

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE PAR :

Apolline BANCOLE

ANNEE 1993-1994

AMENAGEMENT DE LA RAVINE DE
SONKORONG
REHABILITATION DE LA PISTE
KAYMOR-DAROU KHOUDOS
(DEPARTEMENT DE NIORO DU RIP
SENEGAL)

ORSTOM
EAUX CONTINENTALES
DAKAR MAI 1994

Mention :

TRES BIEN

Encadrement

TRAN MINH DUC

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée
le 1994 N° 217 BS 94

RÉSUMÉ

Dans le sud du bassin arachidier du Sénégal, la dégradation des voies de communication par un ravinement intense pose un problème pour le développement de cette région. Une agriculture extensive et une pression démographique de plus en plus forte sont à l'origine d'un ruissellement intense qui se concentre le long des pistes et les détruit.

Appartenant à ce vaste ensemble, le bassin versant de Sonkorong est situé dans la communauté rurale de Kaymor à 30 Km à l'est de Nioro du Rip. Avec une superficie de 7,71 Km² et un périmètre de 13 Km, ce bassin versant a pour exutoire une ravine dont l'érosion régressive a endommagé la piste Kaymor-Darou Khoudos et menace les habitations et parcelles de cultures riveraines.

Le projet d'aménagement de la ravine de Sonkorong vise la stabilisation de cette ravine et la réhabilitation de la piste à travers une approche participative des paysans.

Intégrant les facteurs socio-économiques et techniques, nos études, faites sur la base des résultats de la campagne hydrologique menée sur le bassin en 1993 et l'analyse de la progression de la ravine, ont conduit aux solutions suivantes:

- mise en place d'un radier surélevé en gabions au droit du franchissement de la piste servant également de seuil pour la ravine et dont le dimensionnement a été fait pour les crues décennale et vicennale.
- retalutage des berges de la ravine à la pente 1/2 et leur protection par végétalisation ;
- aménagement des parcelles alentours de la ravine par des cordons pierreux et une strate ligneuse formant une haie vive.

Ce projet conçu pour les populations de Sonkorong sera entièrement exécuté par les bénéficiaires sous la conduite d'un chef de chantier. Les travaux auront une durée de 4 mois à raison de 20 actifs-jour pour un radier dimensionné avec la crue décennale et 25 actifs-jour pour celui dimensionné avec la vicennale.

Le projet a coût global de 11,1 millions de FCFA dont 3,5 d'investissement humain pour la protection décennale. Pour la protection vicennale il représente un investissement global de 16,1 millions de FCFA dont 4,1 d'investissement humain. Parallèlement à l'aménagement de la ravine, il a été proposé un traitement de l'ensemble de la toposéquence visant à assurer la pérennité des ouvrages mis en place.

REMERCIEMENTS

La présentation de ce rapport m'offre l'occasion de remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation. Ainsi mes plus sincères remerciements vont à :

- Monsieur Jean ALBERGEL, Directeur de Recherche du Laboration d'Hydrologie de l'ORSTOM Dakar, qui m'a accueillie dans son service et encadrée ;

- Monsieur Francis DEGARDIN, Directeur de la Recherche et de l'Ingénierie à l'EIER, qui m'a permis de réaliser ce stage ;

- Monsieur Tran Minh Duc, Chef du Département Hydraulique agricole à l'EIER, pour ses conseils ;

- Monsieur Yannick PEPIN, Technicien de recherche à l'ORSTOM, pour son aide précieuse et ses multiples conseils ;

- Monsieur Jean-Claude BADER, Chargé de recherche à l'ORSTOM ;

- Monsieur CISSE, Cartographe à l'ORSTOM ;

- Messieurs THIEBAULT et MARTINI, techniciens à l'ORSTOM.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	6
SYNTHESE DES PRÉCÉDENTES ETUDES SUR LE BASSIN VERSANT DE SONKORONG	7
1. PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT DE SONKORONG	8
1.1 Situation, Caractéristiques générales et Dispositif expérimental.....	8
1.2 Les conditions de l'érosion dans le milieu.....	8
1.2.1 L'agressivité des pluies	8
1.2.2 Géomorphologie et sols.....	13
1.2.3 Le couvert végétal	14
1.3 Le ruissellement et l'érosion hydrique	14
1.4 Populations	14
1.4.1 Activités	18
1.4.2 Motivations pour l'aménagement	18
2. AMÉNAGEMENT DE LA RAVINE DE SONKORONG	19
2.1 Caractéristiques du site	19
2.2 Ouvrage de franchissement de la piste	19
2.2.1 Crue du Projet	19
2.2.2 Choix du type d'ouvrage	25
2.2.3 Choix de la technologie de réalisation	25
2.2.4 Dimensionnement de l'ouvrage	25

2.3	Ouvrages de stabilisation du lit	32
2.3.1	Le mécanisme de dégradation	32
2.3.2	Les aménagements	32
2.4	Zones d'emprunts, carrière et eau pour le chantier ..	32
2.5	Réalisation et coût d'investissement	33
3	PROPOSITION D'AMÉNAGEMENT POUR LE BASSIN VERSANT	34
3.1	Exemple d'aménagement intégré de bassin versant: bassin versant de Keur Dianko	34
3.2	Proposition d'aménagement pour le bassin	36
	CONCLUSION	37
	BIBLIOGRAPHIE	38

CARTES DANS LE TEXTE

- Carte 1 : Situation de Thyssé-Kaymor
- Carte 2 : Topographie et limites du bassin versant de Sonkorong
- Carte 3 : Situation des pluviomètres et pluviographes
- Carte 4 : Carte d'occupation des sols sur le bassin versant de Sonkorong
- Carte 5 : Bassin de Sonkorong, pistes et ravines
- Carte 6 : Limites de la ravine de Sonkorong
- Carte 7 : Plan de situation de la piste
- Carte 8 : Topographie de la ravine de Sonkorong
- Carte 9 : Situation du radier
- Carte 10 : Aménagements de Keur Dianko

FIGURES DANS LE TEXTE

- Figure 1 : Sonkorong : pluviométrie décadaire en 1993
- Figure 2 : Sonkorong : pluviométrie de 1970 à 1993
- Figure 3 : Répartition des risques d'érosion à Thyssé-Kaymor
- Figure 4 : Profils en travers du lit
- Figure 5 : Graphique de la section mouillée en fonction du débit
- Figure 6 : Profil en travers sur la piste
- Figure 7 : Vue en coupe du radier dans le sens de l'écoulement
- Figure 8 : Coupe en travers du radier

ANNEXES

- Annexe A : Tableau du bilan hydrologique de Sonkorong de 1970 à 1993
- Annexe B : Pluviométrie décadaire de Sonkorong en 1993
- Annexe C : Caractéristique de la section de jaugeages : débit- section mouillée
- Annexe D : Tableau des coordonnées des points du nivellement par rapport au 0 de l'échelle
- Annexe E : Caractéristiques des ouvrages
- Annexe F : Devis estimatif
- Annexe G : Questionnaire de l'enquête

INTRODUCTION

Ces dernières décennies, l'agriculture extensive, favorisée par l'explosion démographique et l'apparition de la culture attelée, a conduit à la dégradation des surfaces cultivables des zones soudaniennes et sahéliennes. Cela a eu pour conséquences: une forte érosion hydrique, une décroissance de la fertilité des sols et une rupture de l'équilibre entre la croissance de la production et celle de la population.

L'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), interpellé par ces grands problèmes, a lancé un vaste programme de recherches sur la gestion des ressources naturelles depuis le début des années 80. Au Sine Saloum, dans le sud-est du bassin arachidier du Sénégal, ce programme a choisi pour site d'études les communautés rurales de Thyssé et de Kaymor. En collaboration avec l'Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération (ORSTOM) de nombreuses recherches ont ainsi pu être entreprises sur: les mécanismes de dégradation du milieu, la valorisation des ressources naturelles et l'évaluation de l'efficacité de différents dispositifs anti-érosifs.

La présente étude initiée par Jean ALBERGEL de l'ORSTOM de Dakar fait suite à notre stage effectué en Juillet-Septembre 1993 sur le thème "Observation de bilans hydrologiques et de transports solides sur bassin versant expérimental, efficacité d'un dispositif anti-érosif à Keur Dianko" et concerne le sous bassin de Sonkorong. Ce bassin versant d'une superficie 7,71 Km² a pour exutoire une ravine active de profondeur atteignant 3 mètres en certains endroits. L'évolution de cette ravine a endommagé la piste reliant le village de Sonkorong au chef lieu de la communauté rurale et menace la stabilité des habitations et parcelles de cultures alentours.

Notre travail consistera à concevoir les ouvrages de stabilisation de la ravine et de franchissement de la piste. Après une synthèse des études faites sur le bassin versant de Sonkorong, nous présenterons ce bassin, exposerons les différentes étapes de la conception des ouvrages, évaluerons les coûts d'investissement et donnerons une proposition d'aménagement de l'ensemble du bassin versant.

SYNTHESE DES PRÉCÉDENTES ÉTUDES SUR LE BASSIN VERSANT DE SONKORONG

Les précédentes études effectuées sur le bassin de Sonkorong se résument :

- au mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en agronomie tropicale de ALAIN MONIMEAU sur le thème "Perspectives pour un aménagement intégré d'un bassin versant: projet d'aménagement de la ravine de Sonkorong";

- et à la campagne hydrologique de l'hivernage 1993.

1. Les travaux de MONIMEAU

L'étude de MONIMEAU, réalisée en 1992 a comporté 2 volets :

- proposition d'un aménagement intégré du bassin versant ;
- calibrage des ouvrages de l'aménagement de la ravine à partir des méthodes de prédétermination des crues.

Ainsi, il est ressorti de cette étude, le dimensionnement d'un radier en gabions pour une crue cinquantennale et une proposition de stabilisation des berges par végétalisation, avec une approche participative des populations concernées. Dans les travaux d'Alain MONIMEAU, nous notons une prédominance des aspects agronomiques et socio-économiques du sujet au détriment de ses aspects purement techniques. En tant qu'hydraulicien, nous nous proposons d'aborder le thème en prenant en compte tous les aspects pré-cités mais en insistant davantage sur les choix techniques ainsi que leurs justifications.

2. La campagne hydrologique de l'hivernage 1993

Réalisée par le laboratoire d'hydrologie de l'ORSTOM de Dakar, elle avait pour objectif de déterminer les caractéristiques hydrologiques du bassin et a consisté à :

- corriger la délimitation du bassin effectuée par MONIMEAU ;
- suivre les précipitations journalières, les écoulements de surface et les pertes en terre.

Cette campagne nous permettra de déterminer les débits de crue devant servir au dimensionnement des différents ouvrages sans avoir recours aux méthodes de prédétermination.

1 PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE SONKORONG

1.1 SITUATION - CARACTERISTIQUES GENERALES ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le bassin de Sonkorong se situe dans la région administrative de kaolack, ce site fait partie de la communauté rurale de kaymor (195 km²) dans le département de Nioro du Rip (2277 km²). Kaymor est située à 30 km à l'est de Nioro du Rip 13° latitude nord et 32° longitude ouest. (cf carte 1)

Les paramètres morphométriques du bassin sont les suivants (BANCOLE 1993):

Superficie : $S = 7.71 \text{ km}^2$;

Périmètre : $P = 13 \text{ km}$;

Indice de compacité : $Kc = 1.31$;

Longueur du rectangle équivalent : $L = 4.94 \text{ km}$;

Largeur du rectangle équivalent : $l = 1.56 \text{ km}$;

Indice de pente globale : $Ig = 4.15 \text{ m/km}$

Indice de Roche : $Ip = 0.070$

IL s'agit donc d'un petit bassin versant ($S < 10 \text{ km}^2$), de forme allongée ($kc > 1$), avec globalement une pente faible. (cf carte 2)

Le dispositif expérimental ayant servi à faire le suivi hydrologique est constitué de :

- 6 pluviomètres de type association avec une bague réceptrice de 400 cm²;
 - 3 pluviographes de marque précis mécanique;
 - d'une station hydrométrique équipé d'un limnigraphe OTTX (réduction 1/5 avance 10 mm/h).
- L'exutoire du bassin est à 1 km du poste pluviométrique de référence du PAPEM, installé depuis 1968. (PEPIN et al, 1993)

1.2 LES CONDITIONS DE L'EROSION DANS LE MILIEU

Les précipitations constituent les sources d'érosion hydrique. La nature des sols, les pentes, le couvert végétal et les techniques culturales sont un ensemble de paramètres susceptibles d'influencer positivement ou négativement les mécanismes de cette érosion.

1.2.1 L'AGRESSIVITE DES PLUIES

Le climat est du type soudano-sahélien, avec une saison sèche et une saison pluvieuse nettement différenciées. La saison des pluies s'étend généralement du 15 juin au 15 octobre avec un maximum de précipitations au mois d'août (cf fig 1). En 1993, la saison pluvieuse allait du 06 juin au 27 octobre avec une pluviométrie moyenne sur le bassin versant égale à 728 mm. La répartition de cette pluviométrie a été assez hétérogène; les hauteurs pluviométriques pour les différentes stations (cf carte 3) sont :

Baobab : 687.1 mm

Darou : 692.2 mm

Keur Niangan : 711.1 mm

Médina : 656.3 mm

N'dakhar Sonkorong : 731.7 mm

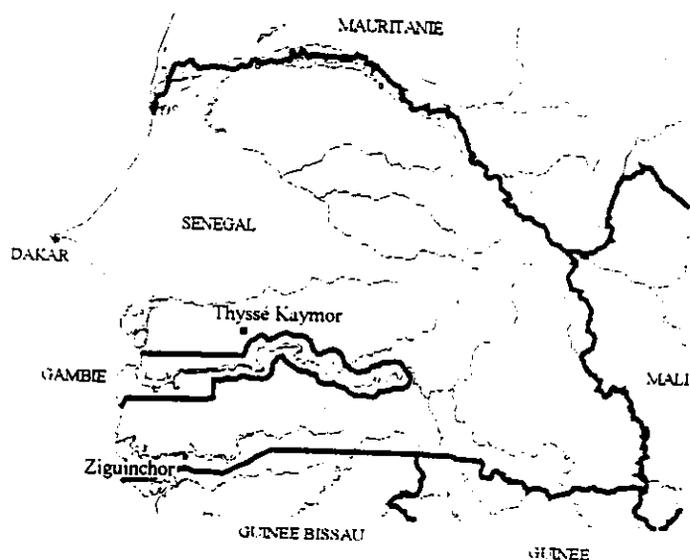
N'dakhar Toucouleur : 749.9 mm

Sonkorong : 719 mm

Termitière : 674.3 mm

Certains postes sont incomplets.

CARTE 1
Situation de Thyssé-Kaymor



CARTE 2
Topographie et limites du bassin de
Sonkorong

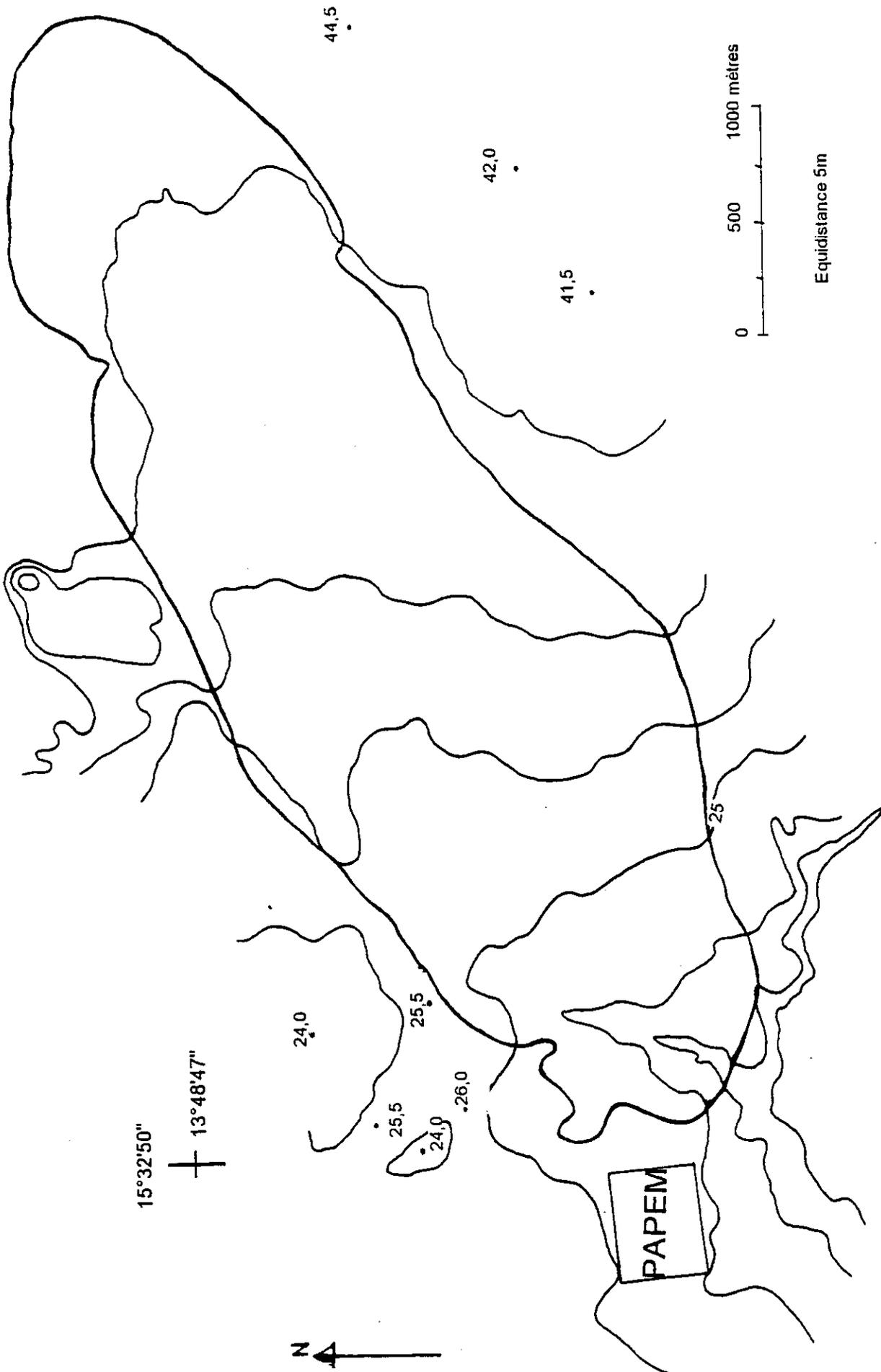


Figure 1

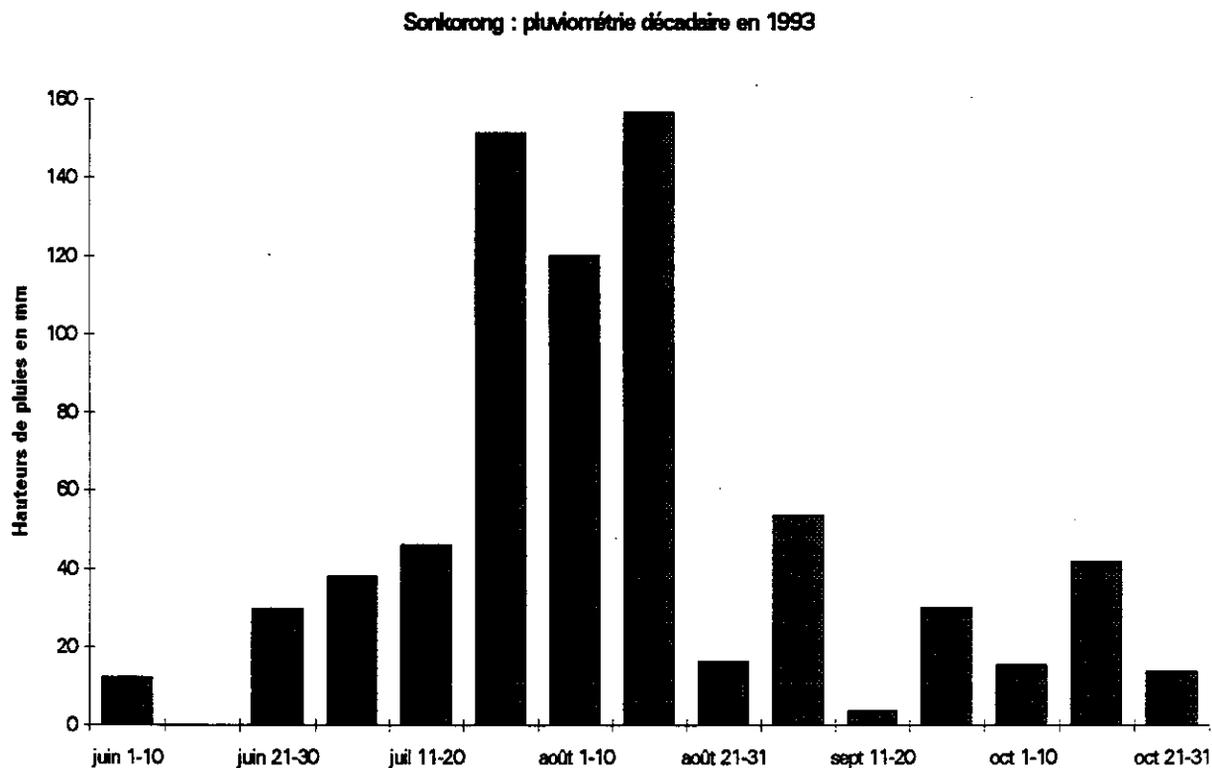
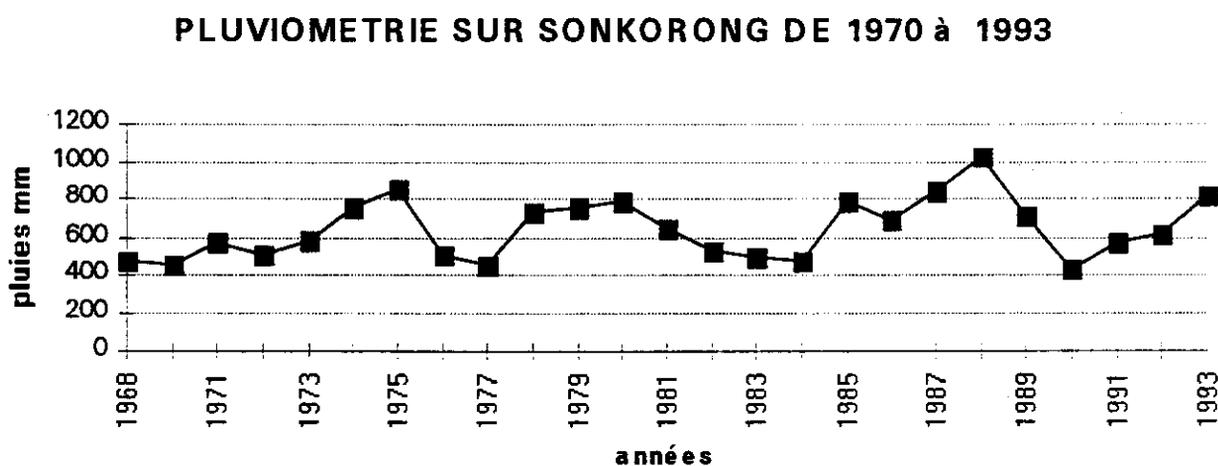
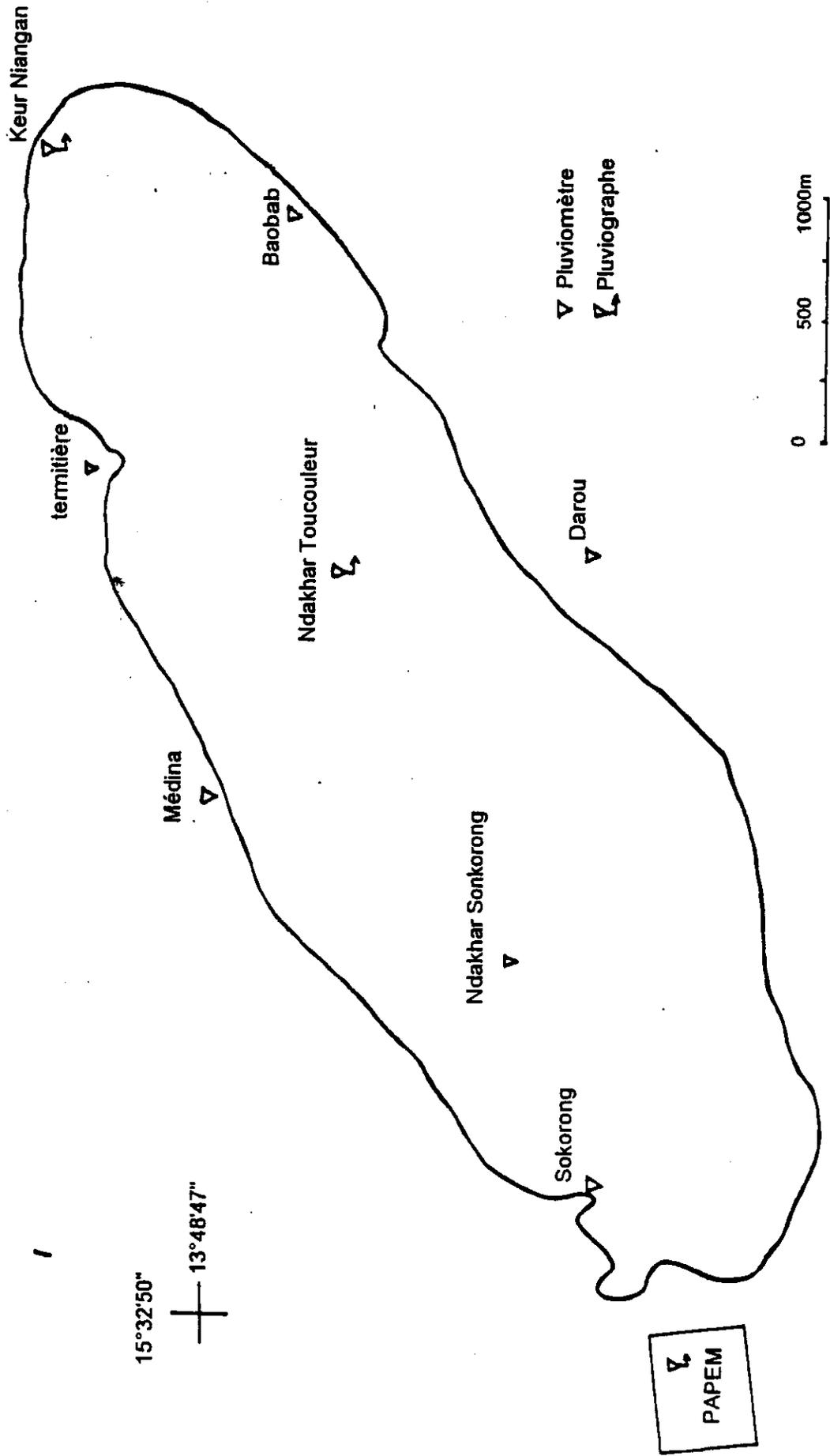


Figure 2



CARTE 3
 Situation des pluviomètres et pluviographes



Avec une moyenne pluviométrique de 644 mm, la distribution de la pluviométrie de 1970 à 1993 est irrégulière (cf fig 2). A Nioro du Rip, pour la même période, la moyenne pluviométrique est égale à 677 mm alors qu'elle est de 760 mm pour la période allant de 1950 à 1981. En fait, la région connaît depuis 1970 une sécheresse importante tant par son intensité que par sa durée.

Malgré cette baisse de la pluviométrie, on assiste à une forte érosion hydrique. En fait la considération exclusive de la hauteur des précipitations ne saurait expliquer les phénomènes d'érosion hydrique. ROOSE a montré en 1973 qu'une parcelle caractérisée par son sol, sa couverture végétale et les façons culturales qui lui sont appliquées a un seuil pluviométrique au dessous duquel ne se manifeste aucun phénomène d'érosion. Ces seuils pluviométriques recouvrant des seuils d'intensités.

L'intensité des pluies est le principal facteur de leur érosivité. D'une part, si l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'absorption du sol l'eau ne peut s'infiltrer, elle ruisselle; d'autre part, l'énergie cinétique des gouttes de pluies détruit la structure du sol et réduit ainsi sa capacité d'absorption. A Sonkorong, les pluies sont agressives; les intensités au pas de 5 mn peuvent atteindre 146 mm/h. En 1993 les indices d'agressivité climatique de WISCHMEIER observés sont :

Papem : 555 avec 36 averses prises en compte (durée > 15 mn)

N'dakhar Sonkorong 544 avec 39 averses prises en compte (durée > 15 mn)

N'dakhar Toucouleur 311 avec 32 averses prises en compte (durée > 15 mn)

Keur Niangan 197 avec 26 averses prises en compte (durée > 15 mn)

Ces valeurs attestent de l'agressivité des pluies.

Plusieurs études ont montré que la diminution des totaux annuels de pluies au Sahel ne se traduit pas par une diminution des plus fortes pluies. L'occurrence d'événements exceptionnels ponctuels n'a pas été modifiée par la sécheresse (ALBERGEL 1987, PEREZ 1994).

1.2.2 GEOMORPHOLOGIE ET SOLS

Toute la région est recouverte d'une formation sédimentaire du continental terminal (mise en place à la fin du tertiaire). Il y existe plusieurs faciès de grès essentiellement sableux à bancs d'argile kaolinite.

Le modelé est constitué de trois grandes unités :

- En hauteur entre 35 m et 45 m d'altitude se trouve le plateau à faible pente (1 %). Il est constitué de matériaux indurés formant ainsi une cuirasse latéritique montrant l'existence antérieure d'une alternance de phases sèches et humides. Il est recouvert de lithosols, peu profonds et pauvres en matière organique.

- Les versants sont constitués de glacis sableux. Leur pente importante peut dépasser 5 %. Ils se terminent par un glacis de raccordement ayant une pente comprise entre 1 et 2 %; localement, l'on peut noter l'existence de corniche de 5 à 10 %.

- Une terrasse colluvio-alluviale de pente 1 % raccorde les versants au bas-fond.

Les sols sont généralement des sols ferrugineux tropicaux ou des sols peu évolués d'érosion (BERTRAND 1970, ANGE 1986, BROWERS 1987). La texture de la terre est sableuse en surface et argilo-sableuse en profondeur la transition se faisant d'une manière progressive.

L'importance des pentes et la nature des sols favorisent l'érosion. Les sols sont pauvres en matière organique et leur dominante argileuse étant de la kaolinite, leur teneur en complexe argilo-humique et donc en cations échangeables sont faibles. Ils sont très peu structurés, ce qui entraîne leur faible résistance à l'énergie cinétique des gouttes de pluies. La pluie, très vite engendre la formation de croûtes superficielles, ce qui limite l'infiltrabilité et favorise le ruissellement.

1.2.3 LE COUVERT VEGETAL

La végétation avec son système racinaire, permet de fixer le sol en place et d'augmenter sa macroporosité. Elle permet de réduire l'impact des gouttes de pluies sur le sol.

A Sonkorong, tout comme dans toute la communauté rurale de Kaymor, la végétation se réduit à une savane arbustive à arborée. Elle s'est beaucoup dégradée ces dernières années. Les forêts, qui couvraient 69 % des surfaces en 1970, n'en occupaient plus que 39 % en 1983. Alors que les superficies de cultures passaient de 23 à 58 % pour la même période. Les jachères ont pratiquement disparu du fait de l'augmentation de la population.

Les plateaux originellement occupés par des savanes arborées, ont longtemps été réservés aux zones de parcours, ils ont connus un défrichement massif pour la production du charbon de bois dans les années 1970. Actuellement ils sont cultivés. Les versants sont très cultivés et connaissent un décapage notable.

La végétation naturelle très dégradée à cause des défrichements incontrôlés ne peut s'opposer efficacement au ruissellement. Les grandes superficies cultivées (les versants et même le plateau) font que le couvert végétal est quasi nul en début d'hivernage et les sols sont sans protection contre l'érosion hydrique. (cf carte 4).

1.3 LE RUISSELLEMENT ET L'EROSION HYDRIQUE

La région est drainée par le Bao Bolon, un affluent de la Gambie. Les écoulements sur le bassin sont intermittants, ils résultent des averses uniquement. Le réseau hydrographique est assez récent, les principaux axes de drainage sont des ravines ou des pistes endommagées, il comprend de nombreux endoréismes (cf carte 5). En 1993, la lame ruisselée sur le bassin s'élevait à 24.1 mm soit un coefficient de ruissellement de 3.3 % avec une pluviométrie moyenne de 728 mm.

L'aptitude au ruissellement décroît du haut vers le bas de la toposéquence, elle est fonction de l'état d'induration de surface (cf fig 3). Cette hiérarchisation peut être nuancée par l'activité anthropique, surtout par les façons culturales.

Le ruissellement généralement concentré implique une forte érosion en ravine.

Sur le bassin versant, les phénomènes d'érosion en ravine sont spectaculaires. L'érosion détruit surfaces cultivables et pistes. L'exutoire du bassin de Sonkorong a entraîné 3 fois le changement du tracé de la principale piste du village de Sonkorong. En 1988, la progression de la ravine a atteint le village entraînant ainsi la reconstruction de la mosquée en 1989.

1.4 POPULATION

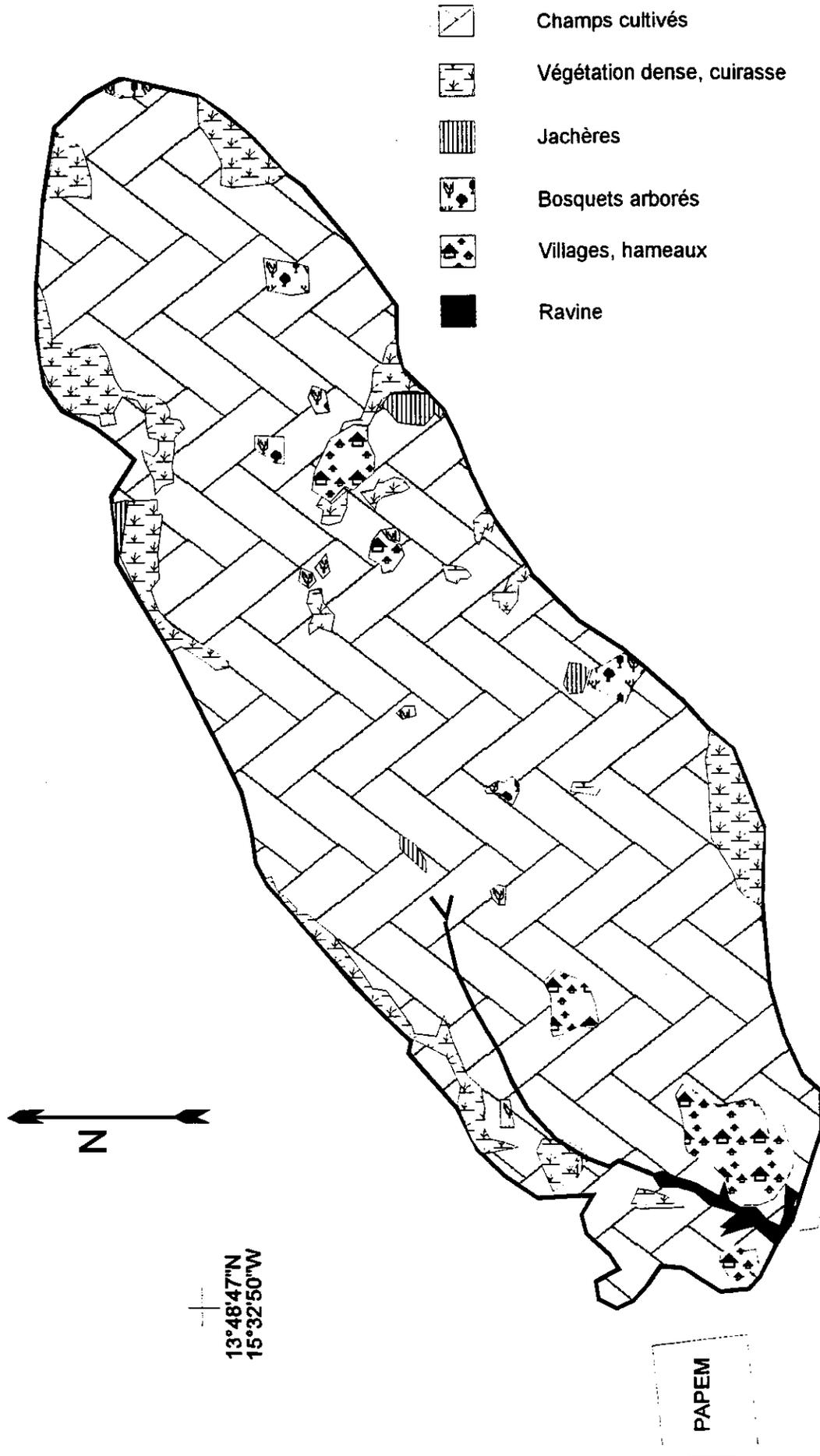
L'occupation humaine est très ancienne. Au XI^e ou XII^e siècle déjà, les Mandingues avaient occupés la région. Le bassin de Sonkorong englobe les villages de : Sonkorong, N'dakhar Sonkorong, N'dakhar Wolof, N'dakhar Toucouleur et Sotula. Le village de Sonkorong directement concerné par l'aménagement a été créé au milieu du XVIII^e siècle. Il comptait lors du recensement de 1983 une population de 1500 habitants. Sa population est à dominante Wolof, elle est composée aussi par les Toucouleurs, les Peuls et les Sérères.

Les principales infrastructures : écoles, dispensaire, coopérative se trouvent au chef lieu de la communauté rurale Kaymor; la seule se trouvant à Sonkorong est une école dont le fonctionnement est irrégulier.

CARTE 4

Cartes d'occupation des sols sur le bassin versant de
Sonkorong

(Source Pépin et al 1993)



CARTE 5
 Bassin de Sonkorong, Pistes et Ravines

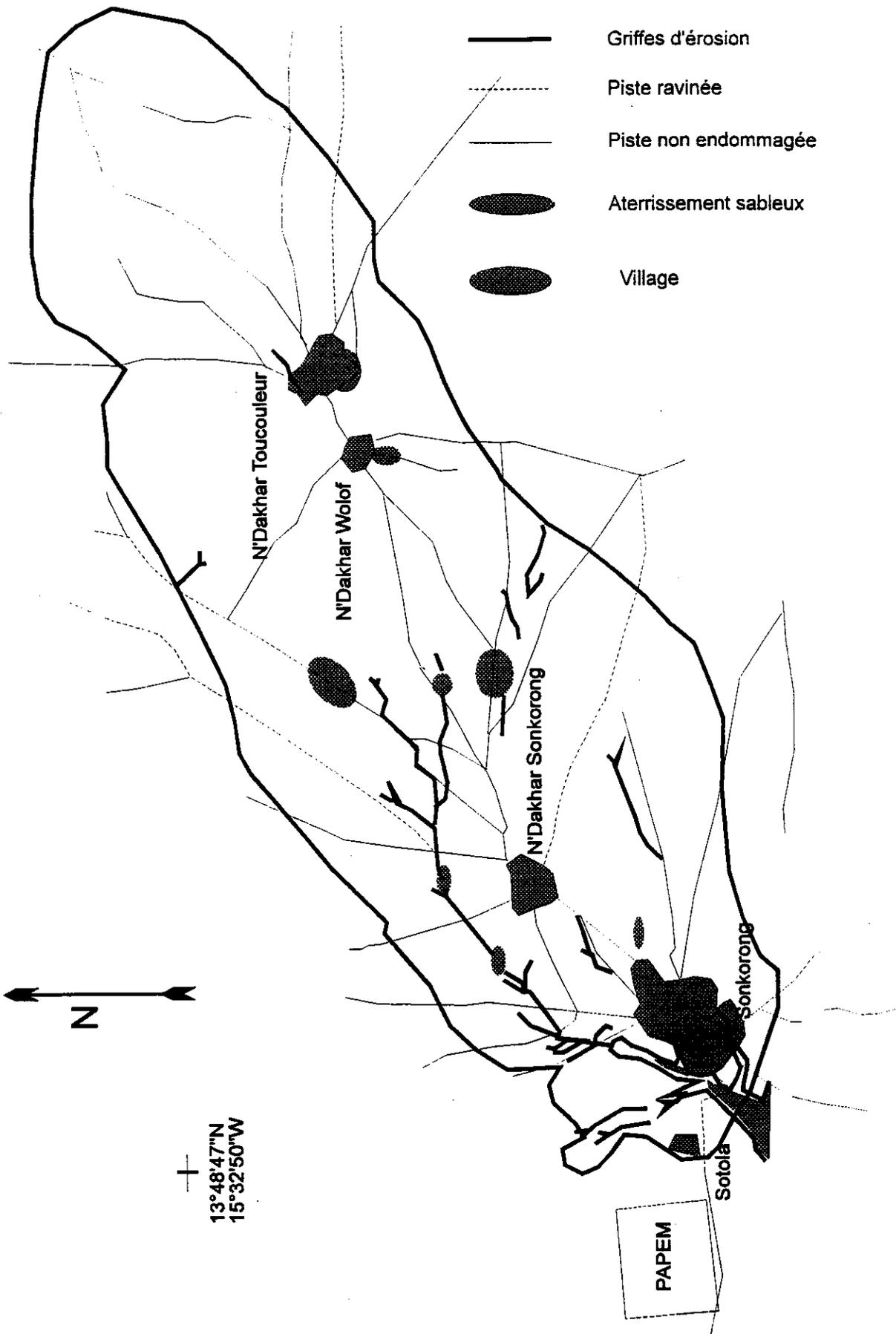
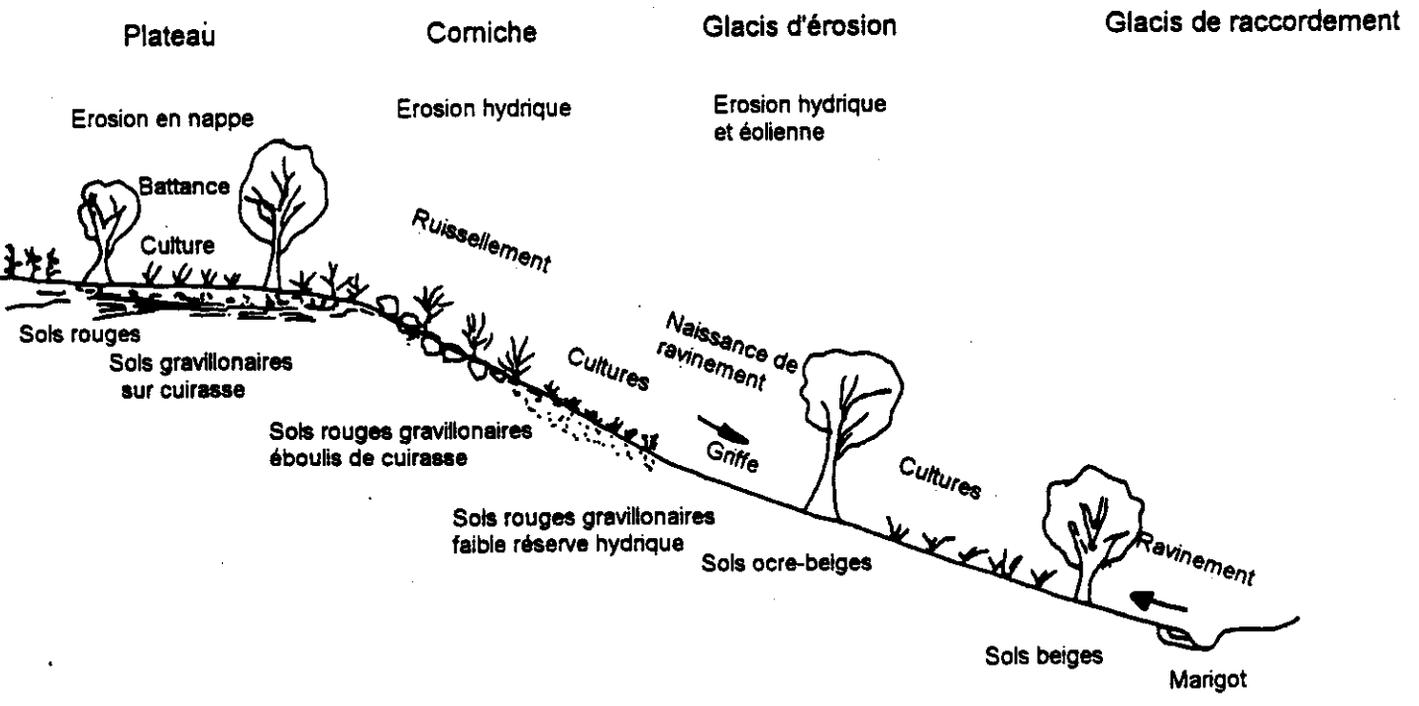


Figure 3
 Repartition des risques d'érosion à Thyssé
 Kaymor (Diatta, 1988)



1.4.1 ACTIVITE

La principale activité reste l'agriculture. Les surfaces cultivées sont importantes. Les déficits hydriques et la baisse de la fertilité des sols, dus essentiellement à une agriculture extensive, ont favorisé la culture des plantes à cycle court telles que le petit mil et le maïs . La culture dominante reste l'arachide, première source de revenus des populations, la culture du coton est aussi pratiquée.

L'élevage est pratiqué dans presque toutes les exploitations agricoles. La mise en culture des zones de parcours que sont les plateaux entraîne une surexploitation de ces zones et un déficit fourrager. L'artisanat et le commerce sont aussi pratiqués, mais à une échelle moindre que l'agriculture et l'élevage.

1.4.2 MOTIVATION DES POPULATIONS POUR L'AMENAGEMENT

L'expérience montre de plus en plus qu'il est nécessaire, d'impliquer dans les projets d'aménagement de terroirs, les populations concernées.

De nombreux projets se sont soldés par des échecs tout simplement parce que les populations bénéficiaires n'ont pas été impliquées dans le projet. En 1992 des enquêtes ont été réalisées par l'équipe de sociologie de l'ISRA afin d'apprécier la motivation des populations pour l'aménagement de la piste : de cette enquête il ressortait que les populations manifestaient un grand intérêt pour l'aménagement. Nous avons cependant effectué une petite enquête d'opinion pour voir si les populations portent toujours le même intérêt à l'aménagement (cf annexe G). Pour cela 48 individus d'âge variant entre 17 et 75 ans ont été interrogés. Les principaux résultats de cette enquêtes sont que :

A Sonkorong, l'importance de la piste et le développement de la ravine à proximité de la nouvelle mosquée font que les populations sont motivées pour l'aménagement.

Les populations en parlent souvent. Cependant aucune action n'est envisagée par les villageois. Ceci s'explique par l'ampleur de l'érosion ces dernières années nécessitant l'intervention d'un technicien. Notons qu'antérieurement des travaux de réhabilitation de la piste et de stabilisation de la ravine avaient été entrepris par les villageois. En 1984 VALET avait aménagé un radier qui a été emporté par une crue.

70 % de ceux qui ont été interrogés sont prêts, avec une assistance technique à participer sans rémunération aux travaux de réhabilitation de la piste et de stabilisation de la ravine. 30 % pensent que sans rémunération la motivation de la population pour l'aménagement sera faible. Très peu sont prêts à contribuer financièrement si cela s'avérait nécessaire.

Cependant nous comptons sur la grande influence du chef de village pour avoir une participation massive de toute la population du village. Ce qui est nécessaire si l'on veut avoir un entretien des ouvrages après leur exécution.

2 AMENAGEMENT DE LA RAVINE DE SONKORONG

La progression de la ravine de Sonkorong est devenue menaçante pour le village de Sonkorong depuis l'hivernage 1988. Au fil des années, cette ravine prend des proportions de plus en plus impressionnantes : les villageois ont été obligés de construire une nouvelle mosquée et de changer trois fois le tracé de la piste d'accès du village.

Il s'agira dans cette partie de la conception des ouvrages de franchissement pour la piste et de stabilisation de la ravine.

Après une présentation de certaines caractéristiques du site : pédologie, géotechnie et topographie indispensables pour la compréhension du choix des différents ouvrages, nous passerons en revue les différentes étapes de la conception de ces ouvrages.

2.1 CARACTERISTIQUES DU SITE

L'exutoire du bassin versant de Sonkorong est une ravine active de plus de 3 m de profondeur en certains endroits, de pente 0.00

9 (cf carte 6, fig 4). Cette ravine coupe dans sa partie basse l'actuelle piste principale du village de Sonkorong (cf carte 7).

La ravine subit une importante dégradation. Cette dégradation est due à un plus fort ruissellement occasioné par le déboisement des zones amont et la présence de sols très peu structurés.

Les sols des berges sont des sols de glacis-versant ferrugineux tropicaux appauvris. Certains endroits correspondent à des dépôts alluviaux colluviaux. L'on note en profondeur des taches de rouille.

Les berges sont constituées de matériaux pulvérulents en surface avec une texture sableuse à sablo-limoneuse. En profondeur les sols sont plus cohérents avec une texture sablo-argileuse à argilo-sableuse.

Au droit de la piste, le sol est essentiellement sableux à l'exception de l'horizon 1.50 m - 2.50 m (Monimeau 1992) argilo-sableux, ceci fait que la fondation de notre ouvrage sera instable.

Un nivellement complet de toute la ravine nous a permis de dresser une carte topographique et de noter une forte érosion en rigoles vers l'amont (cf carte 8). Ceci laisse à supposer à brève échéance, entre 2 et 5 ans une disparition totale d'une partie non négligeable du terroir. Avec la formation d'une ravine en amont, au vue de la consistance des sols peu existante, l'érosion prendra une plus grande ampleur.

2.2 OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT POUR LA PISTE

Lors des crues la piste devient impraticable : un ouvrage de franchissement est nécessaire à ce niveau pour réduire les interruptions fréquentes du trafic pendant les crues et empêcher un nouveau déplacement de la piste.

2.2.1 CRUE DE PROJET

C'est la crue pour laquelle nous calibrons notre ouvrage. Elle dépend du degré de protection que nous voulons assurer à l'ouvrage.

A FREQUENCE

Son choix est déterminé par l'importance de la route, et du risque que l'on accepte pour l'aménagement.

Un surdimensionnement entraînerait un coût d'investissement important, mais permettrait une circulation permanente.

Un sous dimensionnement occasionnerait des dommages, des réparations qui, à la longue pourront causer la ruine de l'ouvrage.

La piste à aménager relie le village de Sonkorong et tous les villages en amont de Sonkorong au chef lieu de la communauté rurale où se situent les principales infrastructures : écoles, dispensaire et coopérative. Elle est d'une grande importance. Les fréquentes ruptures du trafic dues à l'impraticabilité de la piste ne peuvent être tolérées. Au Sénégal, il n'y a pas de législation concernant la protection de tels ouvrages, nous estimons qu'une protection décennale est satisfaisante. Une protection de fréquence supérieure pouvant aussi être envisagée, nous faisons un dimensionnement pour les crues décennale et vicennale laissant la décision finale au financier.

B DETERMINATION

a Crue décennale

La crue décennale a été déterminée de la manière suivante (PEPIN et al, 1993) :

- D'abord la corrélation entre la pluviométrie moyenne journalière sur le bassin et celle au poste de référence du PAPEM a permis la détermination de la pluie moyenne décennale sur le bassin $P_{10} = 97$ mm;

- Ensuite un ajustement à une courbe de la forme $L_R = \sqrt{P^2 + a^2} - a$ (Albergel 1987) permet d'avoir une estimation de la lame ruisselée décennale : $L_r \text{ dec} = 12$ mm soit un coefficient de ruissellement décennale $K_r 10 = 13$ %;

- Enfin une corrélation entre le débit spécifique de pointe Q_s (l/s/km²), la lame ruisselée et l'intensité maximale en 5 mn qui s'exprime par la relation suivante :

$Q_s = 1.58 \times I_5 + 90.6 \times L_r + 129$ avec un coefficient de corrélation de 0.835 pour 10 valeurs;
 I_5 de la pluie décennale = 160 mm/h (Dacosta 1992);

permet l'estimation du débit spécifique décennal : $Q_s 10 = 1486$ l/s/km² soit $Q_{\max} 10 = 12$ m³/s

b Crue vicennale

Nous la déterminons en utilisant la méthode du gradex qui suppose que :

- la rétention moyenne du bassin atteint sa limite pratique lors des crues égales ou supérieures à la crue décennale.

- la fréquence des pluies est à décroissance exponentielle $\exp(-x/a)$, ce qui se traduit sur le graphique de Gumbel par une droite de pente a .

Il découle de ces deux hypothèses que : les fonctions de répartition des débits (exprimés en mm) et de la pluviométrie (mm) ont une même pente.

Ce que nous traduisons plus simplement comme suit : la différence entre la pluie décennale et toute pluie de fréquence supérieure est ruisselée.

La pluie vicennale moyenne sur le bassin s'obtient en multipliant la pluie de même fréquence au PAPEM par le coefficient d'abattement 0.82, elle est égale à : 109 mm.

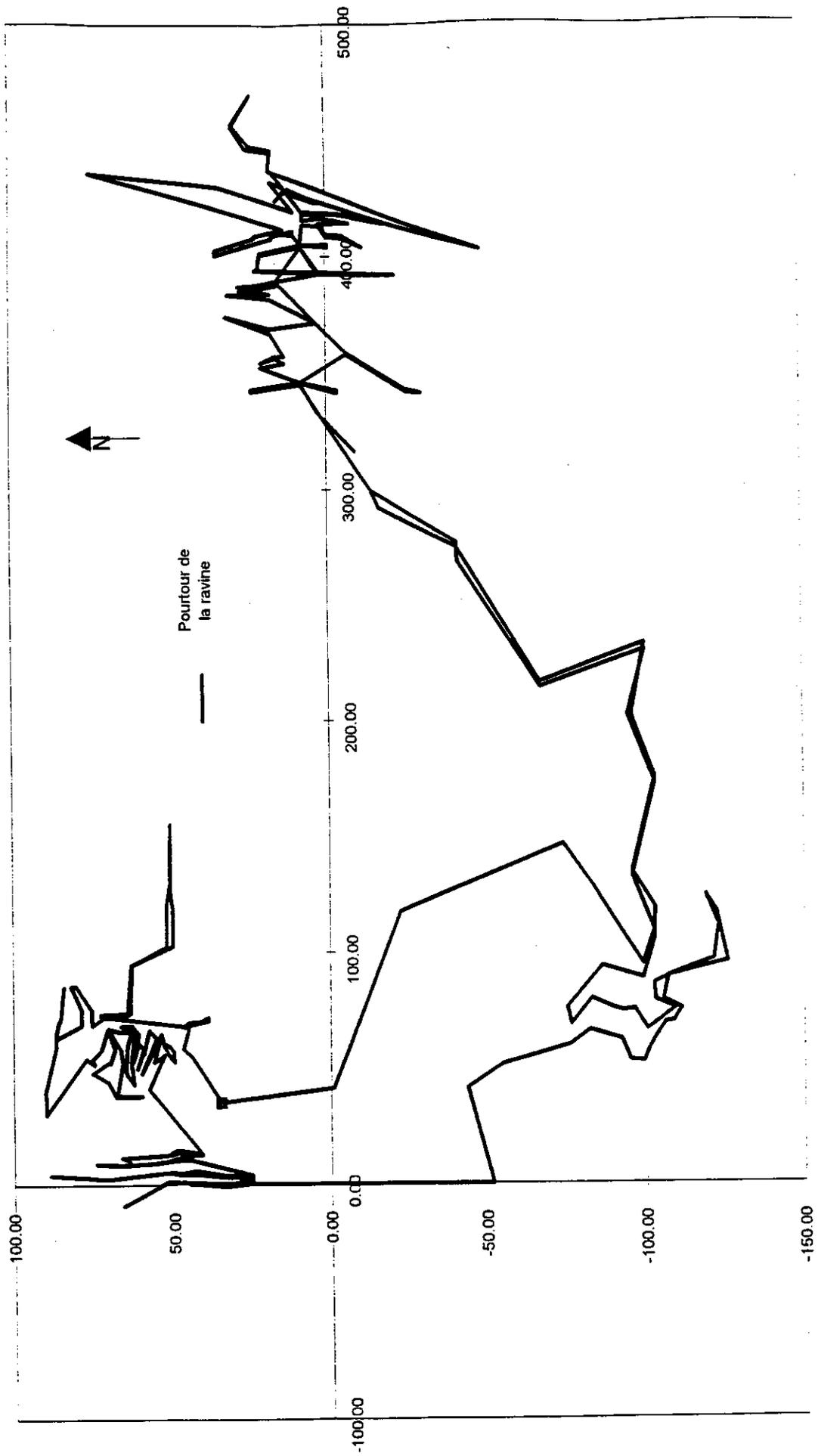
La lame ruisselée vicennale s'obtient en additionnant la lame ruisselée décennale et la différence entre les pluviométries journalières décennale et vicennale ; elle est égale à 24 mm.

En extrapolant la relation qui a permis d'obtenir le débit spécifique de pointe de fréquence décennale nous déterminons celui de fréquence vicennale $Q_s 20$.

$Q_s 20$ est égale à 2618 l/s/km², avec une intensité maximale en 5 mn correspondante de 199 mm/h. La crue vicennale ainsi obtenue s'élève à 20 m³/s.

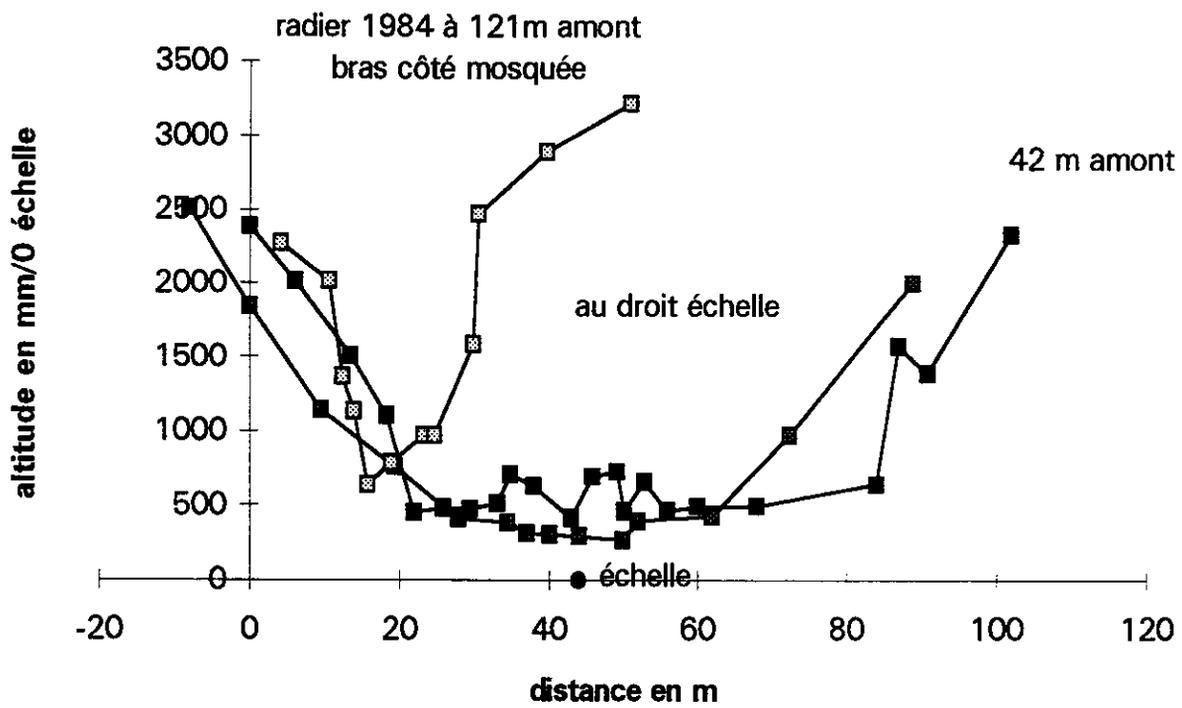
CARTE 6
Limites de la ravine de
Sonkorong

Nivellement effectué à SONKORONG
du 19 au 21/4/1994

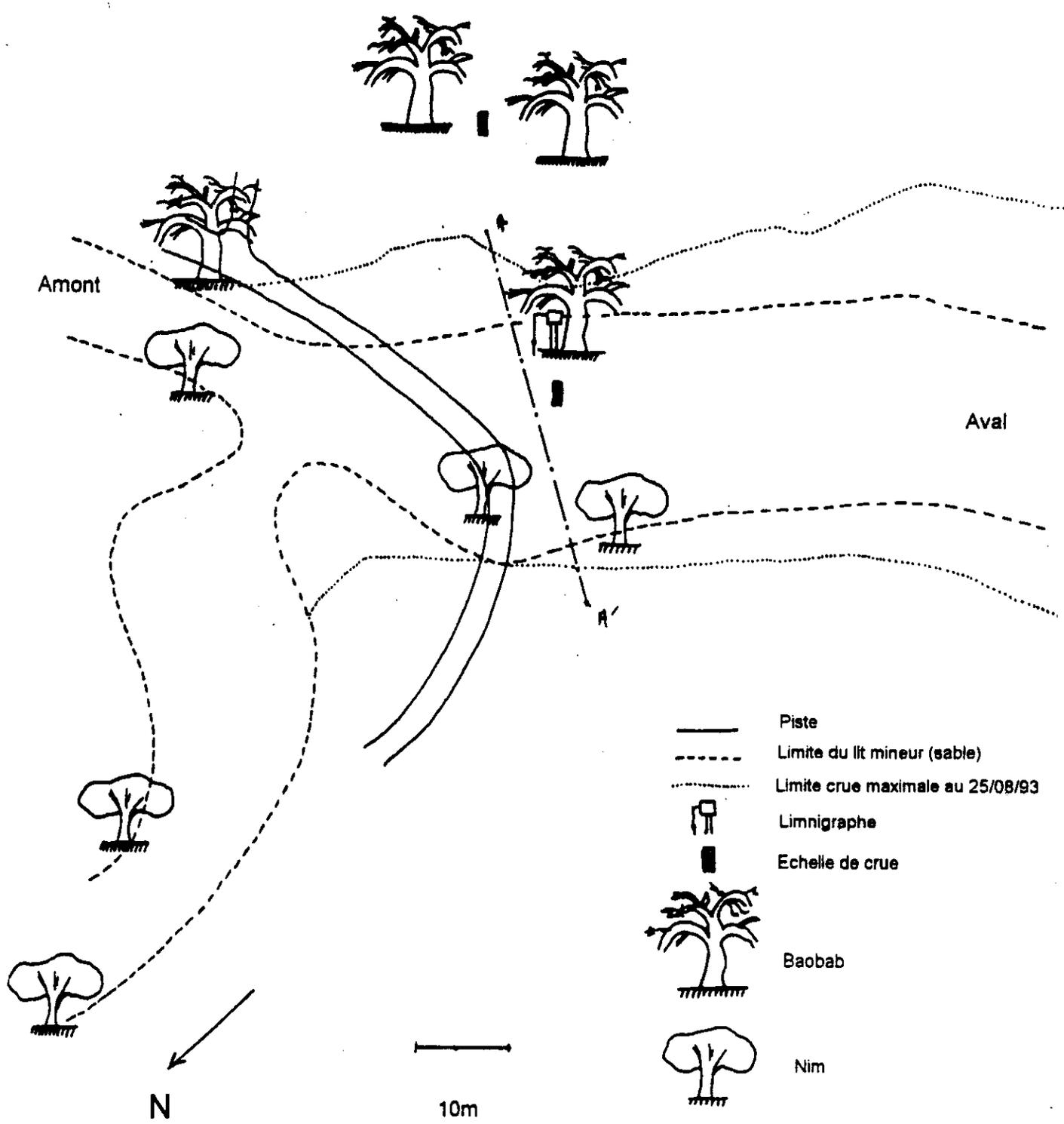


Distance en Mètre

Figure 4 : Profils en travers

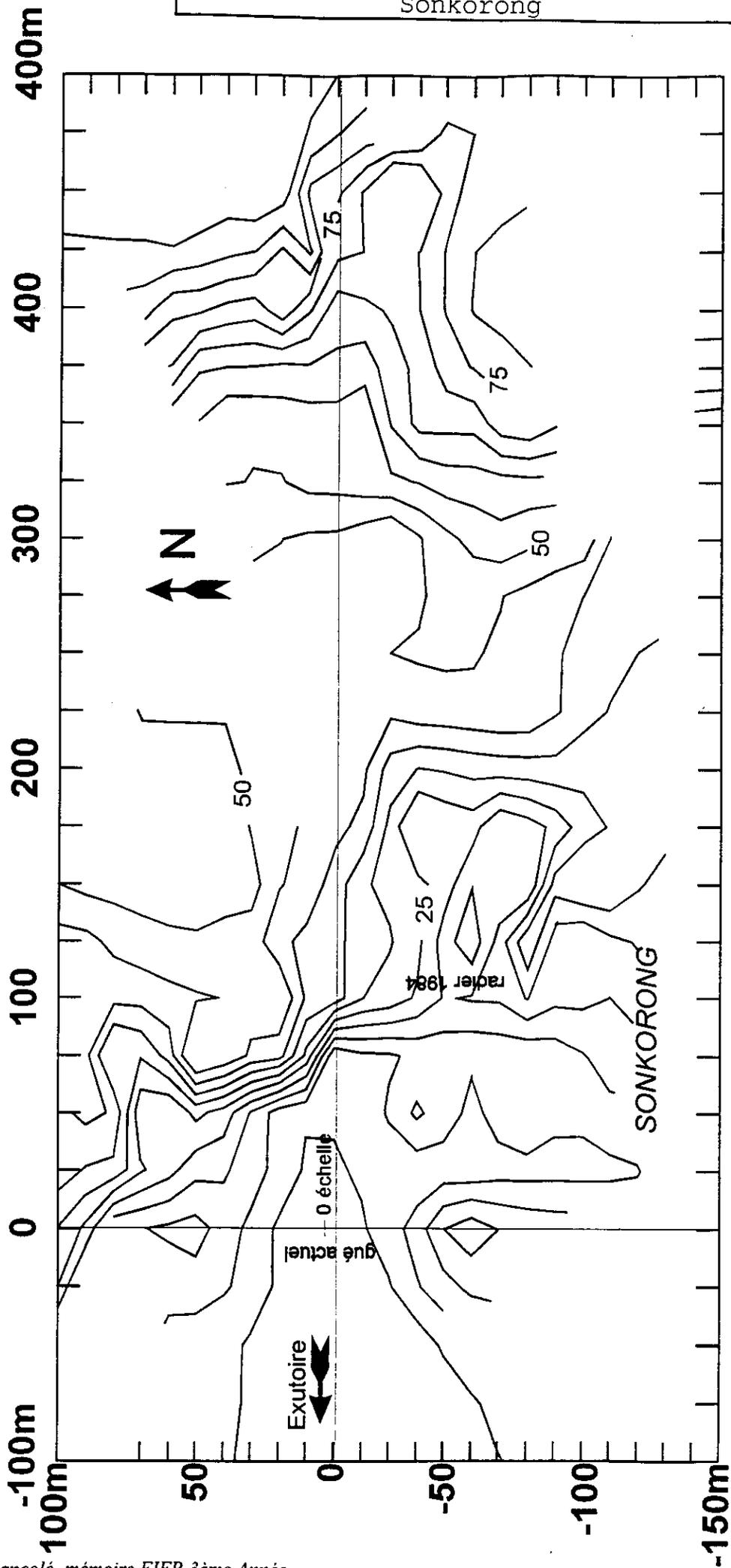


CARTE 7
Plan de situation de la piste



-  Piste
-  Limite du lit mineur (sable)
-  Limite crue maximale au 25/08/93
-  Limnigraphe
-  Echelle de crue
-  Baobab
-  Nim

CARTE 8
Topographie de la ravine de
Sonkorong



Les altitudes sont en dm par rapport au zéro de l'échelle

2.2.2 CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE

Pour le choix du type d'ouvrage, nous tenons compte des meilleures conditions de fonctionnement et du coût des investissements.

Avec les caractéristiques des écoulements, nous avons opté pour un ouvrage submersible. L'inconvénient d'un tel ouvrage est que : la hauteur d'eau et la vitesse de l'eau sur la chaussée peuvent entraîner un arrêt momentané du trafic. Cela ne sera pas très gênant car le cours d'eau est à écoulement intermittent, même pour les fortes crues les écoulements sont brefs (le temps de base de la crue décennale est égal à 250 mn).

Nous choisissons de mettre comme ouvrage de franchissement un radier à passage surélevé par rapport au fond du lit de la rivière qui fera également office de seuil afin de lutter contre l'érosion régressive.

2.2.3 CHOIX DE LA TECHNOLOGIE DE REALISATION DE L'OUVRAGE

Pour la technologie à utiliser, nous avons considéré : la pérennité de l'ouvrage, sa mise en oeuvre, son coût et les caractéristiques géotechniques des fondations. Nous choisissons de mettre en place des gabions, la bande roulante elle, sera en latérite.

Le gabion est une cage parallépipédique en grillage galvanisé, à mailles le plus souvent hexagonales, rempli de matériau pierreux.

Le gabion, par sa déformabilité et sa souplesse est très adapté aux fondations instables et aux sites exposés aux affouillements comme le nôtre.

La simplicité de sa technologie et de sa mise en oeuvre nous permettra d'utiliser de la main d'oeuvre non qualifiée. De plus les matériaux de remplissage sont disponibles à proximité.

2.2.4 DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

Dans cette partie, nous déterminons les dimensions de l'ouvrage et les caractéristiques des protections pour les crues décennale et vicennale.

Il s'agit de déterminer la longueur, la largeur, la hauteur du radier ainsi que les caractéristiques de sa fondation et de toutes ses protections.

A CRUE DECENNALE

La largeur doit permettre la circulation des véhicules : elle est prise égale à celle de la route : 4 m. La longueur de déversement dépend de la lame d'eau au dessus du radier.

Nous nous fixons une lame d'eau (H) qui permettra la circulation des véhicules même à la pointe de la crue : $H = 30$ cm.

Le radier étant surélevé, l'écoulement est identique à celui d'un déversoir en crête épaisse. Suivant les hauteurs d'eau amont (H) et aval (Hv) au dessus du radier l'on distingue 2 sortes d'écoulement :

- si $H_v < 0.8 \times H$, l'écoulement est dénoyé;

- si $H_v \geq 0.8 \times H$, l'écoulement est noyé.

Selon le type d'écoulement, une relation relie le débit, la longueur, la largeur et la hauteur d'eau amont au dessus du radier.

Pour le dimensionnement, l'on suppose que le régime d'écoulement est dénoyé, si les résultats obtenus ne vérifient pas les conditions de ce régime d'écoulement, on reprend les calculs en régime noyé.

En régime dénoyé nous utilisons la formule de Bazin qui s'écrit :

$$Q = 1.9 * \left[0.7 + 0.185 \frac{H}{B} \right] * LH^{\frac{3}{2}}$$

Avec notre lame d'eau de 30 cm, nous obtenons une longueur déversante de 54 m, ce qui correspond à une vitesse d'écoulement de 0.7 m/s.

Le profil en travers de la section nous permet de déterminer la hauteur de notre crête déversante par rapport au terrain naturel : elle est égale à 65 cm.

Pour la vérification de la condition du régime dénoyé, nous déterminons la hauteur d'eau aval au dessus du radier Hv. Elle dépend des caractéristiques du lit du cours d'eau et est égale à la hauteur d'eau normale Y_n sans le radier diminuée de la hauteur du radier.

Les mesures hydrométriques de Sonkorong nous permettent de tracer le graphique reliant la section mouillée et le débit d'écoulement (cf fig 5). L'extrapolation de ce graphique nous donne une section mouillée à l'aval du radier de 13.7 m². Le profil en travers du lit (fig 6) nous montre qu'avec une telle section, la hauteur d'eau ne peut être supérieure à celle du radier : l'écoulement est toujours dénoyé.

Les dimensions du radier pour la crue décennale sont les suivantes :

- Longueur déversante $L = 54$ m;
- Largeur $B = 4$ m;
- Hauteur du seuil déversant par rapport au terrain naturel $h = 65$ cm .

B CRUE VICENNALE

La largeur du radier est toujours égale à 4 m.

Nous estimons que pour la crue vicennale une lame d'eau limite de 0.4 m pour la circulation des véhicules légers peut être acceptée à la pointe de la crue. Les éventuels interruption du trafic pour ces véhicules ne peuvent excéder 2 heures.

Avec cette lame déversante, suivant le même procédé de dimensionnement nous obtenons :

- Longueur déversante : $L = 60$ m
- Largeur $l = 4$ m
- hauteur du seuil déversant par rapport au terrain naturel $h = 75$ cm.
- vitesse d'écoulement sur le radier $v = 0.83$ m/s.

C DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Elles concernent la stabilité, la canalisation de l'eau sur le seuil, la dissipation de l'énergie de chute et la protection des gabions contre le colmatage.

- Stabilité : elle est assurée par un parement amont de pente de talus 1/2.5. Une bêche amont permettra de se prémunir contre le renardage.

- Canalisation de l'eau : elle permet d'éviter que l'eau contourne le radier, et l'oblige à passer dans le bassin de dissipation. Pour cela notre ouvrage dispose de murs bajoyers amont et aval et d'un ancrage dans les berges.

- Dissipation de l'énergie de chute : elle a pour objectif d'empêcher l'érosion à l'aval. Pour une bonne dissipation de cette énergie, le parement aval du seuil est constitué de gradins. Etant donné que notre site est très érosif, et nos lames déversantes supérieures à 20 cm, l'ouvrage sera muni de bassin de dissipation.

Figure 5 : Débit en fonction de la surface mouillée

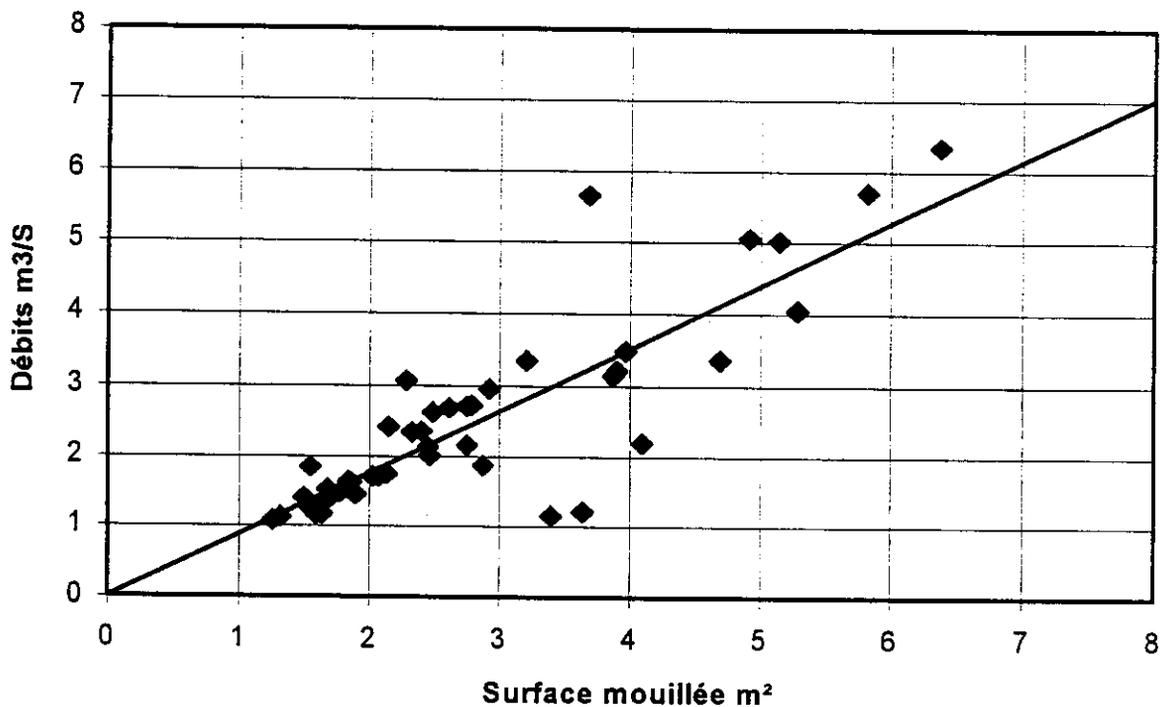
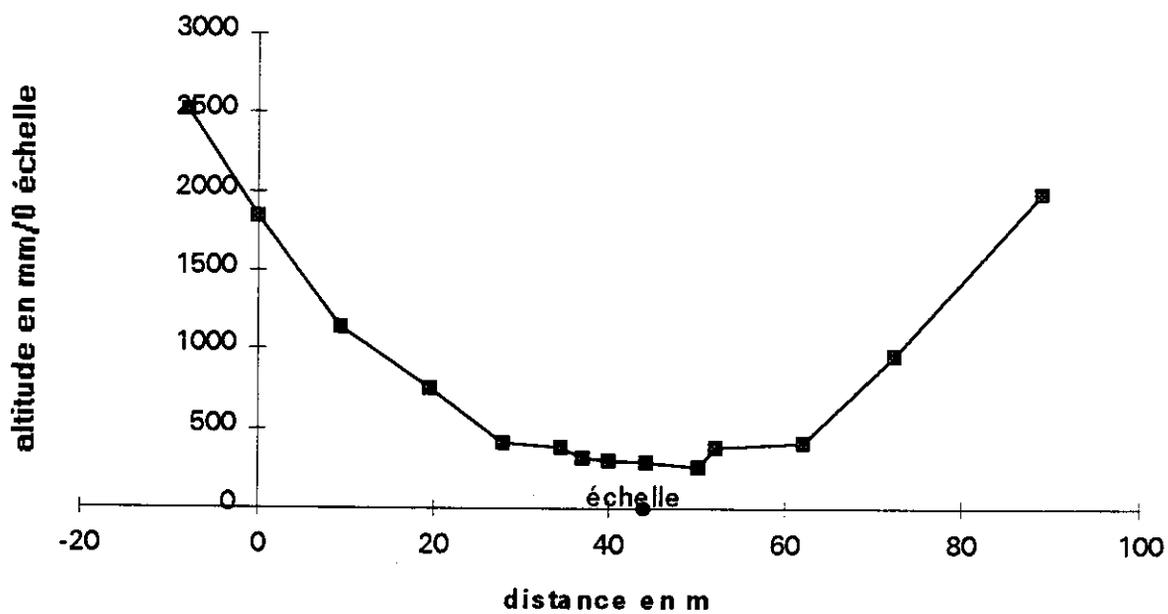


Figure 6 : Profil en travers au droit de l'échelle



- Un tapis filtrant intercalé entre le gabion et son support permet d'éviter son colmatage.

Les caractéristiques de l'ouvrage (cf annexe E) pour les crues décennale et vicennale sont les suivantes :

Crue décennale

Hauteur totale du seuil	1 m
Largeur du seuil	4 m
Longueur	54 m
Lame déversante	0.3 m
Ancrage dans les berges	
Longueur	10 m
Hauteur	0.5 m
Bajoyers amont	
Longueur	20 m
Hauteur	1 m
Bajoyers aval	
Longueur	2 m
Hauteur	2 m
Bassin de dissipation	
Profondeur d'enfoncement	0.2 m
Longueur	2 m

cf carte 9, Fig 7 et 8.

Crue vicennale

Hauteur totale du seuil	1.5 m
Largeur du seuil	4 m
Longueur	60 m
Lame déversante	0.4 m
Ancrage dans les berges	
Longueur	15 m
Hauteur	0.5 m
Bajoyers amont	
Longueur	20 m
hauteur	2.5 m
Bajoyers aval	
Longueur	2 m
Hauteur	2.5 m
Bassin de dissipation	
Profondeur d'enfoncement	0.2 m
Longueur	2 m

CARTE 9
Situation du
radier

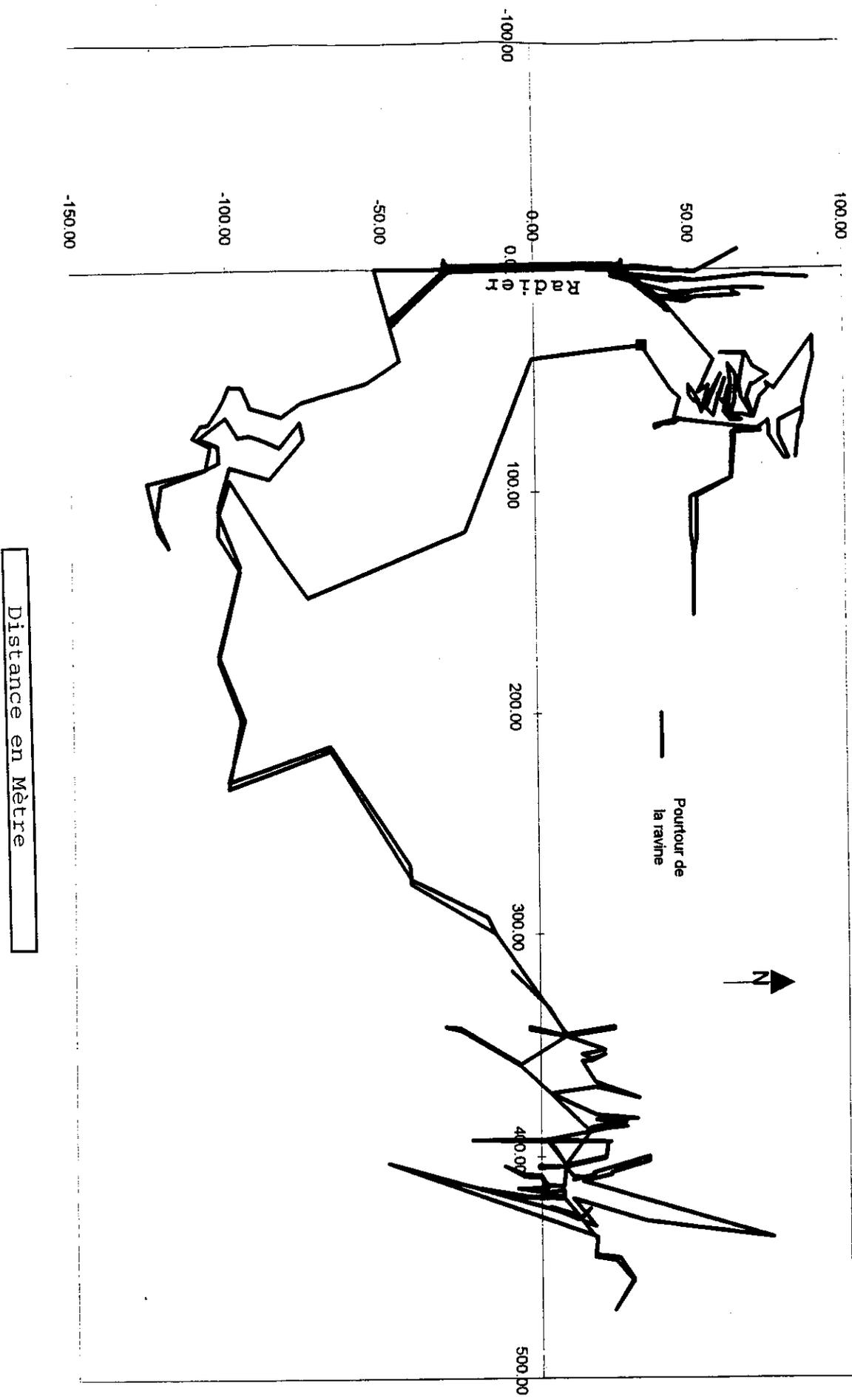
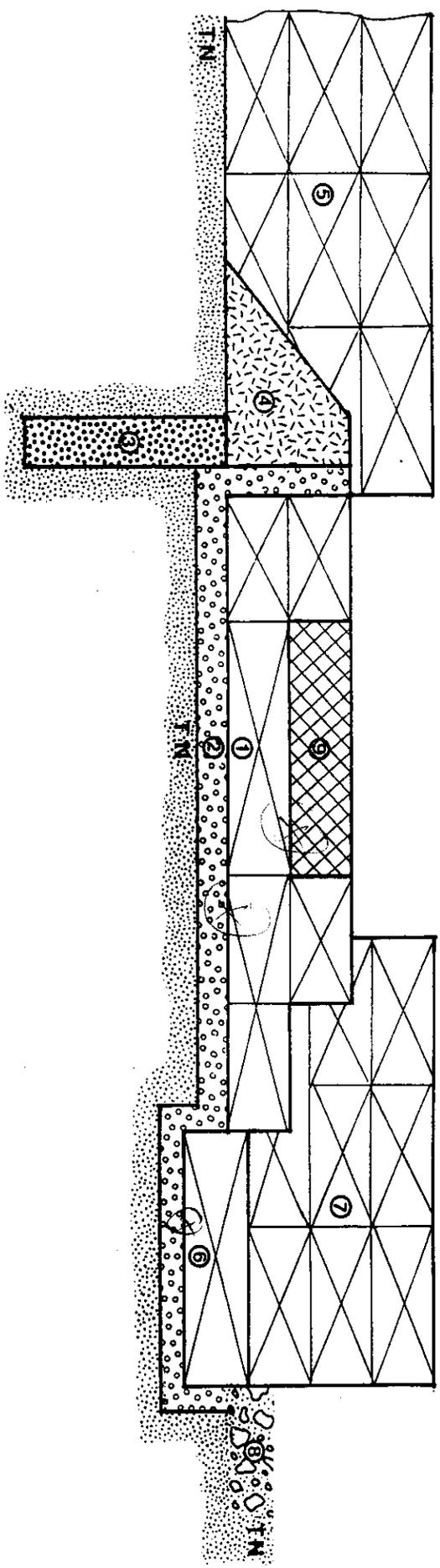


Figure 7
 Coupe transversale du
 radier

Crue décennale



- 1 - Radier
- 2 - Tapis Filtrant
- 3 - Tranchée d'étanchéité béton
- 4 - Parement amont: terre compactée
- 5 - Mur Bajoyer amont: gabion

- 6 - Bassin de dissipation: gabion
- 7 - Mur Bajoyer aval: gabion
- 8 - Enrochement
- 9 - Bande roulante: laterite

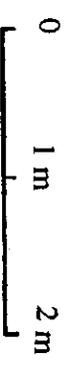
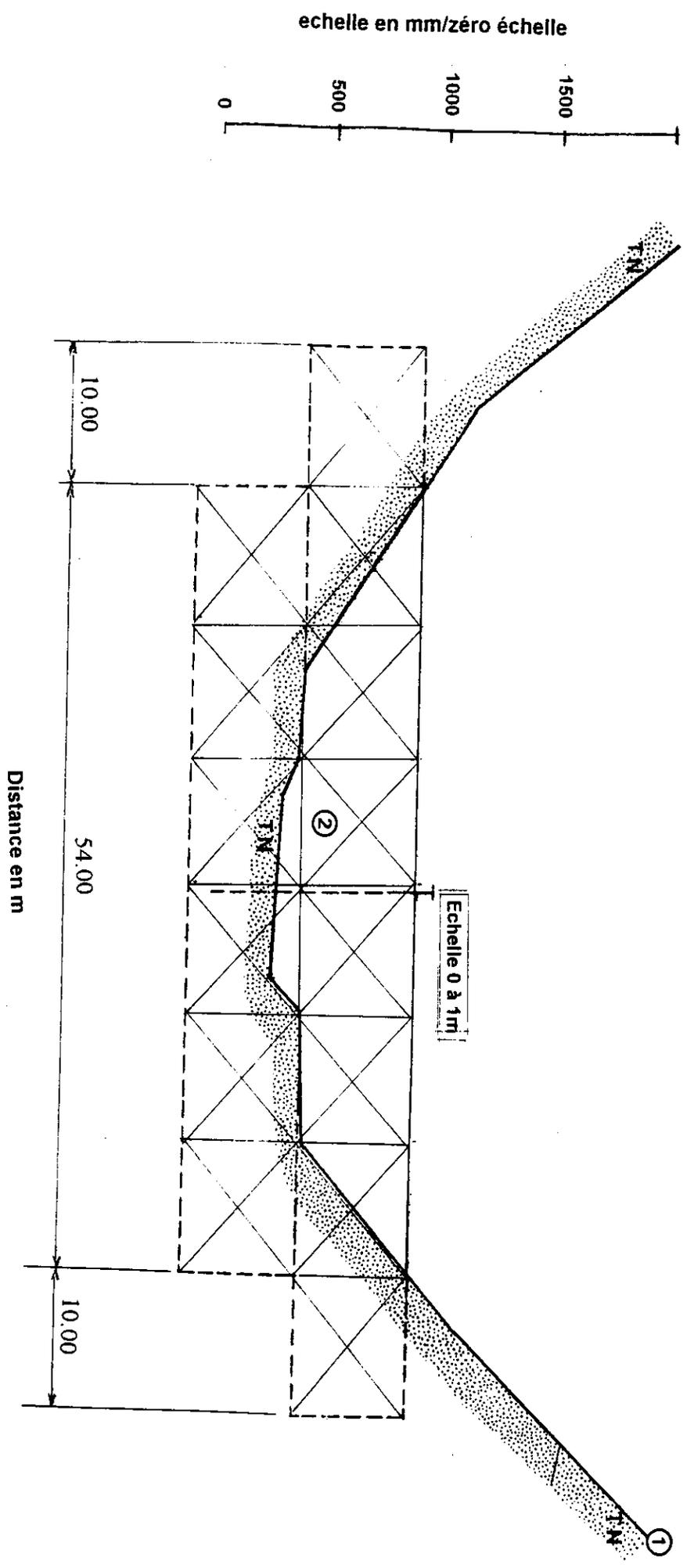


Figure 8
 Coupe longitudinale du
 radier

Crue décennale



- 1 - Profil du Terrain Naturel
- 2 - Radier en gabion

2.3 OUVRAGES DE STABILISATION DU LIT

Pour la stabilisation de la ravine, il est nécessaire de comprendre le mécanisme de dégradation.

2.3.1 LE MECANISME DE DEGRADATION

En amont de la ravine, se manifeste une importante érosion en rigoles. La nature pulvérulente des sols fait que même une piste piétonnière très empruntée peut se transformer en griffes d'érosion. Toutes les voies utilisées par les animaux, les charrettes sont potentiellement des rigoles d'érosion. La ravine de Sonkorong quant à elle subit une dégradation propre aux cours d'eaux : l'érosion régressive. Cette dégradation se fait d'aval en amont, à chaque événement pluvieux, la ravine s'agrandit en s'approfondissant vers l'amont. Cette progression crée de nombreuses ramifications qui menacent les parcelles de cultures avoisinantes ainsi que les habitations.

Les berges s'entaillent et leur pente forte favorise leur glissement. Le prélèvement de matériaux pour la construction des habitations : argile et sable, dans le lit et à proximité des berges du cours d'eau conduit à la tendance au creusement du lit.

2.3.2 LES AMENAGEMENTS

Ils ont pour objectifs :

- de supprimer le creusement de la ravine et d'enrayer celui des rigoles en amont;
- d'empêcher le glissement et l'érosion des berges.

Pour cela nous avons envisagé deux solutions :

- La première consiste en une succession de seuils;
- La deuxième consiste en un seuil constitué par l'ouvrage de franchissement de la piste, un retalutage et protection des berges et un aménagement des parcelles aux alentours de la ravine pour freiner l'érosion.

La première solution nécessite une réalisation plus difficile et un investissement beaucoup plus important que la deuxième. Pour ces raisons nous optons pour la deuxième.

Notre solution d'aménagement se présente comme suit:

- Fixation du fond de la ravine par le seuil que constitue le radier surélevé;
- retalutage des berges à la pente 1/2;
- protection de ces berges par de la végétation constituée d'une herbacée pérenne;
- enrochement et végétalisation des rigoles en amont de la ravine;
- mise en place d'une haie vive en bordure des parcelles à proximité de la ravine et de cordons de pierres, parallèlement au courbes de niveau.

2.4 ZONES D'EMPRUNTS, CARRIERE ET EAU POUR LE CHANTIER

Le matériau de remplissage du gabion sera constitué de blocs de cuirasse latéritique disponible à 3 km au sud de la station hydrométrique.

La latérite qui constitue la bande roulante peut être prélevée à proximité du pluviographe Keur Niangan, à environ 4 km du chantier.

La terre constituant le parement amont est disponible au Bao Bolon, à 15 km.

L'alimentation en eau du chantier peut être assurée par le puits du village à l'aide d'une pompe immergée ou par la location de camion citerne à Nioro du Rip.

2.5 REALISATION ET COUT D'INVESTISSEMENT

Les ouvrages seront entièrement réalisés par les paysans sous la conduite d'un chef de chantier. Sur la base des temps de travaux observés lors de la réalisation du radier de Thyssé (à 1 km du nôtre), nous estimons les temps de travaux à 2335 actif-jour pour la protection décennale et à 2750 pour la vicennale. Le chantier durera 4 mois à raison de 20 actif-jour pour la crue décennale et 25 actif-jour pour la vicennale (cf annexe F).

Le coût de réalisation du projet estimé en considérant un imprévu de 20 % sur les investissements financiers s'élève à 11.1 millions F.CFA dont 3.5 d'investissement humain pour la protection décennale et 16.1 millions de F.CFA dont 4.1 d'investissement humain pour la vicennale (cf annexe F).

3 PROPOSITION D'AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT

La ravine qui menace le village de Sonkorong draine le bassin de Sonkorong. La stabilité de ce village nécessite une intervention sur un ensemble global : toute l'étendue du bassin versant est concernée. Il s'agira d'une action de conservation des eaux et des sols sur l'ensemble de la toposéquence. Un tel aménagement a pour objectif :

- D'éviter la concentration des eaux de ruissellement et par là, la naissance d'autres ravines;
- De réduire les pertes en terre;
- D'accroître l'infiltrabilité des parcelles de cultures.

Ce qui devra conduire à une très grande réduction des phénomènes d'érosion hydrique, une amélioration des bilans hydriques, ceci ayant pour corollaire l'amélioration des conditions de vie des populations.

Pour atteindre ces objectifs, il faut :

- ralentir le ruissellement, ce qui correspond à réduire l'énergie de l'eau;
- favoriser la répartition uniforme de l'eau et la sédimentation des particules de terre;
- installer un système de travail du sol permettant d'augmenter la fertilité des sols, leur capacité d'absorption et leur résistance à l'impact des gouttes de pluies.

avant d'arriver à notre proposition d'aménagement, nous vous présentons un exemple d'aménagement intégré d'un bassin versant voisin de celui de Sonkorong sur lequel nous baserons notre proposition pour Sonkorong.

3.1 EXEMPLE D'AMENAGEMENT INTEGRE DE BASSIN VERSANT : BASSIN VERSANT DE KEUR DIANKO

Le bassin de Keur Dianko a les caractéristiques morphométriques suivantes :

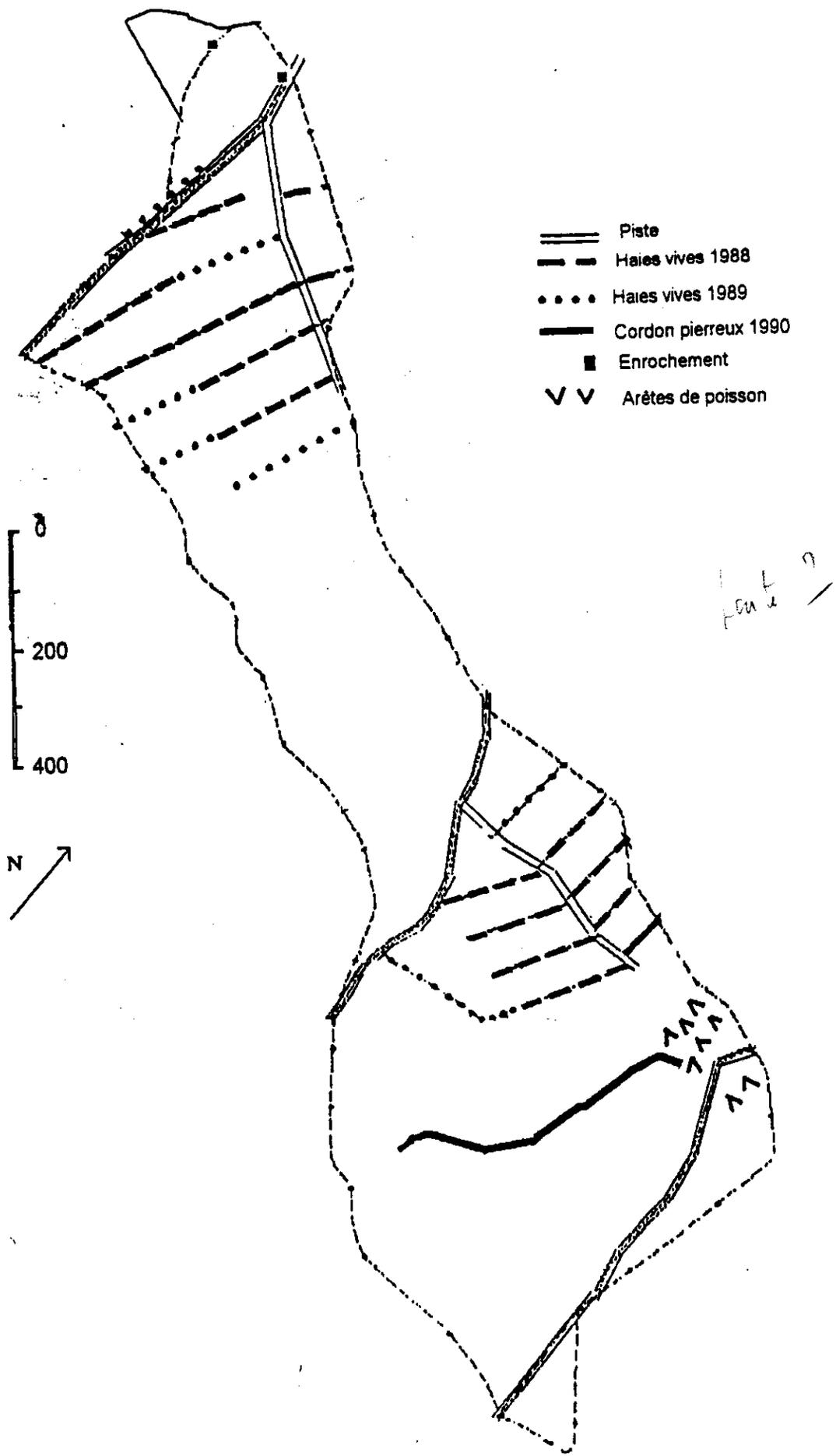
- Superficie : 0.58 km²
- Périmètre : 3.57 km
- Indice de compacité : 1.43
- longueur du rectangle équivalent : 1.44 km
- largeur du rectangle équivalent : 0.117 km
- Indice de pente globale I_g : 12.4 m/km
- indice de Roche : 0.0117

Tout comme celui de Sonkorong, il est de forme allongée. Il a une superficie plus faible, sa pente est plus importante (Sonkorong : $S = 7.71$ km², $I_g = 4.15$ m/km).

L'aménagement de Keur Dianko a débuté en 1988, il comprend (cf carte 10) :

- une maille du paysage constituée de haies vives multispécifiques, réparties en 12 lignes isohypses;
- un traitement de ravine par enrochement et végétalisation;
- un itinéraire technique et amélioré sur la majeure partie des parcelles du bassin versant (préparation du sol en sec, semis isohypse);
- un aménagement de la zone du talus cuirassé, à l'amont du bassin versant par un cordon pierreux

CARTE 10
Aménagement de Keur Dianko



Une étude sommaire comparant l'évolution de ce bassin à un autre non aménagé, voisin et pris comme témoin a montré l'efficacité de ces dispositifs anti-érosifs sur la base de 10 années de mesures : les 5 premières avant aménagement et les 5 autres après aménagement.

De cette étude (BANCOLE, BASTIEN 1993) comparant les paramètres de l'ensemble des averses ayant donné lieu à un ruissellement sur ces 10 années, il ressort pour les années après aménagement :

- une diminution des lames ruisselées;
- une diminution de la moyenne du coefficient de ruissellement;
- une diminution de la moyenne des débits maximum d'écoulement;
- une diminution des quantités de matières transportées.

3.2 AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT DE SONKORONG

Cet aménagement conçu selon le modèle de Keur Dianko sera constitué de :

- en hauteur, sur le talus du plateau : un cordon pierreux isohypse, des ouvrages de collecte des eaux de ruissellement : des demi-lunes et en amont de ces ouvrages une strate herbacée;

- une maille du paysage constituée de strates ligneuses formant des haies vives réparties en plusieurs lignes isohypses ;

- un itinéraire technique : préparation du sol en sec, labour perpendiculairement à la pente et en billon, compostage des résidus de récoltes et délimitation des parcelles de cultures par des herbacées;

- traitement des débuts de ravine par enrochement et végétalisation.

La réalisation de ce genre d'aménagement repose sur une très grande sensibilisation des populations. Elles doivent se sentir responsables de la gestion de leur terroir. Dans la zone, le régime foncier et la rareté de terre disponible font que certains paysans cultivent des parcelles dont ils n'ont pas un droit d'usage permanent. Cette situation peut constituer un obstacle à l'exécution de tels aménagements par les populations.

CONCLUSION

L'aménagement de la ravine de Sonkorong a comporté deux volets interdépendants : la réhabilitation de la piste Kaymor-Darou Khoudos par un ouvrage de franchissement, et la stabilisation de la ravine par une protection des berges et du lit.

L'ouvrage de franchissement que nous avons adopté est un radier en gabions en raison de son avantage économique et de sa souplesse vis-à-vis du caractère instable du site. Le calibrage de cet ouvrage s'est fait suivant deux variantes:

- une protection décennale : avec une crue décennale de $12 \text{ m}^3/\text{s}$, considérant une lame d'eau de 30 cm pour une largeur de 4 m, nous obtenons une longueur de radier de 54 m et une hauteur par rapport au terrain naturel de 65 cm;
- une protection vicennale : avec un débit de pointe de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, considérant une lame d'eau de 40 cm et une largeur de 4 m, le radier a une longueur de 60 m et une hauteur par rapport au terrain naturel de 75 cm.

La stabilisation de la ravine est assurée par le seuil que constitue le radier, un retalutage des berges à la pente 1/2, un freinage de ruissellement aux abords de la ravine par la mise en place d'une haie vive et de cordons pierreux et l'enrochement des rigoles en amont de la ravine.

Le coût global de l'aménagement s'élève à 11,1 millions de FCFA dont 3,5 d'investissement humain pour la crue décennale. Pour la vicennale, il s'élève à 16,1 millions de FCFA dont 4,1 d'investissement humain.

En attendant l'exécution de ces travaux, l'espoir que nous nourrissons est que les populations de Sonkorong soient assez sensibilisées pour mener, parallèlement à l'aménagement de la ravine, la restauration de l'ensemble du bassin versant conformément aux propositions que nous avons faites.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL J., BERNARD A., DACOSTA H., GAC J.Y., RUELLE P. (1989).- Campagne hydrologique 1988. DRS Sine-Saloum. Programme CEE-DG XII, ORSTOM-ISRA-CIRAD, 62 p.
- ALBERGEL J., BERNARD A., DACOSTA H., PEPIN Y. (1990).- Rapport hydrologique 1989. Bassins versants de Thyssé-Kaymor. Programme CEE-CIRAD, ORSTOM, 49 p.
- ALBERGEL J., BERNARD A., DACOSTA H., PEPIN Y. (1991).- Rapport hydrologique 1990. Bassins versants de Thyssé-Kaymor.- Programme CEE-CIRAD, ORSTOM, 34 p.
- ALBERGEL J., BERNARD A., DACOSTA H., PEREZ P., SARR P.S., VALENTIN C. (1991).- Projet pilote Sine-Saloum. Bas-fonds de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse : morpho-pédologie.- Programme CEE-CIRAD, ORSTOM-ISRA, 23 p.
- BANCOLE A. (1993).- Observation des bilans hydrologiques et de transports solides sur bassin versant expérimental, efficacité d'un dispositif anti-érosif à Keur Dianko. Rapport de stage de fin de 2nd année EIER, ORSTOM, 35 p.
- BASTIEN V. (1993).- Hydrométrie sur bassin versant étude du ruissellement et de l'érosion hydrique Sine-Saloum (Sénégal). Rapport de stage de MST de géologie appliquée, ORSTOM, 46 p.
- BERTON S. (1988).- La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Petits et micro-barrages en Afrique de l'Ouest. Collection «Le point sur», n° 12, GRET, 474 p.
- BROUWERS M. (1987).- Etudes morphologiques et hydro-pédologiques dans la région de Thyssé-Kaymor (Sine-Saloum, Sénégal). IRAT-CIRAD, 48 p.
- Centre Technique Tropical (CTFT). (1979). Conservation des Sols au sud du Sahara. Ministère de la coopération, 295 p.
- DACOSTA H. (1992).- Economie de l'eau. DRS sur les bassins versants de Thyssé-Kaymor : synthèse hydrologique 1983-1988. Programme CEE-DG XII, ORSTOM-ISRA-IRAT, 125 p.
- DEGARDIN F., LECARPENTIE C., (1991) - Dynamique fluviale et travaux en rivière, EIER, 77 p.
- DIATTA M. (1988).- Caractérisation des faciès forestiers de la communauté rurale de Kaymor. ISRA Kaolack, 64 p.
- FARINET J.L., PEREZ P., RUELLE P. (1991).- Projet pilote Sine-Saloum. Bas-fonds de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse : aménagement et génie rural. Programme CEE-CIRAD, ORSTOM-ISRA 15 p.
- Guillot P. (juin 1979).- Journées d'études sur les précipitations atmosphériques. Débits et pluies extrêmes. Société hydrotechnique de France, 8 p.
- Ministère de la coopération et du développement. (1990).- Les ouvrages en gabions. CEMAGREF

MONIMEAU A. (1992).- Perspectives pour un aménagement intégré d'un bassin versant : projet d'aménagement de la ravine de Sonkorong. Mémoire ESAT 2^{de} année, 81 p.

NGUYEN VAN TUU (1981). Hydraulique Routière. Ministère de la coopération et du développement, 333 p, Annexes.

PEPIN Y., ALBERGEL J., DUBEE G., MAIGA M. (1993).- Programme SALT «Savane à long terme». Rapport de la campagne de mesures hydrologiques sur le bassin versant de Sonkorong. ISRA-ORSTOM-CIRAT, 38 p.

PEREZ P., SARR P.S. (1990).- Programme Gestion des ressources naturelles. Rapport d'activité «Economie de l'eau - DRS» année 1989. ORSTOM-ISRA-IRAT, 40 p.

PEREZ P., RATUREAU J., SARR P.S. (1991).- Programme Gestion des ressources naturelles. Rapport d'activité «Economie de l'eau - DRS» année 1990. ORSTOM-ISRA-IRAT, 18 p.

PEREZ P., SARR P.S., SENE M. (1991).- Projet pilote de Sine Saloum. Bas-fonds de THYSSÉ-Kaymor. Rapport de synthèse : agronomie.- Programme CEE-CIRAD, ORSTOM-ISRA, 19 p.

PEREZ P., SARR P.S., HAMELIN G. (1992).- Programme Gestion des ressources naturelles. Rapport d'activité «Economie de l'eau - DRS» année 1991. ORSTOM-ISRA-IRAT, 18 p.

PEREZ P. (1994).- Thèse de doctorat en sciences agronomiques : Génèse du ruissellement sur les sols cultivés du sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelle. ENSAM.

ROOSE E. (1977). Erosion et Ruissellement en Afrique de l'ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM PARIS, 108 p.

RUELLE P., SENE M., JUNCKER E., DIATTA M., PEREZ P. (1990).- Défense et restauration des sols. Collection fiches techniques, vol 1, n° 1, ISRA-CIRAD, 6 fiches.

SCHMITT A. (1992).- Hydraulique agricole : L'eau, le sol, la plante. Conservation des eaux et des sols, EIER, 130 p.

VLAAR J.C. (1992). Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. C.I.E.H., U.A.W., 99 p., Annexes.

VALET S. (Mars 1983). Economie de l'eau - Défense et Restauration des Sols. Rapport annuel (Octobre à Décembre 1982).ISRA, 40 p.

VALET S. (Janv.1984). Bilan Hydrique sous Cultures dans les Essais Travail du Sol en Sol Sableux (NIORO) et en Sol Sablo-Argileux (THYSSE) - Année 1983 - 2^{ème} partie, 13 p. Annexes.

VALET S. (Août 1984). Programme Economie de l'eau Défense et Restauration des Sols. Caractérisation Hydropédologique du Sol Sablo-Limoneux de l'ESSAI Travail du Sol de NIORO BIT (enracinement consommation en eau et production en hivernage 1983). ISRA-SCS. 52 p. Annexes.

VALET S. (Janv.1985). Action - Test d'Amélioration de la Parcelle pour l'Amélioration du Bilan Hydrique et de la Lutte contre l'Erosion. (Essai en milieu paysan en 1984). IRAT-DEVE, 114 p.

VALET S. (Juin 1985). Notice Explicative de la Carte d'Occupation Comparative des Sols en 1970 et en 1983 de la Région de THYSSE-KAYMOR-SONKORONG.(SINE-SALOUM-SENEGAL) 1/20.000e, IRAT-DEVE, 51 p.

VALET S. (Juillet 1985). Mesure du Ruissellement et de l'Erosion en Milieu Paysan au SINE SALOUM 1983-1984. (document provisoire) IRAT-DEVE, 131 p.

VALET S. (Juillet 1985). Effet de Différents Modes de Travail du Sol sur l'Amélioration des propriétés physiques, Hydriques et Hydrodynamiques d'un Sol Sablo-Argileux, Conséquence sur la Consommation Hydrique et le Rendement des Cultures à THYSSE-SONKORONG. (SINE-SALOUM). Campagne 1984. IRAT-DEVE, 79 p.

ANNEXES

Annexe A : Bilan hydrologique de Sonkorong de 1970 à 1993

années	pluies mm	Lr mm	volume m3	ld mm
1968	476	10	77100	0
1970	459	5	38550	0
1971	570	7	53970	0
1972	506	10	77100	0
1973	585	10	77100	0
1974	754	23	177330	145
1975	858	25	192750	217
1976	508	6	46260	0
1977	452	9	69390	0
1978	735	21	161910	104
1979	758	18	138780	60
1980	792	27	208170	237
1981	652	10	77100	28
1982	535	8	61680	0
1983	493	11	84810	0
1984	481	7	53970	0
1985	791	20	154200	134
1986	687	24	185040	116
1987	840	15	115650	0
1988	1029	37	285270	366
1989	710	10	77100	0
1990	432	9	69390	0
1991	568	15	115650	0
1992	613	11	84810	0
1993	819	24	185040	173

Annexe B : Pluviométrie décadaire de Sonkorong en 1993

Décade	pluie du bassin en 1993
01/06	12.18
11/06	0
21/06	29.66
01/07	37.84
11/07	46.01
21/07	151.5
01/08	120.01
11/08	156.75
21/08	16.32
01/09	53.7
11/09	3.51
21/09	29.86
01/10	15.45
11/10	41.69
21/10	13.76

Annexe C : Caractéristique de la section de jaugeage : débit-section mouillée

Section mouillée m2	Débits m3
4.685	3.37
5.285	4.05
2.875	1.87
4.1	2.19
3.4	1.15
3.647	1.21
5.277	4.05
3.875	3.14
2.925	2.96
1.59	1.17
1.675	1.52
2.025	1.71
1.836	1.64
2.45	2.13
2.751	2.16
2.076	1.71
2.145	2.41
3.209	3.36
2.485	2.63
2.612	2.69
2.323	2.34
1.55	1.85
1.525	1.29
1.315	1.13
1.26	1.08
4.91	5.05
5.14	5.02
6.372	6.34
5.818	5.7
3.965	3.49
2.135	1.74
2.285	3.07
3.69	5.65
3.905	3.22
2.46	2.01
1.634	1.18
1.895	1.45
1.855	1.62
1.695	1.41
1.665	1.35
1.77	1.47
2.785	2.73
2.75	2.71
2.395	2.35
1.497	1.4

Annexe D : Coordonnées des points du nivellement par rapport au 0 de l'échelle

X	Y	altitude	X	Y	altitude	X	Y	altitude	X	Y	altitude
0.00	0.00	0	29.95	-53.03	635.5	61.72	-92.65	2997	93.49	-86.56	1370
0.00	-52.00	2514	41.20	-47.64	241	61.72	-102.65	2997	93.49	-86.56	1370
0.00	-44.00	1839	27.32	-36.39	724.5	65.30	-99.91	1591	106.98	-102.86	1412.5
0.00	-34.50	1137.5	19.04	-49.02	676.5	65.30	-99.91	1591	104.98	-102.86	2412.5
0.00	-24.50	751.5	11.39	-40.84	589	65.35	-99.04	1412.5	108.98	-102.86	2412.5
0.00	-16.00	407	11.39	-40.84	589	65.35	-99.04	2912.5	118.94	-103.15	1557
0.00	-9.50	379.5	18.71	-58.96	733	75.02	-96.49	1472.5	118.94	-103.15	1757
0.00	-7.00	314	26.22	-50.27	684.5	75.02	-96.49	2172.5	104.02	-91.11	1237
0.00	-3.90	301.5	43.21	-57.70	930.5	65.09	-92.79	1927.5	112.54	-82.56	1278
0.00	0.10	290.5	33.56	-58.98	695	74.16	-93.10	1922	146.79	-74.33	1771.5
0.00	6.00	266	33.56	-58.98	695	74.16	-93.10	2122	124.44	-83.70	1220.5
0.00	8.10	389.5	51.32	-54.94	1167	67.45	-101.90	1661	120.44	-83.70	2220.5
0.00	17.90	419.5	51.32	-54.94	2167	68.87	-103.31	3461	128.44	-83.70	2220.5
0.00	28.30	968.5	43.43	-74.79	1098	66.04	-100.49	3461	124.44	-83.70	1220.5
0.00	45.00	1996	43.43	-74.79	1398	67.45	-101.90	1661	91.21	-99.36	1398
41.00	-44.00	2388.5	63.28	-58.51	1165	69.11	-106.20	1757.5	88.21	-99.36	2398
41.00	-37.90	2011	63.28	-58.51	2265	69.11	-106.20	3757.5	94.21	-99.36	2398
41.00	-30.50	1501	56.57	-69.50	698.5	69.57	-108.60	1603	133.78	-96.12	1480.5
41.00	-25.60	1098.5	56.57	-69.50	1098.5	69.57	-108.60	3903	132.78	-96.12	3080.5
41.00	-22.00	448.5	73.76	-62.06	1006	75.17	-109.23	1755	134.78	-96.12	3080.5
41.00	-18.10	478	73.76	-62.06	1406	75.17	-109.23	4555	133.78	-96.12	1480.5
41.00	-14.50	470	80.13	-68.79	1096	74.91	-111.19	1689.5	174.28	-103.22	1868
41.00	-10.90	511	80.13	-68.79	1096	74.91	-111.19	1689.5	173.03	-103.22	3468
41.00	-9.10	704	71.39	-77.29	886.5	74.91	-111.19	4389.5	175.53	-103.22	3468
41.00	-6.00	626.5	71.39	-77.29	2086.5	78.71	-103.11	1734	202.09	-96.07	2196.5
41.00	-1.00	411.5	59.75	-78.05	1201	78.71	-103.11	5734	202.09	-96.07	2196.5
41.00	1.90	689	59.75	-78.05	2201	79.03	-105.55	1987	231.51	-100.43	2449
41.00	5.30	723	61.30	-88.03	1239	85.83	-102.71	1875.5	230.01	-100.43	4049
41.00	6.20	459.5	61.30	-88.03	2439	85.83	-102.71	5175.5	233.01	-100.43	4049
41.00	8.90	654	50.63	-86.53	1103	88.93	-107.09	2212	215.21	-67.52	2747.5
41.00	12.00	459.5	50.63	-90.33	1103	88.93	-107.09	2212	214.21	-67.52	4447.5
41.00	16.00	489.5	50.63	-82.73	1103	88.15	-114.79	1634.5	216.21	-67.52	4447.5
41.00	23.90	490	50.63	-86.53	1103	93.56	-117.32	2249.5	215.21	-67.52	2747.5
41.00	40.10	634	58.20	-82.03	1487	96.43	-121.31	1939	276.29	-41.67	3157
41.00	43.10	1564	58.20	-82.03	2387	96.43	-121.31	4439	275.29	-41.67	4857
41.00	47.00	1378.5	59.72	-77.19	1145.5	95.22	-123.83	1392.5	277.29	-41.67	4857
41.00	58.00	2328.5	59.72	-77.19	1845.5	95.22	-121.83	4192.5	276.29	-41.67	3157
118.00	-69.80	2273.5	59.72	-76.19	2545.5	95.22	-125.83	4192.5	268.47	-42.02	4811.5
118.00	-63.40	2018.5	65.83	-82.60	1540.5	95.22	-123.83	1392.5	268.47	-42.02	4811.5
118.00	-61.60	1363.5	64.88	-78.40	1143	110.94	-122.83	2123.5	276.29	-41.67	3157
118.00	-60.00	1127.5	68.48	-76.67	1431	116.94	-122.34	2146.5	275.29	-41.67	4657
118.00	-58.20	636.5	68.48	-76.67	2431	116.94	-122.34	3946.5	277.29	-41.67	4657
118.00	-55.10	780	77.24	-88.24	1194	116.94	-122.34	2146.5	276.29	-41.67	3157
118.00	-50.70	965	79.53	-83.14	1598	124.19	-119.01	2285.5	292.30	-16.98	3888.5
118.00	-49.30	965	79.53	-83.14	2298	124.19	-119.01	3885.5	299.88	-14.39	4160.5
118.00	-44.10	1574	75.34	-89.97	1660	59.72	-77.19	1145.5	299.88	-14.39	4160.5
118.00	-43.40	2468.5	75.34	-89.97	2660	58.0	-54.3	850.5	331.67	1.58	4572.5
118.00	-34.30	2890	52.41	-99.49	1300.5	52.6	-56.8	748.5	316.87	-9.19	5361.5
118.00	-23.00	3211.5	52.41	-99.49	1300.5	64.8	-52.0	1112.5	333.23	3.04	4850
29.78	-15.18	601	52.71	-95.39	1607.5	75.8	-75.4	1088	332.73	3.04	5350
3.77	-14.47	644	57.47	-100.91	1414.5	79.0	-70.0	807	333.73	3.04	5350
40.17	-55.77	1000	61.72	-98.65	1397	79.0	-70.0	2207	345.72	8.38	5164

X	Y	altitude	X	Y	altitude	X	Y	altitude	X	Y	altitude
10.33	51.51	1331.5	58.24	69.84	1530	71.19	38.84	3958.5	36.75	89.90	3966
10.33	51.01	1531.5	58.24	66.84	3130	70.44	38.84	5558.5	37.25	89.90	3966
10.33	52.01	1531.5	58.24	72.84	3130	71.94	38.84	5558.5	39.98	90.24	4129
12.92	52.11	915.5	67.30	70.69	2086.5	69.62	41.87	4149.5	59.69	86.80	3979
12.92	51.96	1615.5	67.30	70.59	3086.5	69.32	41.87	5549.5	59.69	86.80	4179
12.92	52.26	1615.5	67.30	70.79	3086.5	69.92	41.87	5549.5	66.46	57.89	1954
13.28	51.16	878	52.88	63.58	739	68.56	45.11	4273.5	64.03	73.50	1423
12.78	51.16	1678	51.88	63.58	3239	67.31	45.11	5673.5	68.82	75.93	1739
13.78	51.16	1678	51.11	62.97	849.5	69.81	45.11	5673.5	68.82	77.93	1994
10.90	49.33	1285	51.21	62.97	2149.5	67.99	46.82	4398.5	68.82	78.93	3694
10.50	49.33	1685	53.11	62.97	3249.5	67.94	46.82	5398.5	68.82	75.53	3839
11.30	49.33	1685	51.11	62.97	849.5	68.04	46.82	5398.5	75.61	77.87	1755.5
14.42	48.94	745.5	52.80	56.27	1558.5	64.78	54.04	5691.5	75.61	78.87	3755.5
13.77	48.94	1545.5	52.80	56.27	3358.5	64.63	54.04	5741.5	75.61	75.87	3755.5
15.07	48.94	1545.5	56.61	59.94	1166	64.93	54.04	5741.5	85.45	81.26	1987
11.62	44.97	1049	56.61	59.94	3666	60.50	64.71	5821.5	85.45	80.56	3787
10.77	44.97	1549	66.46	57.89	1954	66.46	57.89	1954	85.45	81.96	3787
12.47	44.97	1549	66.46	57.89	3554	52.82	49.56	2038.5	85.45	81.26	1987
12.97	41.11	656.5	57.47	50.02	2559	52.82	49.76	3538.5	65.84	62.90	1972
12.72	41.11	956.5	57.47	50.02	3259	54.37	45.68	1296	65.84	62.40	4072
13.22	41.11	956.5	64.22	55.08	1264	54.37	43.88	3896	65.84	63.40	4072
0.00	0.00	0	60.83	52.95	2361	58.49	46.90	1930	68.41	63.76	2595
34.96	34.63	608.5	60.83	52.95	3261	58.49	46.90	3730	68.41	63.76	3195
34.96	34.63	2058.5	62.86	61.15	1317.5	58.11	51.28	1459	68.41	63.36	3995
56.06	52.91	835.5	60.86	61.15	3517.5	56.61	51.28	2459	68.41	64.16	3995
56.06	52.91	1635.5	64.86	61.15	3517.5	59.61	51.28	2459	73.82	64.24	3460
72.09	70.35	596	67.10	66.85	1437	55.61	51.28	2959	73.82	63.74	3960
72.09	70.35	2296	65.85	66.85	3537	57.64	53.03	1714	73.82	64.74	3960
72.03	68.85	838	68.35	66.85	3537	59.62	52.87	1841	94.39	63.30	4044
72.03	65.35	1638	72.95	72.83	1842.5	59.22	52.87	3841	94.39	63.20	4144
72.03	72.35	1638	72.45	72.83	3542.5	50.59	66.45	1703	94.39	63.40	4144
72.03	68.85	838	73.45	72.83	3542.5	50.59	66.45	1703	94.39	63.30	4044
38.41	67.99	1108.5	72.95	72.83	1842.5	47.81	60.22	1923.5	94.39	62.30	4244
38.41	67.99	2808.5	63.68	86.74	1856	47.81	60.22	3723.5	94.39	64.30	4244
38.04	64.29	516	63.68	86.74	2456	43.30	62.71	2062	102.58	51.20	4249
38.04	60.29	3116	63.43	86.74	3756	43.30	62.71	3862	102.58	50.20	4549
38.04	68.29	3116	63.93	86.74	3756	45.71	69.39	1956.5	102.58	52.20	4549
49.13	65.28	943.5	67.69	86.48	2909	44.30	70.80	4056.5	112.57	50.99	4534
49.13	65.28	2543.5	67.09	86.48	3709	51.49	66.37	2370	120.08	51.25	4621.5
49.27	63.58	306.5	68.29	86.48	3709	48.24	72.95	1969.5	120.08	51.00	4921.5
49.93	61.57	1091	72.58	85.24	3387	48.24	75.45	4169.5	120.08	51.50	4921.5
49.93	61.57	3091	72.28	85.24	3987	51.01	70.96	1620	120.08	50.25	5121.5
58.58	68.64	1270.5	72.88	85.24	3987	52.51	70.96	4120	120.08	52.25	5121.5
58.58	68.64	3270.5	85.09	84.36	3581.5	51.59	75.01	1782	128.99	51.10	4842
58.58	68.64	1270.5	85.09	84.36	4181.5	51.79	75.01	3932	155.57	50.76	5444
46.97	62.14	698.5	66.46	57.89	1954	54.43	76.41	2139	0.00	0.00	0
46.97	64.64	3098.5	61.53	55.58	1685	54.43	75.41	4339	29.19	-3.78	377
48.82	66.73	667	60.03	55.58	3485	54.43	77.41	4339	-4.60	0.00	282
48.82	66.73	3067	63.03	55.58	3485	54.43	76.41	2139	-26.13	1.69	182
52.46	68.19	878.5	57.63	59.66	1999.5	30.59	89.90	3494	-25.72	-6.17	272
52.46	66.19	2878.5	56.63	59.66	3799.5	30.59	89.90	4194	-43.82	-17.63	92
52.46	70.19	2878.5	58.63	59.66	3799.5	37.00	89.90	3666	-44.59	-1.01	157

X	Y	altitude	X	Y	altitude	X	Y	altitude	X	Y	altitude
345.22	8.38	5364	403.95	7.94	5936.5	445.82	17.36	8125.5	3.20	25.11	716.5
346.22	8.38	5364	404.95	7.94	5936.5	413.60	9.41	7160	2.70	25.11	816.5
356.93	16.61	5224.5	414.43	7.23	5787	400.42	20.76	7826.5	3.70	25.11	816.5
356.63	16.61	5624.5	413.43	7.23	6387	400.42	20.76	7826.5	0.85	24.93	673
357.23	16.61	5624.5	415.43	7.23	6387	409.91	10.81	7164	0.35	24.93	823
374.05	31.85	6191.5	427.86	11.98	6160	407.90	22.62	7634.5	1.35	24.93	823
342.52	-3.50	4564	426.86	11.98	6760	407.40	22.62	7934.5	3.32	33.58	896
341.92	-3.50	5364	428.86	11.98	6760	408.40	22.62	7934.5	2.82	33.58	1096
343.12	-3.50	5364	427.86	11.98	6160	401.19	34.99	7897.5	3.82	33.58	1096
359.13	-6.45	4772.5	423.13	2.88	6158.5	400.19	34.99	8197.5	-0.42	33.39	842
358.63	-6.45	5472.5	422.88	2.88	6658.5	402.19	34.99	8197.5	-0.92	33.39	1242
359.63	-6.45	5472.5	423.38	2.88	6658.5	401.19	34.99	7897.5	0.08	33.39	1242
359.13	-6.45	4772.5	418.52	-4.06	6173	394.37	21.60	7945.5	5.13	43.01	1143.5
342.38	23.81	4800.5	418.32	-4.06	6673	393.97	21.60	8145.5	4.38	43.01	1543.5
341.88	23.81	5300.5	418.72	-4.06	6673	394.77	21.60	8145.5	5.88	43.01	1543.5
342.88	23.81	5300.5	414.50	-19.43	6582	400.74	20.76	8015.5	0.35	41.59	1014.5
353.48	20.81	5015.5	418.51	7.39	6103	400.44	20.76	8515.5	0.05	41.59	1614.5
352.48	20.81	5315.5	418.01	7.39	6703	401.04	20.76	8515.5	0.65	41.59	1614.5
354.48	20.81	5315.5	419.01	7.39	6703	400.74	20.76	8015.5	4.61	47.08	1335
355.95	13.34	5522.5	413.83	2.10	6015.5	396.59	4.39	8331.5	4.21	47.08	1735
354.45	13.34	5822.5	413.33	2.10	6715.5	396.19	4.39	8631.5	5.01	47.08	1735
357.45	13.34	5822.5	414.33	2.10	6715.5	396.99	4.39	8631.5	1.13	47.45	1402.5
343.07	-25.88	6443	408.68	-5.71	6303.5	404.69	-0.74	8521.5	1.13	47.15	1802.5
342.57	-25.88	6643	408.18	-5.71	6603.5	404.19	-0.74	8821.5	1.13	47.75	1802.5
343.57	-25.88	6643	409.18	-5.71	6603.5	405.19	-0.74	8821.5	5.27	52.00	1600
341.88	-30.73	6963	404.33	-11.89	6388	404.69	-0.74	8521.5	5.27	51.90	1800
341.88	-30.73	7263	392.65	-22.43	6885.5	410.43	13.57	8626.5	5.27	52.10	1800
371.93	3.24	6018	392.65	-22.43	6885.5	409.43	13.57	9126.5	1.35	52.26	1646
367.95	17.68	5206.5	392.96	2.16	6820.5	411.43	13.57	9126.5	1.35	52.06	2046
366.95	17.68	5906.5	392.46	2.16	7420.5	419.03	10.37	8801	1.35	52.46	2046
368.95	17.68	5906.5	393.46	2.16	7420.5	429.50	33.96	9080	-8.54	66.21	2399
367.95	17.68	5206.5	409.17	-0.12	6985.5	436.77	74.94	9411	2.72	71.41	2319.5
382.61	17.90	5263	408.67	-0.12	7685.5	414.63	-7.64	8732	2.72	71.31	2519.5
381.61	17.90	6263	409.67	-0.12	7685.5	402.97	-49.70	8474	2.72	71.41	2519.5
383.61	17.90	6263	415.17	1.21	7129	428.59	13.23	8691	4.49	88.81	2847
384.88	22.27	5439	413.92	1.21	7829	427.84	13.23	9191	9.17	74.40	2355
384.38	22.27	6139	416.42	1.21	7829	429.34	13.23	9191	10.13	64.20	2224
385.38	22.27	6139	415.17	1.21	7129	436.98	18.01	8533.5	8.43	67.03	1845
384.79	27.35	5561.5	409.82	10.38	7098.5	436.48	18.01	9233.5	8.43	66.53	2145
384.54	27.35	6161.5	409.07	10.38	7898.5	437.48	18.01	9233.5	8.43	67.53	2145
385.04	27.35	6161.5	410.57	10.38	7898.5	446.51	23.94	8913.5	11.81	66.50	2016
383.27	31.11	6171.5	407.92	17.06	7384.5	445.76	23.94	9213.5	11.81	66.40	2166
386.78	27.80	6166.5	407.42	17.06	7784.5	447.26	23.94	9213.5	11.81	66.60	2166
386.83	22.05	5405.5	408.42	17.06	7784.5	456.18	29.69	9092.5	12.47	56.19	1644
386.33	22.05	6305.5	400.44	34.91	7838	455.58	29.69	9492.5	12.47	55.94	1844
387.33	22.05	6305.5	424.21	15.77	7230	456.78	29.69	9492.5	12.47	56.44	1844
393.54	22.48	5894	423.71	15.77	7830	456.18	29.69	9092.5	9.41	55.76	1459
393.54	22.48	6094	424.71	15.77	7830	446.23	25.26	9145.5	9.41	55.51	1759
388.30	15.94	5251	431.70	17.54	7534	446.13	25.26	9345.5	9.41	56.01	1759
387.40	15.94	6251	431.70	17.54	7934	446.33	25.26	9345.5	12.66	52.81	1494
389.20	15.94	6251	445.32	17.36	7525.5	469.99	23.56	9513.5	12.66	52.61	1694
404.45	7.94	5236.5	444.82	17.36	8125.5	0.00	0.00	0	12.66	53.01	1694

X	Y	altitude							
-63.13	-7.39	102							
-60.07	-22.87	-13							
-78.22	-31.31	-83							
-83.63	-12.39	197							
-93.99	-17.05	227							

Annexe E : CARACTERISTIQUES DES FONDATIONS ET PROTECTIONS

1 Fondation du seuil

Elle est prise à 35 cm pour la crue décennale et à 75 cm pour la crue vicennale ce qui correspond à des hauteurs totales respectives de 1 m et 1.5 m.

2 Bassin de dissipation

Elle est enfoncée de 20 cm en dessous du terrain naturel aussi bien pour la protection décennale que pour la protection vicennale.

Sa longueur est obtenue en minorant la valeur donnée par l'extrapolation des abaques CEMAGREF 1990.

- crue décennale

$$q = 12/54 = 0.22 \text{ m}^3/\text{ml}$$

Pour une pente 1/2 : l'abaque donne une longueur $l = 1.75 \text{ m}$

Nous adoptons une longueur de bassin de 2 m.

- crue vicennale

$$q = 20/60 = 0.33 \text{ m}^3/\text{ml}$$

Pour la même pente, la longueur $l = 2.25 \text{ m}$

Nous adoptons une longueur de 2 m

3 Protection contre le renardage

Nous utilisons la règle de Lane

$$L_v + 1/3 L_h \geq CH \text{ où :}$$

L_v = longueur des cheminements verticaux

L_h = longueur des cheminements horizontaux

H = hauteur d'eau à l'amont de l'ouvrage

C = coefficient fonction du terrain, $C = 6$

- crue décennale

H = hauteur du seuil au dessus du terrain naturel + lame d'eau déversante.

$$H = 0.65 \text{ m} + 0.3 \text{ m} = 0.95 \text{ m}$$

$$L_h = 2.5 \times 1 + 0.4 + 5 = 7.9 \text{ m}$$

l'application de la règle de Lane nous conduit à $L_v = 3.1 \text{ m}$ soit un ancrage de 1.6 m.

- Crue vicennale

$$H = 0.75 \text{ m} + 0.4 \text{ m} = 1.15 \text{ m}$$

$$L_h = 2.5 \times 1.5 + 0.4 + 5 = 9.2 \text{ m}$$

Ce qui conduit à $L_v = 4 \text{ m}$ soit un ancrage de 2 m.

4 Murs bajoyers aval

- La fondation du mur bajoyer (a)

$a = P+l$ où,

P = profondeur de la fosse de dissipation = 20 cm

l = fondation de la fosse de dissipation = 50 cm

la fondation du mur bajoyer aval $a = 70$ cm

- La hauteur totale du mur bajoyer (H_b)

$$H_b = h + a + H + r$$

a = fondation du mur

h = hauteur du seuil au dessus du terrain naturel

r = revanche = 35 cm

H = lame d'eau déversante

Crue décennale

$$H_b = 65 \text{ cm} + 70 \text{ cm} + 30 \text{ cm} + 35 \text{ cm} = 200 \text{ cm.}$$

$$H_b = 2 \text{ m}$$

Crue vicennale

$$H_b = 75 \text{ cm} + 70 \text{ cm} + 40 \text{ cm} + 35 \text{ cm} = 220 \text{ m, nous adoptons une hauteur totale de 2.5 m}$$

5 Murs bajoyers amont

La hauteur de ces murs est égale à $H_b = h + a_s + H + r$ où :

h = hauteur du seuil au dessus du terrain naturel

a_s = fondation du seuil

H = lame d'eau déversante

r = revanche

Crue décennale

$$H_b = 65 \text{ cm} + 35 \text{ cm} + 30 \text{ cm} + 35 \text{ cm} = 165 \text{ cm. Nous adoptons une hauteur de 2 m.}$$

Crue vicennale

$$H_b = 75 \text{ cm} + 75 \text{ cm} + 40 \text{ cm} + 35 \text{ cm} = 225 \text{ cm. Nous adoptons une hauteur de 2.5 m.}$$

Annexe F : Devis estimatif

Nous développons ici l'estimation du coût de l'ouvrage pour la crue décennale, la méthode de calcul pour la crue vicennale étant identique, nous donnerons uniquement les résultats obtenus.

1 Crue décennale

A Devis quantitatif

- Volume en gabion du radier

Il est constitué de 189 gabions semelles 2 m x 1 m x 0.5 m.

Le volume du radier est égal à 189 m³.

Avec un fil de diamètre 2.5 mm et des mailles de type 100 x 120, la masse d'un gabion semelle est égale à 9.8 kg.

La masse de 189 gabions semelles s'élève à 1852 kg.

- Volume de la terre compactée amont

$$v = (0.4 + 2.5 + 0.4) \times 0.5 \times 54 = 89.1 \text{ m}^3$$

- Bassin de dissipation

Il se compose de 54 gabions semelles 2 m x 1 m x 0.5 m, soit un volume de 54 m³. Avec un fil de diamètre 2.5 mm, la masse de gabion est égale à 529 kg

- Enrochement après le bassin de dissipation

$$v = 1 \times 0.5 \times 54 = 27 \text{ m}^3$$

- Bajoyers amont

Un mur bajoyer est composé de 20 gabions cages 2 m x 1 m x 1 m, fil de diamètre 3 mm et une masse de 14 kg. Ceci constitue un volume de 40 m³ et une masse de 280 kg.

Pour les deux murs, nous avons une masse de 560 kg et un volume 80 m³.

- Bajoyers aval

Ils sont constitués de 2 gabions cages de mêmes caractéristiques que ceux des bajoyers amont. Ils ont un volume de 8 m³ et un poids de 56 kg.

- Gabion d'ancrage dans les berges

ils constituent un ensemble de 10 gabions semelles 2 m x 1 m x 0.5 m avec des fils de diamètre 2.5 mm. Soit un volume de 10 m³ et un poids de 98 kg.

- bêche d'ancrage

Elle représente un volume de béton v :

$$v = 0.4 \times 1.6 \times 54 = 34.6 \text{ m}^3$$

Cordons de pierres pour les parcelles alentours

Leur longueur est estimée à 2000 m à raison de 8 m³, ils ont un volume de 160 m³.

- Volume d'enrochements des rigoles en amont

L'enrochement est estimé nécessaire sur une longueur de 1000 m à raison de 8 m³ par 100 m nous obtenons un volume de 80 m³

- Volume de terrassement

Les terrassements autres que le remblai compacté amont sont estimés à 600 m³.

Nous obtenons les résultats suivants :

- Volume total d'encrochements = 608 m³
- Volume de remblai compacté = 89.1 m³
- Volume d'autres terrassements = 600 m³
- Volume de béton = 35 m³
- Volume total de gabions = 341 m³
- Poids total de gabions semelle = 2480 kg
- Poids total de gabions cage = 616 kg

B estimation des temps de travaux

- Collecte des blocs d'encrochements

Avec un volume total de 608 m³ et un temps de travail unitaire de 1.6 m³ / actif-jour, nous obtenons : 380 actif.jour.

- Terrassements

Avec un travail unitaire d'1 m³ / actif-jour leurs temps de travaux est de 690 actif.jour.

- Tissage gabions

En prenant un travail unitaire d'1 m³ / actif-jour, avec un volume de 341 m³ nous obtenons 341 actif.jour.

- Mise en place gabions

Avec un temps de travail unitaire de 0.5 m³ /actif-jour, nous obtenons un temps de travail de 682 actif.jour.

- Mise en place des encrochements

En considérant 8 actifs-jour / 100 m avec nos encrochements sur 3000 m, nos temps de travaux s'élèvent à 240 actif.jour.

Les temps de travaux s'élèvent ainsi à 2333 actif-jour. Si l'on dispose de 20 actif par jour, le chantier durera environ 4 mois.

C Estimation du coût de l'ouvrage

- Le coût du petit matériel et de la table à tresser le gabion est estimé à 1.0 millions F.CFA.
- L'eau nécessaire au chantier est estimée forfaitairement à 0.5 millions F.CFA.
- Le coût du béton est évalué à 0.95 millions F.CFA avec un coût unitaire égal à 25000 F.CFA.

- Transport de matériaux

Le volume d'enrochements et de latérite s'élève à 628 m³. Avec un camion de 7 m³ nous obtenons 90 aller-retour. Nous supposons 5 aller-retour par jour et évaluons le coût du transport journalier à 25000 F.CFA. Ceci nous conduit à un coût égal à 0.45 millions F.CFA

Le coût du transport de terre pour le remblai compacté s'élève à 0.1 millions F.CFA, nous considérons 3 aller-retour par jour.

Le coût du transport de matériau est égal à 0.55 millions F.CFA.

- Fil de fer pour les gabions

Le coût d'1 kg est estimé à 1000 F.CFA pour les gabions semelles et à 1100 F.CFA pour les gabions cages, ce qui fait un total de 3.2 millions F.CFA.

- Le coût de la conduite des travaux : avec un salaire mensuel de 0.15 millions F.CFA, la conduite des travaux s'élève à 0.6 million F.CFA.

- Le coût de l'investissement humain : un actif correspond à un travail de durée égale à 6 heures, nous estimons sa rémunération à 1500 F.CFA ce qui nous conduit à un investissement humain égal à 3.5 millions F.CFA.

En considérant un imprévu de 20 %, le coût global de notre projet s'élève à 11.1 millions dont 3.5 millions d'investissement humain.

2 Crue vicennale

Devis quantitatif

- Radier : 360 m³ de gabions semelles, soit 3528 kg
- Bassin de dissipation : 60 m³ de gabions semelles, soit 588 kg
- enrochement en aval du bassin de dissipation : 27 m³
- Bajoyers amont : 80 m³ de gabions cages soit 1120 kg, 20 m³ de gabions semelles soit 196 kg
- Bajoyers aval : 8 m³ de gabions cages soit 112 kg, 2 m³ de gabions semelles soit 19.6 kg
- Ancrage dans les berges 18 m³ de gabions semelles soit 176.4 kg
- Cordons de pierre pour parcelles alentours : 160 m³
- Enrochement des rigoles amont 80 m³
- Remblai compacté 204 m³ de terre
- autres terrassements 700 m³
- Bêche d'ancrage 48 m³ de béton

Volume total d'enrochement = 815 m³

Volume de remblai compacté = 204 m³
Autres terrassements = 700 m³
Volume de béton = 48 m³
Volume total de gabions = 548 m³
Poids total de gabions semelles = 4508 kg
Poids total de gabions cages = 1232 kg

Temps de travaux nécessaires

Les temps de travaux unitaires sont identiques à ceux considérés pour la crue décennale. Ainsi nous obtenons un temps de travail égal à 2751 actif-jour. Avec 25 actifs par jour, le chantier durera environ 4 mois.

Pour la protection vicennale, le projet représente un investissement global de 16.1 millions de F.CFA dont 4.1 d'investissement humain.

Annexe G : Questionnaire de l'enquête

Nom et prénom de l'enquêté :

1 Pensez-vous que la ravine à proximité de la mosquée peut atteindre le village ?

Oui

Non

Pouquoi ?

2 Selon vous, à quoi est due la progression de la ravine ?

Fort ruissellement

Déboisement

Techniques culturales à l'amont

3 Pensez-vous que sans aménagement, la nouvelle mosquée ne sera pas atteinte par la ravine ?

Oui

Non

Pourquoi ?

4 Combien de fois la piste du village a-t-elle changée de tracé ?

5 Où se situe l'importance de la piste pour vous ?

Importance économique

Importance sociale

6 La piste et la ravine constituent-elles des préoccupations pour vous ?

Oui

Non

7 Au niveau du village avez-vous un projet de stabilisation de la ravine et de réhabilitation de la piste

?

Oui

Non

8 Si aujourd'hui vous bénéficiez d'une aide technique pour l'aménagement de la ravine et la réhabilitation de la piste, participeriez-vous sans rémunération aux travaux ?

Oui

Non

9 Pensez-vous que beaucoup soient prêts à en faire autant ?

Oui

Non

10 Si cela était nécessaire seriez-vous prêts à contribuer financièrement ?

Oui

Non

11 Antérieurement, au niveau du village des actions pour la stabilisation de ravine ont-elles été menées ?

Oui Si oui comment ?

Non

12 Antérieurement avez-vous participé aux travaux de réhabilitation de la piste ?

Oui Si oui comment ?

Non