	Graminée	<ul style="list-style-type: none"> - vivace - cespiteuse 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrage (foin) - pâture
<u>Cynodon plectostachyus</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Star grass -Pasto estrella 	Graminée	<ul style="list-style-type: none"> - vivace - stolonifère 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrage (foin) - pâture
<u>Cynodon dactylon</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Chiendent -Bermuda grass 	Graminée	<ul style="list-style-type: none"> - vivace - stolonifère 	<ul style="list-style-type: none"> - pâture

TABLEAU A7-1: PLANTES UTILISEES SUR LES TALUS ANTIEROSIFS. (suite)

NOMS SCIENTIFIQUES	NOMS VERNACULAIRES	FAMILLE	CARACTERISTIQUES	AUTRES UTILISATIONS AGRICOLES
<u>Digitaria umfolozi</u>	-Finger grass	Graminée	- vivace - stolonifère	- fourrage (foin)
<u>Pennisetum purpureum</u>	-Herbe à éléphant -Eléphant grass -Napier -Collet rouge	Graminée	- vivace - cespiteux	- ensilage - fourrage (en vert) - pâture
<u>Pennisetum clandestinum</u>	-Kikuyu	Graminée	- vivace - stolonifère	- pâture
<u>Cajanus cajan</u>	-Poids d'Angola -Pigeon pea	Légumineuse	- vivace - buissonneuse	- fourrage (en vert) - broutage direct - brise-vent
<u>Leucaena leucocephala</u>	-Tamarin bâtard -Ipil-ipil	Légumineuse	- vivace - arbustive	- fourrage (en vert) - alley-farming
<u>Stylosanthes guyanensis</u>	-Luzerne du Brésil -Luzerne tropical -Stylo.	Légumineuse	- vivace - herbacée	- fourrage (en vert) - pâture (sa. sèche) - fourrage (foin)
<u>Stylosanthes humilis</u>	-Luzerne de Townsville	Légumineuse	- annuelle - dressée	- pâture (sa. sèche)
<u>Vigna unguiculata</u> (variétés 58-74 ⁽²⁾ 58-185; 66-35.)	-Niébé -Cow-pea -Pois-boeuf -Southern pea	Légumineuse	- annuelle - ± rampante - bonne couverture du sol	- fourrage (en vert) - fourrage (foin)

(1) : Lorsque les soles emblavées sont séparées par des talus antérosifs, ces talus peuvent être consolidés par des végétaux herbacées à port plus ou moins rampant ou des lignes à enracinement profond.

(2) : La notation 58-74 signifie que la variété a été sélectionnée en 1958 sous le numéro 74.

TABLEAU A7-2: LES TYPES D'ASSOCIATIONS DE CULTURES.

ASSOCIATIONS	OBJECTIFS
<p><u>Vigna unguiculata</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - maïs - sorgho - mil 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrage haché - ensilage - culture dérobées (milieu paysan)
<p><u>Leucaena leucocephala</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Pennisetum purpureum</u> - <u>Panicum maximum</u> - <u>Digitaria sp</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion
<p><u>Leucaena leucocephala</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - cultures vivrières (maïs, sorgho ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - alley-farming
<p><u>Stylosanthes guyanensis</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Panicum maximum</u> - <u>Chloris gayana</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion
<p><u>Pennisetum purpureum</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Centrosema pubescens</u> - <u>Pueraria phaseo-</u> <u>loïdes</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion
<p><u>Centrosema pubescens</u> - <u>Cynodon dactylon</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion
<p><u>Stylosanthes guyanensis</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Centrosema pubescens</u> - <u>Pueraria phaseoloïdes</u> - <u>Macroptilium atropur-</u> <u>pureus</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - pâture court
<p><u>Centrosema pubescens</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Chloris gayana</u> - <u>Cynodon dactylon</u> - <u>Panicum maximum</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion

TABLEAU A7-2: LES TYPES D'ASSOCIATIONS DE CULTURES. (suite)

ASSOCIATIONS	OBJECTIFS
<p><u>Cajanus cajan</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Chloris gayana</u> - <u>Cynodon dactylon</u> - <u>Digitaria sp.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion
<p><u>Panicum maximum</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Pueraria phaseoloïde</u> - <u>Centrosema pubescens</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - fourrages améliorés qualitativement - anti-érosion

BIBLIOGRAPHIE.

1. Cartes hydrogéologiques de la presqu'île du Cap-Vert par le B.R.G.M.
échelle 1/50000^e A. Martin B.R.G.M. 1970
2. Les nappes de la presqu'île du Cap-Vert leur utilisation pour
l'alimentation en eau de Dakar (République du Sénégal) A. Martin B.R.G.M.
Mai 1970 .
3. Synthèse hydrogéologique du Sénégal 1984-1985 F.A.C. Juin 1985.
4. Etude hydrologique de deux petits bassins de la région de Thiès.
J. Lérique. O.R.S.T.O.M. Janvier 1977.
5. Paléo Hydrogéologie et Hydrogéologie quantitative du bassin Sédimentaire
du Sénégal. Essai d'explication des anomalies piézométriques observées.
Thèse: Par B. Dieng. Ecole des Mines de Paris. Janvier 1987.
6. Projet de fin d'étude à l'E.P.T. intitulé:
" Etude d'un Système de Stockage des Eaux de Ruissellement à Sébikotane. "
Projet E.P.T. Par A. B. Fall, M. Ndaw, F. Ndiaye. JUIN 1988 E.P.T.
7. Prospection géophysique et recherches d'eaux souterraines. Exemple
d'application en Afrique de l'Ouest par J. P. Mathiez et G. Huot. C.I.E.H
Juin 1966.
8. Mémento de l'agronome. République française. Ministère des relations
extérieures, coopération et développement. Edition 1984.

9. Expansion des ressources en eau dans les zones arides.
Techniques prometteuses et possibilités de recherches.
National Academy of sciences Washington, D.C. 1977.
10. Aride zone Hydrology for agricultural development. F.A.O. par K. r.
Jones F.A.O. StaffROME 1981.
11. Watershed develepment with special reference to soil and water conserva-
tion. F.A.O. Soil BulletinROME 1985.
12. Les eaux terrestres Hydrologie continentale. J. Loup.
MASSON et CIE, 1974.
13. SPECIALE EROSION ORSTOM. série Pédologie. Volume XXII N° 2 - 1987.
ORSTOM. 1987
14. La conservation des eaux et des sols au Sud du Sahara 2^e Edition.
par le Centre Technique Forestier Tropical (C.T.F.T), 1979.
15. Guide Pratique du maraîchage au Sénégal J. BENIEST ISRA n° 1/ 1987.
16. Les risques naturels. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et
Chaussées LCPC Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. France.
N° 150 et 151 Juillet-Août Septembre-Octobre 1987.
17. Erosion et Ruissellement en Afrique de l'Ouest vingt années de mesure en
petites parcelles expérimentales Roose ORSTOM, Août 1975.

18. Evaluation des moyens de lutte contre l'érosion. Conservation des eaux et des sols. Livret pratique d'entretien et de réalisation des petits ouvrages P. Martin C.I.E.H Décembre 1980.
19. Cartes topographiques de Dakar et environs au 50.000^e en trois feuilles 2^{ème} édition 1983 (révision) I.G.N. Paris , S.G.N. Dakar 1983.
20. Carte pédologique de la presqu'île du Cap-Vert - Dakar en trois feuilles. Echelle au 50.000^e . par R. Maignien. ORSTOM.
21. Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République du SENEGAL. Y. Brunet-Moret. ORSTOM 1963.
22. Plan de développement de la communauté rurale de Sébikotane (C.E.R). (Ministère de l'Intérieur) 1989.
23. Bulletin de la Commission d'Officialisation des prix B.C.O.P. DEP/ DGTP/M.E. N° 03 / 88 Mars 1988.
24. Cours d'Hydrologie, d'Hydrogéologie, d'écoulement à surface libre et d'Hydraulique Urbaine. E.P.T. 1988 - 1989.
25. Pluviométrie au Sénégal et en Gambie Jean Leborgne. ORSTOM 1988.