



# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE PAR :

*HACHIMOU Souleymana*

ANNEE 1994-1995

-----

"DIAGNOSTIC ET RECOMMANDATIONS  
POUR LA CONSTRUCTION  
DE MICRO-BARRAGES DANS LA  
PROVINCE DE LA GNAGNA  
BURKINA FASO"

Mention :

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée
le 03 JUIN 1995 s/n° 253/95

*Encadrement*

J-M. DURAND

## **DEDICACE**

**Je dédie ce mémoire à mon père, à ma mère, à ma fiancée et au regretté EL  
Tatali qui nous a quitté au moment même de ce travail.**

## REMERCIEMENTS

A l'issue de ce premier mémoire, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à sa réalisation.

Mes sincères et profonds remerciements vont à :

- Monsieur Jean Maurice DURAND et Monsieur L. COMPAORE pour l'encadrement.

- Monsieur Mark A. SPRUNGER, Jeff et Judith Heath pour leur confiance.

- Madame Maïna BOUKAR, mlle Rahinatou SOULEYMANE, M. Sanoussi ISSOUFOU Abdou Razak, M. Abdou KARIM, M. Ousmane ZAKI pour leurs conseils et leurs préoccupations tout au long de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des Enseignants de l'E.I.E.R. qui ont contribué à ma formation et aux membres de Jury qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail.

## SOMMAIRE

ABREVIATIONS.....	i
RESUME.....	ii
INTRODUCTION.....	1
GENERALITES.....	4
A. DIAGNOSTIC.....	7
A.1. Diagnostic de la conception des ouvrages.....	7
A.2. Diagnostic des modes et technique des réalisations.....	9
A.3. Diagnostic de l'état physique des ouvrages .....	11
A.4. Diagnostic objectif et résultat .....	12
B. RECOMMANDATIONS.....	14
B.1. Zone d'emprunt .....	14
B.2. Construction de l'ouvrage .....	15
B.2.1. Décapage de la terre végétale.....	15
B.2.2. La tranchée d'ancrage.....	15
B.2.3. Le compactage .....	16
B.2.4. La hauteur de la digue.....	16
B.2.5. La largeur en crête .....	16
B.2.6. Les pentes de talus.....	16
B.2.7. Déversement frontal des eaux.....	17
B.2.8. Déversement latéral des eaux.....	18
B.2.9. Les protections .....	18
B.2.10. Entretiens .....	21
B.2.11. Sensibilisation.....	21
B.3. Orientation .....	22

C. CAS DU MICRO-BARRAGE DE GABOANDI.....	23
I. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT ET DE LA CUVETTE .....	23
I.1. Bassin versant .....	23
I.2. Caractéristiques physiques de la cuvette .....	25
II. Détermination de la crue décennale .....	25
II.1. Estimation de la hauteur de l'averse décennale ponctuelle .....	25
II.2. Coefficient d'abattement .....	25
II.3. Coefficient de ruissellement .....	26
II.4. Evaluation du débit moyen de ruissellement .....	26
II.5. Calculs.....	27
III. CALCUL DE LA LONGUEUR DU DEVERSOIR (CENTRAL OU LATERAL CONSTRUIT).....	27
III.1. Choix du type d'ouvrage .....	27
III.2. Dimensionnement .....	27
IV. DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE DISSIPATION .....	29
V. DIMENSION DU CHENAL $\S$ i LE DEVERSOIR EST NATUREL.....	31
VI. DISPOSITION PRATIQUE DE CONSTRUCTION DU DEVERSOIR.....	31
VII. RECOMMANDATION POUR SA REFECTION.....	33
CONCLUSION.....	34
BIBLIOGRAPHIE.....	35
ANNEXES.....	36

## ABREVIATIONS

- CIEH = Comité Inter-africain d'Etudes Hydrauliques
- $e$  = Epaisseur
- E.I.E.H. = Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
- $H$  = Lamé d'eau m
- HSL = hydraulique à surface libre
- $I$  = infiltration
- IGB = Institut Géographique du Burkina
- IGN = Institut Géographique National
- $K$  = Coefficient d'abattement
- $K_r$  = Coefficient de ruissellement
- $M$  = débit moyen ruisselé
- MCC = Ménonnite Central Central
- ONBAH = Office National de Barrages et Aménagement Hydraulique
- ORSTOM = Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
- $P_{\text{moy}}$  = pluie annuelle moyenne en millimètres
- $P_{10}$  = pluie décennale
- $Q_{\text{cn}}$  = débit maximum de pointe dans le bas-fond
- $Q_{\text{max}}$  = débit maximum ruisselé
- $S$  = Supérficie du bassin versant
- $T_b$  = Temps de base
- $T_m$  = Temps de montée

## RESUME

La zone d'études est la province de la GNAGNA, au BURKINA FASO. Dans cette zone d'études, il se pose un épineux problème d'eau. Le MCC trouve comme opportunité la construction de retenue d'eau afin d'apporter une solution partielle au problème primordial qui est celui de l'alimentation en eau du bétail.

Ces retenues d'eau sont des micro-barrages dont la réalisation est essentiellement due à l'investissement humain. Elles sont situées dans une zone sahélienne et la charge d'eau est fixée à 1 m. Soumis aux fortes évaporations (5 mm/j à 8 mm/j), ces micro-barrages de retenue d'eau s'assèchent avant même que le besoin atteigne son maximum.

Du diagnostic qui porte sur la conception, des modes et techniques des réalisations, de l'état physique des ouvrages, et de l'objectif et résultats, il ressort :

qu'aucune étude fiable qui tient compte des critères de faisabilité géotechnique, géologique et hydrologique n'était entreprise. On effectue un simple décapage de la terre végétale de 20 cm d'épaisseur, une tranchée d'étanchéité de 1 m de profondeur et aucune méthode de dimensionnement des évacuateurs de crues n'était donnée.

En plus, les couches à teneur en eau naturelle sont souvent épaisses (plus de 30 cm) et compactées dans le meilleur des cas avec des dames manuelles. Les limites dimensionnelles des ouvrages sont obtenues à l'aide des piquets en bois et d'un niveau à eau.

Ces ouvrages ne connaissent pas de mesures de protections indispensables. C'est ainsi que, les effets de ruissellement des eaux de pluies, l'action mécanique des vagues, l'érosion régressive, entraînent la dégradation et même la destruction de ces ouvrages qui manquent, en plus, d'entretiens minimums.

En somme, ces paramètres entraîneront l'échec des réalisations du MCC, qui cherche pourtant à fidéliser les nouveaux demandeurs. C'est ainsi que, des recommandations qui tiennent compte de l'approche de MCC (exécution des ouvrages essentiellement à l'investissement humain) ont été formulées et permettront non seulement de réfectionner au besoin les ouvrages défectueux, de connaître la limite de la technique (hauteur de la digue au dessus du terrain naturel  $\leq 3\text{m}$ ) et espérer pouvoir réaliser des futures retenues d'eau plus crédibles. En ce sens, la construction des boullis ou des digues déversantes, bien situés géographiquement répondront mieux au besoin en eau, qu'un ensemble de micro-barrages, réalisés de façon trop précaire et qui s'assèchent avant même que le besoin en eau du bétail atteigne son maximum.

La consultation des réflexions portées sur le cas du micro-barrage de retenue d'eau de Gaboandi apportera plus de détails quant aux calculs de la superficie du bassin versant et de la longueur de l'évacuateur de crues.

## INTRODUCTION

« Un barrage est un ouvrage de Génie Civil qui, en bloquant totalement ou partiellement les eaux de ruissellement d'un bassin versant, permet d'en stocker un volume important en vue de son utilisation à des fins diverses (alimentation en eau, besoins agricoles, besoins industriels éventuellement) »\*.

Les micro-barrages sont un sous-ensemble de petits barrages :

- selon la Commission Internationale de barrages, la hauteur d'un petit barrage est inférieure ou égale à 15 m. Monsieur L. COMPAORE, Professeur à l'EIER, partage également cet avis et précise davantage que la hauteur, cumulée depuis la fondation, d'un micro-barrage est inférieure à 7 m.

- à l'ONBAH, la hauteur au-dessus du terrain naturel d'un petit barrage de retenue d'eau est inférieure ou égale à 5m et celle d'un micro-barrage est inférieure ou égale à 2 m.

- au Ministère de l'eau du Burkina, la hauteur d'un micro-barrage de retenue d'eau est inférieure ou égale à 5m.

Au vu de ces constats, des ouvrages réalisés par le MCC avec une hauteur au-dessus du terrain naturel inférieur à 3 m sont des micro-barrages de retenue d'eau de surface.

\* Cours de barrage de Jean-Maurice Durand.

La province de la GNAGNA qui est notre zone d'études est en zone sahélienne. L'alimentation en eau du bétail reste un problème primordial.

Ainsi, depuis 1986, le MCC a réalisé une dizaine de retenues d'eau temporaires dans cette province, engendrant en conséquence une résolution partielle de l'épineux problème d'eau. A la demande du MCC, fut effectué du 3 au 21 Avril 1995, un séjour à PIELA, ce qui a permis d'observer et de recueillir certaines indications au sujet de ces retenues.

Les ouvrages visités sont des micro-barrages homogènes, en terre, de rétention d'eau de surface. Ils sont réalisés essentiellement à "l'investissement humain". Ils sont initialement tous munis de déversoirs latéraux, souvent naturels. La digue est construite avec de la terre argileuse prélevée dans la cuvette et compactée souvent à teneur en eau naturelle avec des dames manuelles. Ces ouvrages sont réalisés, à base des notes de Johann Zimmermann "La construction de retenue d'eau au niveau du village", et connaissent dans l'ensemble des difficultés.

Ces difficultés pourront tenir de la conception, de l'exécution et du manque d'entretien de ces ouvrages. Elles portent atteinte à la crédibilité des réalisations du MCC.

Afin de fidéliser les nouveaux demandeurs, le MCC demande :

- un diagnostic donc un constat et une analyse des situations de ces réalisations. Un diagnostic que nous structurons de la façons suivante :

#### 1. Diagnostic de la conception des ouvrages

2. Diagnostic des modes et techniques de réalisation des ouvrages en relation avec les réalités sur le terrain.

3. Diagnostic de l'état physique des ouvrages, des problèmes de maintenance (entretien).

4. Diagnostic objectif-résultat

5. Des solutions aux problèmes du micro-barrage de Gaboandi par :

\* l'étude des caractéristiques du BV et de la cuvette,

\* l'étude hydrologique.

Le dimensionnement des différentes parties du petit barrage notamment le déversoir et la digue.

6. Les recommandations pour sa réfection.

- de dégager les limites d'application des techniques utilisées en gardant la possibilité de faire participer les populations dans la construction des ouvrages.

- de proposer un certain nombre d'améliorations techniquement viables, propres à résoudre les problèmes constatés au cours du diagnostic, tout en tenant compte de l'approche spécifique du développement rural préconisée par le MCC.

## **GENERALITES**

Notre zone est située dans la province de la GNAGNA au Burkina Faso.

Nous avons présenté en annexe A<sub>4</sub> la zone d'études et en Annexe A<sub>1</sub> la localisation des sites visités. Le relief de cette zone est peu marqué. Nous avons présenté, respectivement en annexe A<sub>3</sub> et la carte pédologique et géologique établie par l'ORSTOM en 1960 édition à l'échelle 1/200 000. En les consultant, on note que :

### **\* Le sol comporte**

- des vertisols lithomorphes modaux et sols à pseudogley structuré sur matériaux argileux d'origine diverse
- une association à sols peu évolués hydromorphes sur matériau gravillonnaire
- des sols halomorphes sur matériau argileux à argile-sableux et sols peu évolués hydromorphes sur matériau gravillonnaire
- dans les bas-fonds, on a une association à sols peu évolués hydromorphes sur matériaux alluviaux sablo-sableux à limoneux.

### **\* Le sous-sol comporte**

- gneiss, orthogneiss migmatites, granites migmatites, granites à biotite.

On note un climat contrasté à 2 saisons bien marquées, dont une saison de pluies de 3 à 4 mois et une longue saison sèche qui s'étale sur 8 à 9 mois.

A partir des relevés pluviométriques présentés en annexe A<sub>4</sub> on obtient une pluviométrie annuelle d'environ 563 mm en moyenne et d'averse décennale ( $P_{10}$ ) est estimée à 95 mm.

L'évaporation varie de 5 mm/j à 8 mm/j. Dans cette zone, la population est confrontée à un épineux problème d'eau pour l'abreuvement de son bétail. Ainsi, dans le souci d'apporter satisfaction à cette population, le MCC opte pour la création des retenues comme opportunité de stockage d'eau.

En revanche, le MCC attache une grande importance à "l'investissement humain", qui nécessite en conséquence des techniques adaptées aux possibilités de la main d'oeuvre disponible.

Les matériels de terrassement, de transport et de compactage maîtrisables par la population sont des brouettes, des pelles, des pioches, des charrettes et des dames manuelles.

Les retenues sont des petits barrages en terre homogènes de rétention d'eau de surface et se vident avant que le besoin des troupeaux atteigne son maximum.

La technologie des fondations consiste à décaper la terre végétale de 20 cm à l'emplacement de la digue et à réaliser une tranchée d'ancrage de 1 m environ et compactée avec le même matériau que la digue qui est réalisée avec la terre argileuse prélevée dans la cuvette et compactée souvent à teneur en eau naturelle.

Les talus, protégés dans le meilleur de cas par son assemblage manuel de blocs de la latérite ont une pente de 1/2. La crête sans dévers a une largeur de 1 m.

Les ouvrages destinés à stocker qu'une hauteur d'eau de 1 m sont munis d'ouvrages de sécurité qui évacuent les excédents des eaux de ruissellement. Ces ouvrages sont initialement tous des déversoirs souvent naturels, soit sur choix guidé par le coût jugé le moins disant. Faute d'aménagement du chenal d'évacuation les pentes suffisantes (supérieures à 2‰) pour entraîner l'érosion régressive sont généralement atteintes et en conséquence on assiste à une dégradation voire une destruction du coursier et du déversoir latéral.

## **A. DIAGNOSTIC**

### **A.1. Diagnostic de la conception des ouvrages :**

Les micro-barrages de retenue d'eau réalisés, sont conçus à base des notes de M. Johann Zimmerman, "la construction de retenue d'eau au niveau du village".

De ces notes, il ressort essentiellement les données suivantes :

- le choix du site s'effectue par simple observations visuelles,
- la charge d'eau, en amont doit être inférieure ou égale à 1m,
- les pentes de talus sont fixées à 1/2
- la largeur en crête est égale à 1m
- le décapage de la terre végétale est de 20 cm
- la tranchée d'étanchéité est de 1m
- la revanche prévue est égale à 1m
- la protection des talus est prévue avec des cailloux
- l'évacuateur de crues est toujours un déversoir latéral naturel.

Ainsi, on remarque que cette conception ignore les critères indispensables à la réussite des ouvrages, car aucune étude de faisabilité selon les critères topographiques, géologiques, géotechniques et hydrologiques n'a été abordée.

Et aussi, les constantes minimales ci-dessus fixées ne vérifient pas dans l'ensemble des règles d'arts :

- un décapage de 20 cm de la terre végétale est nettement insignifiant, en général l'épaisseur est au moins égale à 50 cm,
- une largeur en crête de 1m est aussi insignifiante, car cette valeur ne tient même pas compte, d'entretiens ultérieurs. Sa valeur minimale doit être de 2m. Cette crête, pourtant soumise à des agressions extérieures telles les effets de ruissellement des eaux de pluies, l'action éolienne ; ne connaît aucune mesure de protection. La crête ne présente pas une légère pente (2 à 3 %) vers l'amont, ce qui entraînera une stagnation des eaux de pluies et donc la dégradation de cette crête.
- Bien que les travaux soient effectués manuellement, une tranchée d'ancrage de 1m assurera difficilement d'étanchéité de l'ouvrage. Aucune attention a été portée sur d'éventuelles ; lentilles sableuses, argiles à canaux dans le lit majeur, cuirasses latéritiques sur les flancs de la vallée ; pourtant elles représentent les causes majeures de fuite sous le barrage de retenue d'eau.
- La protection des talus est très insuffisante, d'ailleurs ne prévoit même pas la couche de pose. Pourtant les talus sont soumis à des agressions telles que : les effets mécaniques des vagues, les effets de ruissellement et d'infiltration des eaux de pluies, le ressuyage des eaux de saturation et le passage de bêtes.
- Certes, l'évacuateur peut être un déversoir latéral mais si tel est le choix on ne doit pas ignorer la protection du chenal d'évacuation car l'érosion régressive se manifeste dès que la pente du chenal d'évacuation dépasse la pente d'arrachement des grains de sol qui est de 1 à 2 ‰.

+ la pente des talus fixée à 1/2 est rigoureusement admissible, car si le compactage est bien fait cette pente peut garantir la stabilité de ces ouvrages de moins de 3 m de hauteur.

+ la revanche de 1m est également appréciable car pour ces petites retenues d'eau, le laminage peut être négligeable.

## **A.2. Diagnostic des modes et technique des réalisations des ouvrages**

La réalisation des ouvrages est essentiellement à l'investissement humain, ainsi toute la population y participe (voir Annexe 5. Photo 1) les limites dimensionnelles des ouvrages sont fixées à l'aide des piquets en bois. La hauteur des ouvrages est appréciée à l'aide d'un niveau à eau.

La profondeur de la tranchée d'encrage varie de 0,4 à 1m. La zone d'emprunt toujours localisée dans la cuvette est souvent à moins de 5 m de la digue (ce constat est fait à Tamdori et Kamoanga). Les travaux sont souvent précipités ou inachevés (ce constat est fait à Gaboandi, Kankansi et Koku) ; les matériaux même à teneur en eau naturelle sont très souvent compactés avec de bois (ce constat est fait à Dunkuli, Tambuana, Tigili et Kottia (voir Annexe 5 photo(1)). La mobilisation totale de la population est intéressante, car elle permet un avancement rapide de travaux. Mais du fait que toutes les classes d'âge y participent au compactage, alors son énergie sera trop variée.

En conséquence il y aura des zones qui seront nettement mieux compactées que les autres. Ce qui risque d'entraîner l'apparition des stratifications des couches (ce que

nous avons observé à Gaboandi), une faible résistance des matériaux face aux agressions extérieures et donc une facilité des phénomènes érosifs (ce qui est pratiquement observés dans tous les sites, à Gaboandi les griffes d'érosion atteignent 5 à 10 cm de profondeur) et une forte éventualité de phénomène de renardage (voir Annexe A7), (ce qui est fort probablement le cas à Gaboandi, Annexe A6 photo).

L'établissement des limites dimensionnelles des ouvrages à l'aide des piquets et du niveau à eau est bénéfique car ces instruments sont très peu coûteux. Mais ils ne garantissent pas l'obtention des résultats appréciables (à Tamdori, non seulement la crête est sinusoïdale et aussi on a l'impression d'un arc et non une pente de talus).

- Une valeur de la tranchée d'ouvrage, qui descend jusqu'à 0,4m n'est simplement qu'un décapage de terre végétale. On ne peut pas parler de tranchée d'étanchéité. (ce constat est fait à KOTTIA).

- La zone d'emprunt localisée dans la cuvette a certes l'avantage d'augmenter la capacité de la retenue d'eau, mais on doit également saisir que cette pratique est dangereuse et pourrait au contraire accélérer la vidange de la retenue dès que les couches perméables sont atteintes. Les situer à moins de 5m de la digue ne peut qu'aggraver la situation, car en plus, la stabilité de l'ouvrage est compromise à cause d'éventuelles infiltrations très importantes sous l'ouvrage (c'est éventuellement la cause de la rupture des ouvrages observée à, Gaboandi, Kankansi, Kottia, Tambiga et Koku).

Si les travaux de la construction des micro-barrages de retenue d'eau sont précipités ou inachevés, on risque de valoriser mal les efforts rudes investis par l'homme. Ceci peut entraîner la submersion de la digue (ce constat est fait à Gaboandi, Kankansi,

Kottia et à Koku) et en conséquence une forte probabilité de sa rupture (ce qui peut être le cas dans ces sites cités).

Le compactage est très léger, il y a risque d'observer des stratifications des couches de remblai et aussi l'érosion des talus (ce qu'on a effectivement observé à Kottia, Tigili, Tambuana et Dunkuli).

### **A.3. Diagnostic de l'état physique des ouvrages**

L'état physique des ouvrages est en général alarmant. On observe des griffes d'érosion sur toutes les crêtes est aussi sur les talus. Le pied aval de la digue est également érodé partout où l'évacuateur des crues est latéral, on observe une érosion régressive.

Dans certains sites, la digue est cassée (l'observation est faite à Gaboandi et à Kottia). A Tambika, le déversoir latéral est détruit.

Les griffes d'érosion observées, sur les crêtes et talus sont dues aux agressions qui n'affrontent pas des mesures protectrices. A Gaboandi par exemple, on note comme protection des talus, une légère (car comporte des blocs de la latérite de moins de 5 cm de diamètre) et partielle protection du talus en amont. Le pied aval de la digue est érodé, ceci est dû à l'absence de fossé de pied qui suivant, une légère pente, ruisselle les eaux de ruissellement et d'infiltration vers le thalweg. L'érosion régressive est tout à fait logique, car dès que la pente du chenal d'évacuation dépasse la pente d'arrachement des grains de sel, ce phénomène se manifeste. A Gaboandi cette érosion régressive fait en certains endroits près de 50 cm de profondeur.

La rupture de la digue est normale, car elle est très souvent submergée, mal compactée et non protégée. La destruction du déversoir latéral est dû essentiellement aux érosions régressives.

#### **A.4. Diagnostic objectif et résultat**

L'objectif principal des micro-barrages de retenue d'eau réalisés par le MCC, est l'alimentation en eau du bétail. Ces retenues à faible charge (limité à 1 m de hauteur d'eau) sont en plus situées dans une zone à forte évaporation qui varie de 5 mm/j à 8 mm/j. Ainsi ces retenues s'assèchent avant que le besoin du bétail atteigne son maximum.

D'autre part, on voit que partout où les retenues d'eau ont plus ou moins réussi, la population manifeste le désir d'augmenter la longueur de la digue afin d'espérer un stockage d'eau plus important (c'est le cas observé à Kohoura et Benkoaka).

Aussi, afin d'apporter une solution meilleure à l'épineux problème d'eau, il serait plus intéressant d'envisager la construction de retenues d'eau de dimensions plus importantes qui vérifient les règles d'art.

On cherchera des sites bien placés géographiquement afin de construire des boullias ou des digues déversantes dont le schéma type est présenté en Annexe A<sub>3</sub>.

On veillera aux éventuels conflits entre les paysans afin que l'exploitation de ces retenues d'eau soit plus bénéfique.

**Remarque** : Nous avons établi en Annexe A<sub>9</sub>, les indications générales des ouvrages réalisés par le MCC.

\* Sur l'ensemble des ouvrages visités, nous avons retenu 3 ouvrages représentatifs pour lesquels nous avons donné en détails les renseignements sur la digue et le déversoir. En conséquence, au besoin on consultera ces annexes A<sub>10</sub>, A<sub>11</sub> et A<sub>12</sub> afin de déduire des problèmes semblables les solutions qui conviennent.

**B. RECOMMANDATIONS :****B.1. Zone d'emprunt :****B.1.1. Localisation :**

En tenant compte des conséquences néfastes signalées dans le diagnostic on peut, en toute prudence continuer à prélever les matériaux dans la cuvette.

Mais il est plus prudent de rechercher les zones d'emprunt en aval de la retenue.

Une fois les zones d'emprunt localisées, il reste à choisir les matériaux apte à la construction des ouvrages.

**B.1.2. Choix de matériaux :**

- les terres qui contiennent plus de 6 % de matières organiques sont à éliminer,
- on évitera les sols trop argileux (plus de 30 % d'argile) qui peuvent donner naissance à des fissures,
- on choisira :
  - les argiles peu plastiques, qui sont jugées suffisantes tant de point de vue étanchéité que de la stabilité du barrage,
  - les sols à granulométrie favorable, c'est-à-dire qui donnent une répartition uniforme des particules de différentes dimensions,
  - pour un micro-barrage homogène, on peut choisir le mélange 45 % (gravier + cailloux) + 55 % (sable + silt + argile),

Une fois les matériaux suffisants sélectionnés on peut procéder à la construction de l'ouvrage.

## **B.2. Construction de l'ouvrage :**

### **B.2.1. Décapage de la terre végétale**

Il s'effectuera sur une profondeur d'au moins 50 cm. Si la couche est latérique, on doit décaper toute la zone en tenant compte que le code de travail fixe la descente des ouvriers à 1,5m maximum.

### **B.2.2. La tranchée d'ouvrage :**

Elle doit être aussi profonde que possible, pourvue qu'elle débouche sur une couche imperméable.

A titre indicatif, si  $I$  est l'infiltration du sol alors :

le sol est imperméable (si  $I < 0,85 \text{ cm/j}$ )

le sol est semi-perméable (si  $0,85 \text{ cm/j} < I < 8,85 \text{ cm/j}$ )

le sol est perméable (si  $I > 85 \text{ cm/j}$ )

L'étanchéité des fondations des sols ayant une perméabilité inférieure à  $5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$  constitue une fondation acceptable. Nous avons présenté en annexe A18, une méthode d'estimation de la perméabilité "In situ".

### **B.2.3. Le Compactage**

On doit compacter au moins avec des dames manuelles (de type celles utilisées à Kottia Annexe 5 photo 3). Les couches à compacter doivent être minces (d'épaisseur inférieure à 10 cm) et on évitera au maximum le compactage à teneur en eau naturelle par l'utilisation des puits souvent peu profonds (10 à 12 m en avril).

### **B.2.4. La hauteur de la digue**

Sous réserve d'un bon compactage et d'une bonne protection, la hauteur de la digue au dessus du terrain naturel peut atteindre 3m (soit 2 à 2,9m de charge d'eau);

### **B.2.5. La largeur en crête**

Elle sera de 3 m. (voir annexe A15).

### **B.2.6. Les pentes de talus**

En effectuant un bon compactage, on prend :

la pente du talus amont = 1/2,5

la pente du talus aval = 1/2

qui sont suffisantes pour assurer la stabilité de l'ouvrage.

### **B.2.7. Déversement frontal des eaux**

A sécurité égale, l'évacuateur frontal peut être plus simple et moins cher que l'évacuateur latéral. On peut donc bel et bien ne pas se borner uniquement au déversoir latéral. En choisissant le déversoir frontal, on déterminera les caractéristiques (longueur du seuil ; la longueur, la largeur et la profondeur du bassin de dissipation) en s'inspirant aux calculs effectués en C (cas du site de Gaboandi);

## **B.2.8. Déversement latéral des eaux**

### **B.2.8.1. Cas du seuil naturel :**

On utilisera les formules classiques de débit dans un canal et vérifier que le chenal est correctement dimensionné.

### **B.2.8.2. Cas du seuil construit :**

Les caractéristiques hydrauliques présentent les mêmes principes de conception que le cas du déversoir central.

### **B.2.8.3. Chenal d'évacuation :**

Sous peine de voir se développer une érosion régressive, ou réaliser un chenal d'évacuation, sa protection est étudiée dans le paragraphe "Protections".

L'homme, en construisant son ouvrage modifie son environnement et en réponse il doit se préparer à la réaction inverse. Afin d'assurer la fiabilité de sa réalisation, il doit prendre des mesures protectrices.

## **B.2.9. Les protections**

Immédiatement après l'achèvement du remblai compacté, l'ouvrage est soumis inévitablement aux agressions extérieures. Afin d'assurer sa pérennité des mesures protectrices sont indispensables.

### **B.2.9.1. Protection du talus amont**

Les ouvrages étant des petits barrages, la protection sera par blocs assemblés manuellement dont les interstices seront comblés par des gravillons.

On cherchera au mieux des blocs de matériaux durs, non fragiles et non altérables dans le temps en présence de l'eau. Exemple : on cherchera des blocs, de basaltes ou de granites sains. Dans le cas échéant, on peut placer des blocs de la latérite. Toutefois, pour empêcher, principalement, l'entraînement du matériau de remblai par phénomène de pompage des vagues, on placera entre les blocs de protection et le remblai un filtre qui constitue une couche de pose.

### **B.2.9.2. Couche de pose**

Elle sera constituée de graves latéritiques de 10 cm d'épaisseur au minimum.

### **B.2.9.3. Protection du talus aval**

La protection du talus aval, peut être assurée par :

- un enherbement, bien qu'elle ne soit la solution idéale compte tenue de la pluviométrie annuelle moyenne  $< 1000$  mm ; mais à défaut elle consiste à enherber avec *andropogon gayanus* par exemple, après une mise de terre végétale d'au moins 20 cm et avant la saison de pluies, sur le parement aval.

- un recouvrement de graves latéritiques de 20 cm d'épaisseur au minimum.

#### **B.2.9.4. Protection de la crête**

La crête doit être réalisée avec une légère pente de 2% à 3% vers l'amont. Sa protection peut être obtenue en réalisant une murette de protection au moment du parement aval, réalisée en maçonnerie simple et ancrée sur 20 à 30 cm ; et en compactant des graves latéritiques de 20 cm d'épaisseur au minimum.

#### **B.2.9.5. Protection des chenaux d'évacuation**

Cette protection consiste à prévoir une diguette qui dérivera l'eau à la sortie du déversoir. Elle sera construite en terre et bien revêtue. A sa suite on réalisera un coursier qui sera protégé par un enrochement.

Au besoin, donc si la pente du chenal d'évacuation est supérieure à 1 %, on disposera de gradins en gabions qui permettront de remmener la pente à une pente inférieure ou égale à 1 ‰.

#### **B.2.9.6. Autres protections**

- Pour éviter la stagnation d'eau au pied du talus aval de la digue, on doit prévoir un fossé de pied, qui sera comblé par des matériaux grossiers avec une pente suffisante pour ramener les eaux d'infiltration vers le thalweg.

### **B.2.10. Entretiens**

L'entretien d'un ouvrage est très bénéfique voire indispensable. Il permet d'économiser sur les réfections ultérieures. On doit en conséquence, assurer une surveillance continue afin de limiter l'amplification d'éventuelles<sup>des</sup> anomalies.

Comme entretiens, on peut citer entre autres :

- le débroussaillage d'arbres ou arbustes près du talus car leur racines peuvent créer des zones de circulation d'eau privilégiées,
- le remplissage d'éventuelles ravines dès leurs apparitions. Bien que ces indications d'ordre technique, améliorent nos réalisations, la sensibilisation est aussi un paramètre important pouvant rendre plus bénéfiques ces dernières.

### **B.2.11. Sensibilisation**

Afin de mieux rentabiliser les efforts fournis, certaines mesures doivent être prises en compte ; ainsi :

- on doit assurer un bon fonctionnement des travaux, qui doivent être achevés avant la saison de pluies, car un travail de barrage de retenue d'eau, inachevé ou précipité peut rendre l'effort vain,
- on doit développer des mesures sanitaires, car bien que l'eau soit "source de vie", elle est aussi la cause de plusieurs maladies. En ce sens que, l'eau peut être le milieu où se développe et se reproduit l'agent pathogène qui se transmet à l'homme par voie digestive, transcutanée. C'est le cas des vecteurs de certaines maladies telles que : le choléra, la gale, la lèpre, le paludisme.

En conséquence, on doit rendre la population consciente des risques, en :

\* L'évitant l'ingestion directe de l'eau et en lui préférant l'eau issue des puits, dont la construction à l'aval serait plus intéressante par effet de recharge de la nappe.

\* Nettoyant, avant sa mise en eau, la retenue de la végétation présente afin que certaines larves d'insectes ne puissent se reproduire en présence de ce support.

\* Menant la lutte biologique par élevage de poissons ou de canards qui se nourrissent des larves de moustiques ou de mollusques.

### **B.3. Orientation**

Les réalisations entreprises par le MCC n'apportaient qu'une solution très partielle au problème primordial de l'alimentation en eau du bétail.

D'autre part, partout où les réalisations ont plus ou moins réussi, les paysans manifestent le désir de stocker beaucoup plus d'eau.

En conséquence, il serait plus judicieux que le MCC oriente sa politique vers la création des bouls ou des digues déversantes qui répondront mieux qu'un ensemble de micro-barrages vite vidés et réalisés de façon trop précaire.

En annexe A13, nous avons donné une idée sur les coûts des ouvrages souhaitables.

## **C. MICRO-BARRAGE DE GABOANDI**

La construction du micro-barrage de Gaboandi connaît deux étapes. Une première étape qui consistait à la réalisation de la fondation en 1971, et une seconde étape qui reprenait la construction à partir de 1990. Cette seconde étape se caractérisait par un travail précipité et même inachevé.

## **I. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU BASSIN VERSANT ET DE LA CUVETTE**

### **I.1. Bassin versant**

#### **I.1.1. Superficie :**

##### **a) Méthode 1 :**

. Une première évaluation de la superficie du bassin versant a été déjà faite par le MCC. La méthode consistait à parcourir les contours du bassin versant avec une moto et à estimer cette section en une section circulaire. Le résultat trouvé : 16 km<sup>2</sup>..

. Par cette même méthode, nous trouvons  $s = 19 \text{ km}^2$ .

##### **b) Méthode 2 :**

Pour effectuer les mesures nous disposons :

- d'une carte topographique, établie par IGN-Paris, à 1/200 000 (Boulsa),

- de deux photographies aériennes, établies par IGN 79005 HV AVR-82  
Boulsa, à 1/500 000 Ligne 02.

Principe :

Nous avons positionné sur la carte et les photographies aériennes, le lieu d'implantation du micro-barrage. Ensuite, nous repérons le réseau hydraugraphique en amont du lieu d'implantation et nous traçons la ligne de partage des eaux qui délimite le bassin versant en fonction du sens d'écoulement de l'eau. Afin nous affinons le tracé par un parcours sur le terrain. En planimétrant la section, nous trouvons :  $S = 21 \text{ km}^2$ .

La méthode 1 étant très imprécise, nous maintiendrons dans la suite les résultats de la 2ième méthode.

### I.1.2. Les pentes :

. La pente longitudinale a été estimée à l'aide de la carte topographique de Boulsa.

. La pente transversale présente une moyenne des pentes sur différentes sections perpendiculaires au Thalwege. Ces pentes sont estimées à :

    pente longitudinale : 1,5 %

    pente transversale :  $\approx 3 \%$

### I.1.3. Remarque :

Au vue de la visite sur le terrain, nous estimons que:

le bassin est relativement imperméable et le réseau présente un caractère radial.

### **I.2. Caractéristiques physiques de la cuvette**

Après avoir fixé la charge d'eau à 1 m, nous avons approximativement délimité la section de la cuvette. Par planimétrie cette section est sensiblement égale à 4,5 ha.

La pente longitudinale est  $\approx 1,5 \%$

La pente transversale est  $\approx 2,5 \%$

## **II. DETERMINATION DE LA CRUE DECENNALE**

Soient  $S$  et  $P_{\text{moy}}$  respectivement la superficie du bassin versant et la pluviométrie moyenne de Bogandé. Nous avons  $S < 120 \text{ km}^2$  et  $500 \text{ mm} < P_{\text{moy}} < 1000 \text{ mm}$ , donc nous pouvons estimer la crue décennale par la méthode ORSTOM.

Nota : démarche utilisée est celle présentée dans le livre « la maîtrise de crues dans le bas-fond »

### **II.1. Estimation de la hauteur de l'averse décennale ponctuelle**

Nous utilisons la carte de précipitations du BURKINA FASO, présentée en annexe A20.

On trouve  $P_{10} \approx 95 \text{ mm}$ .

### **II.2. Coefficient d'abattement**

A partir des diagrammes présentés en A20.2. On obtient  $K : 0,82$ . Soit une précipitation moyenne  $\bar{P} = 95 \times 0,82 = 80 \text{ mm}$ .

### **II.3. Coefficient de ruissellement**

#### **II.3.1. Classification du bassin**

Au vue de la visite surle terrain, le bassin est relativement imperméable. Il est donc de classe  $P_2$ . Suivant les pentes, on a un bassin de classe  $R_4$  car, la pente longitudinale est comprise entre 1 et 2 % et la pente transversale est supérieure à 2 %.

#### **II.3.2. Coefficient de ruissellement :**

A partir des diagrammes présentés en annexe  $A_{20,3}$ , on obtient le coefficient de ruissellement  $K_r = 32 \%$ .

### **II.4. Evaluation du débit moyen de ruissellement**

#### **II.4.1. Evaluation du temps de montée**

A partir des diagrammes présentés en annexe  $A_{20,4}$ , on obtient  $T_m = 1 \text{ h } 30'$ .

#### **II.4.2. Evaluation du temps de base**

A partir des diagrammes présentés en annexe  $A_{20,5}$ , on obtient  $T_6 = 7\text{h}$ .

#### **II.4.3. Evaluation de $\alpha$**

En régime sahélien on :

<b>S (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b><math>\alpha</math></b>	<b>2,6</b>	<b>2,6</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>	<b>3,10</b>

La surface du bassin versant étant égale à  $21 \text{ km}^2$ , par interpolation on trouve  $\alpha = 2,53$ .

### II.5. Calculs :

\* La lame d'eau ruisselée  $= \bar{P} \times K_r = 80 \times 0,32 = 25,6 \text{ mm}$

\* Le volume ruisselé est =

lame d'eau ruisselée  $\times S \times 10^3 = 25,6 \times 2 \times 10^3 = 537600 \text{ m}^3$ .

$$\text{dont } M = \frac{\text{Volume ruisselé}}{\text{temps de base}} = \frac{537600}{7 \times 3600} = 21,3 \text{ m}^3 / S$$

d'autre part  $\alpha = \frac{Q_{\max}}{M} = 2,53$  donc on a

$$Q_{\max} = 21,3 \times 2,53 = 54 \text{ m}^3 / S$$

Le bassin présentant un caractère radiale, on peut majorer le débit de crue décennal de 10 %.

Soit  $Q_{10} = (1 + 10 \%) \times 54 \approx 59,4 \text{ m}^3/S$ .

### III. CALCUL DE LA LONGUEUR DU DEVERSOIR : (central ou latéral construit)

#### III.1. Choix du type d'ouvrage :

Tout en veillant au strict respect des règles de granulométrie (dimension supérieure à 1,5 fois la maille), nous choisissons un évacuateur de crues, en gradins de gabions. Cette structure est bien adaptée aux techniques des petits barrages.

### III.2. Dimensionnement :

#### III.2.1. Coefficient de débit

La détermination de ce coefficient serait approximative. Ainsi par référence aux valeurs données dans le tableau ci-dessous, qui résulte d'une étude complète réalisée pour les digues déversantes de faible hauteur (de l'ordre de 4 m), de pente de talus amont et aval égale à  $\frac{1}{2}$  et de largeur en crête égale à 4m ; et en prenant la charge au dessus du seuil égal à 0,5 m nous prenons la valeur de ce coefficient égale à 0,36.

Charge au dessus du seuil (m)	Coef. du débit
0,2	0,341
0,5	0,351
1,0	0,366
2,0	0,391

(référence les ouvrages en gabions page 55).

#### III.2.2. Calcul de la longueur du déversoir :

Pour calculer cette valeur, nous appliquons la méthode E.I.E.R. - CIEH ; tout en tenant compte des ouvrages qui sont des micro-barrages ; en conséquence nous calculerons la valeur de  $L_1$  sans tenir compte de l'effet de laminage.

Pour ces petits ouvrages, nous pouvons considérer la crue du projet égale à la crue décennale. Donc  $Q_{cn} = 59,4 \text{ m}^3/\text{S}$ .

$$\text{D'autre part, on a : } Q_{cn} = m l_1 \sqrt{2g} h^{3/2}$$

avec  $m$  = coefficient de débit

et  $h$  = charge sur le seuil en m

$$\text{soit } L_1 = \frac{Q_{cn}}{m \times \sqrt{2g} h^{3/2}}$$

Application numérique :

$$L_1 = \frac{59,4}{0,36 \sqrt{2 \times 9,81} 0,5^{3/2}} \approx 105 \text{ m}$$

$$\text{si } X_0 = \frac{m^2 g L_1^2 Q_{cn} t_m^3}{S^3}$$

avec S = surface du plan d'eau normale

$$\text{on a } X_0 = \frac{0,36 \times 0,36 \times 9,81 \times 105 \times 105 \times 59,4 \times (1,5 \times 3600)^3}{(12 \times 10^4)^3}$$

$$\text{Soit } X_0 = 75,87 \Rightarrow \log_{10} X_0 \approx 1,9$$

A partir de la courbe présentée en annexe A21, on lit le rapport  $\frac{Q_{en}}{Q_{cn}} \approx 88 \%$

$$\text{Soit la longueur du déversoir} = L_1 \times \frac{Q_{en}}{Q_{cn}} \times \frac{1}{100} \approx 92 \text{ m.}$$

**Nota :** Cette valeur reste la même, selon qu'on choisisse le déversoir central ou le déversoir latéral.

#### **IV. DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE DISSIPATION**

- Longueur du bassin de dissipation :

Nous prenons cette longueur égale à celle du déversoir.

- Largeur du bassin de dissipation.

La largeur du bassin de dissipation varie de 1 à 2 fois la hauteur de chute.

Nous prenons cette valeur égale à deux fois la hauteur de chute. Soit 2m environ.

- La profondeur de la fosse de dissipation.

Soit D, cette profondeur. On a  $D = L'/6 - Y_n$

Où  $Y_n$  = profondeur normale d'écoulement à l'aval du barrage

$L'$  = longueur du bassin de dissipation.

Nous déterminons la valeur de  $Y_n$  par itérations.

$$Y_n = \left( \frac{Q}{K_s \sqrt{I}} \right)^{3/5} \frac{(b + 2y\sqrt{1+m^2})^{2/5}}{b + my}$$

On a eu maçonnerie ordinaire, m qui varie de 0 à ¼ et  $K_s = 70$  (cours de HSL DE BOISSEZON)

Nous prenons  $m = ¼$  et  $K_s = 70$

b présente la valeur de longueur du bassin de dissipation et Q le débit transité.

On obtient par itération  $Y_n = 16$  cm.

Nous déterminons la valeur de la profondeur du bassin de dissipation en utilisant l'annexe A<sub>23</sub>, qui détermine la valeur de l'enfoncement de la fosse de dissipation en fonction de la profondeur du lit aval et de la hauteur de la lame d'eau au-dessus du seuil.

Avec :  $y_n/K_0 = 0,16/1 = 0,16$

$h/H_0 = 0,5/1 = 0,5$

on lit  $D/H_0 = 0,65$  soit  $D = 0,65 \times 1 = 65$  cm.

## V - DIMENSION DU CHENAL SI LE DEVERSOIR EST NATUREL :

Hypothèse : Nous disposerons d'une protection de chenal d'évacuation avec des gros cailloux d'au moins 150 mm, ce qui donne une vitesse d'eau d'au moins égale à 3,5 m/s (cours HSL page 13 DEBOISSEZON). En section hydrauliquement favorable, on a pour U imposée et connaissant Q et m la valeur de y (tirant d'eau) et b (la base du chenal)

$$y = \left( \frac{Q}{U(2\sqrt{1+m^2} - m)} \right)^{1/2} \quad \text{et } b = 2y(\sqrt{1+m^2} - m)$$

(Cours théorique HSL MARR Lamine).

Nous imposons les valeurs suivantes :

$$u = 3,5 \text{ m/s} \quad \text{et} \quad m = 1/2$$

$$\text{Soit } y = 3,7 \text{ m} \text{ et } b = 4,6 \text{ m}$$

Remarque : la valeur de y me semble assez élevé en conséquence on ne doit pas prévoir un déversoir latéral naturel au site de Gaboandi.

## VI - DISPOSITION PRATIQUE DE CONSTRUCTION DU DEVERSOIR

Nombre de gabions/m de l'évacuateur :

\* Pour qu'un barrage en gabions résiste lorsque l'eau est accumulée devant lui, il faut que son poids soit au moins trois fois supérieur à la poussée maximale que l'eau peut exercer sur lui.

Calcul de la poussée de l'eau.

Si  $h_b$  = hauteur du barrage

$h_e$  = hauteur d'eau maximum y compris la lame déversante

On a la poussée maximum =  $\frac{h_e \times h_b}{2}$  (tonne/m) à son point le plus bas.

Donc pour éviter que cette poussée n'emporte le barrage, il faut que son poids soit :

$$\frac{h_e \times h_b}{2} \times 3$$

Soit pour l'exemple du site de Gaboandi :

$$h_e = 1,5 \text{ m} \quad h_b = 2,1 \text{ m}$$

Hypothèse : Le poids moyen d'un gabion  $\approx 1,2$  t alors :

$$\text{- la poussée} = \frac{1,5 \times 2,1}{2} = 1,57 \text{ t/m}$$

$$\text{- poids total} = 1,57 \times 3 = 4,71 \text{ t}$$

$$\text{soit nombre de gabions} : 4,71/1,2 = 3,92$$

On prend 4 gabions/m du déversoir. Pour des raisons <sup>pratiques</sup> simplistes nous considérons 4,5 gabions/m du déversoir.

\* Extrait de eau et terres en fuite (voir bibliographie 1).

Dimension des murs bajoyers;

On prendra : longueur : 2 x longueur d'un gabion

$$\text{hauteur au-dessus du sol} : 1 + 0,5 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

## **VII. RECOMMANDATIONS POUR SA REFECTION :**

- On doit tailler les parements amont et aval jusqu'à l'obtention des pentes amont et aval égales à 1/1,

- On recharge la digue avec de la terre argileuse, prélevée dans la partie aval de la digue, et compactée avec des dames manuelles, .

. hauteur de la digue = 2,1 m

. largeur de la digue = 3 m

. la pente du talus amont = 1/2,5

. la pente du talus aval = 1/2

. déversement des eaux :

+ frontal ou latéral (détail voir B.III)

. protection du talus amont :

+ des gros blocs de la latérite d'au moins 30 cm de diamètre et dont les interstices seront comblés par des gravillons,

+ couche de pose = graves latéritiques de 10 cm d'épaisseur.

. protection du talus aval :

+ graves latéritiques de 20 cm d'épaisseur.

. protection de la crête

+ graves latéritiques de 20 cm d'épaisseur.

Si on opte pour la construction d'un déversoir latéral on doit rabattre la pente du chenal à 1<sup>0</sup>/100 :

- On doit construire un fossé de pied qui sera comblé par des matériaux grossiers avec une pente de 2 %.

- On doit entretenir permanemment l'ouvrage.

## CONCLUSION

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que la réussite des ouvrages du Génie civil et en particulier des barrages est intimement liée à une bonne conception, une bonne réalisation et un bon suivi de ces derniers.

Leur réalisation, faite de façon précaire engendrera sans surprise des perturbations, voire la destruction de ces ouvrages ; ce qui ressort de façon nette, après notre diagnostic au niveau des micro-barrages réalisés par le MCC dans la province de la GNAGNA.

Afin d'y remédier des propositions ont été faites ; allant de la limite de la technique utilisée par le MCC (hauteur de la digue au dessus du sol qui sera inférieure ou égale à 3m) jusqu'à la solution beaucoup plus significative, au vue des conditions climatiques (forte évaporation) et du manque d'eau dans les ouvrages au moment où elle est rare ; qui vise la construction des ouvrages de dimensions plus importantes (digues déversantes ou boulis).

Pour toute future réalisation, la consultation entière de ce document et au besoin d'une personne spécialisée dans ce domaine, améliorera davantage l'attente des paysans qui souhaitent une solution totale de l'épineux problème de l'alimentation en eau de leur bétail.

**BIBLIOGRAPHIE**

- 1 - « La construction de retenue d'eau au niveau du village »  
Johann Zimmermann
- 2 - Cours barrages (E.I.E.R.)  
. Jean Maurice Duraud  
. L. Compaoré
- 3 - Cours hydraulique à surface libre (E.I.E.R.) DE BOISSEZON
- 4 - Design of small dams-US Bureau of reclamation (Washington 1974)
- 5 - Eau et terres en fuite  
. Jean Louis Chleq  
. Hugues Dupriez
- 6 - La Maîtrise des crues dans les bas-fonds  
Petits et micro-barrages en Afrique de l'Ouest  
Sylvain Berton, Février 1982
- 7 - Ouvrages en gabion CEMAGREF  
Techniques rurale en Afrique
- 8 - Petits barrages en terre au Burkina Faso  
Bilan et analyse critique par MM. d'AT de ST FOULC, O. GICARD, H. PIATON
- 9 - Rapport d'expertise sur neuf barrages dans la province de Ganzourgou  
. Cellule de formation professionnelle à l'ingénierie, Juin 1992, N°9217.
- 10 - Techniques des barrages en aménagement rural  
Ministère de l'Agriculture - Direction de l'aménagement - groupe de travail  
permanent pour les barrages en aménagement rural.

**ANNEXES**

## LISTE DES ANNEXES

- Annexe A1 : Localisation des sites étudiés
- Annexe A3 : Carte géologique
- Annexe A4 : Relevés pluviométriques
- Annexe A5 : Les photos : 3 dames manuelles Kottia  
: 2 compactage avec de bois  
: 1 participation massive de la population
- Annexe A6 : Photo (1) trou (peut être renard)
- Annexe A7 : Processus de renardage
- Annexe A8 : Schéma d'une digue déversante
- Annexe A9 : Les indications générales des ouvrages réalisés
- Annexe A10 : Fiche de visite du site de Tambika
- Annexe A11 : Fiche de visite du site de Kottia
- Annexe A12 : Fiche de visite du site de Tamdori
- Annexe A13 : Bordereaux de prix et coût des ouvrages
- Annexe A14 : Calcul de la revanche
- Annexe A15 : Calcul de la largeur en crête
- Annexe A16 : Protection du chenal d'évacuation
- Annexe A17 : Schéma type de déversoir à adopter Kottia
- Annexe A18 : Estimation de la perméabilité "In situ"
- Annexe A19 : Courbes  
A19.1 : Profil en long de la crête  
A19.2 : Profil en large de la crête  
A19.3 : Données du site de Gaboandi
- Annexe A20 : Extrait de maîtrise de crue dans le bas-fond  
A20.1 : Isohyètes des pluies journalières de fréquence décennale  
A20.2 : Le graphic de Vuillaume  
A20.3 : Coefficient de ruissellement  
A20.4 : Temps de montée en fonction de R et S  
A20.5 : Temps de base en fonction de R et S

- Annexe A21 : Coefficient de laminage  
(extrait du cours de barrage de M. Jean Maurice Durand)**
- Annexe A22 : Détermination de la longueur du bassin de dissipation**
- Annexe A23 : Détermination de la profondeur du bassin de dissipation**
- Annexe A24 : Schéma type d'ouvrage de Gaboandi**

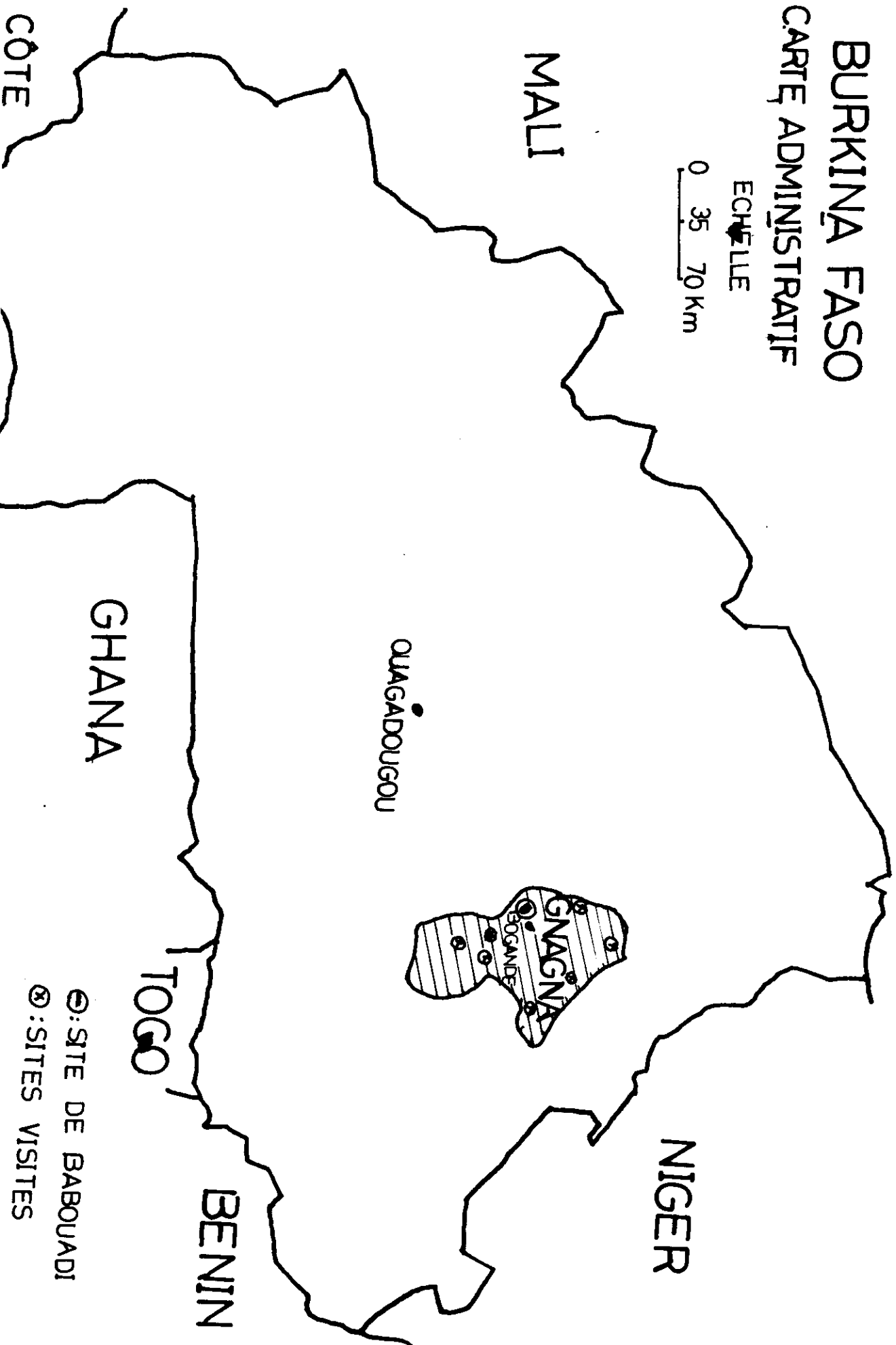
# BURKINA FASO CARTE ADMINISTRATIVE

ECHELLE

0 35 70 km



ANNEXE: A1



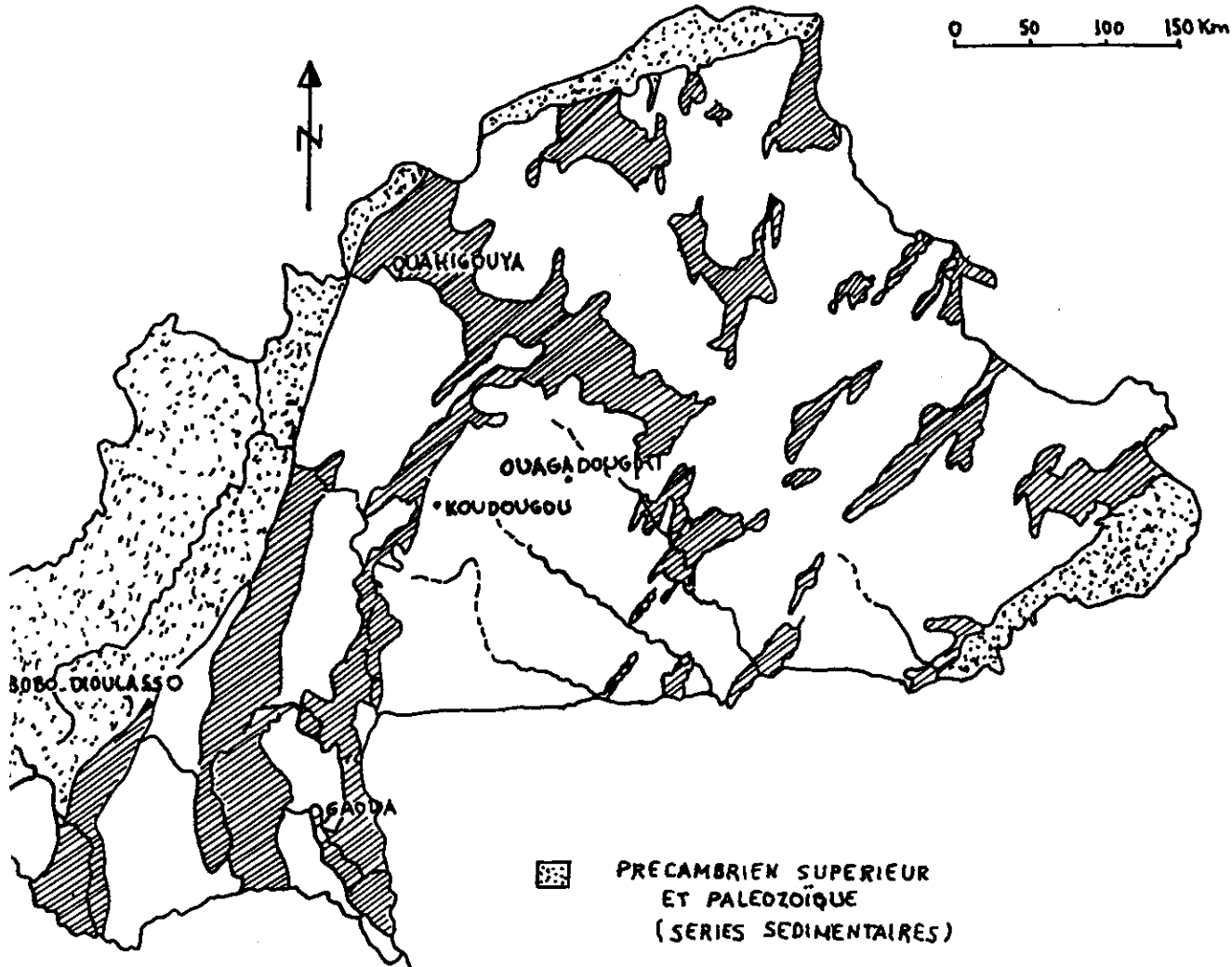
- ⊙: SITE DE BABOUADI
- ⊗: SITES VISITES

# CARTE GEOLOGIQUE DU BURKINA

## FASO

ECHELLE :

0 50 100 150 Km



■ PRECAMBRIEN SUPERIEUR  
ET PALEOZOIQUE  
(SERIES SEDIMENTAIRES)

▨ PRECAMBRIEN MOYEN (P.C.C)  
BIRIMIEN

□ PRECAMBRIEN INFÉRIEUR (P.C.D)  
ANTE BIRIMIEN

ANNEXE: A3

**Annexe A4 : Relevés pluviométriques de BOGANDE : \*\***

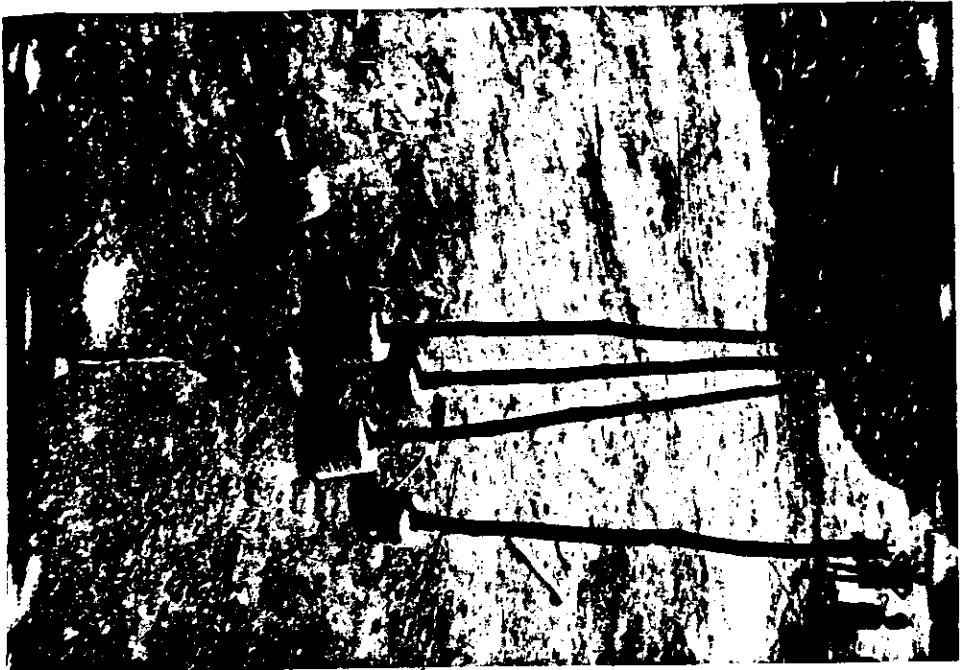
Années	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978*	1979
Pluviométries	758,5	619,2	415,2	440,6	652	517,9	607,7	637,7	656,7	571,7	616,2	660,7

1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
353,7	479,8	581,9	294,3	382,2	475	620,7	615,3	604,6	491,8	590,1	606,5	621,3	506,9	815,3

\* On ne dispose pas des données pluviométriques de 1978, ainsi nous l'avons supposé comme moyenne de celles de, 1977 et 1979.

\*\* Sources : direction nationale de la météorologie

ANNEXE: A5.1



3



2

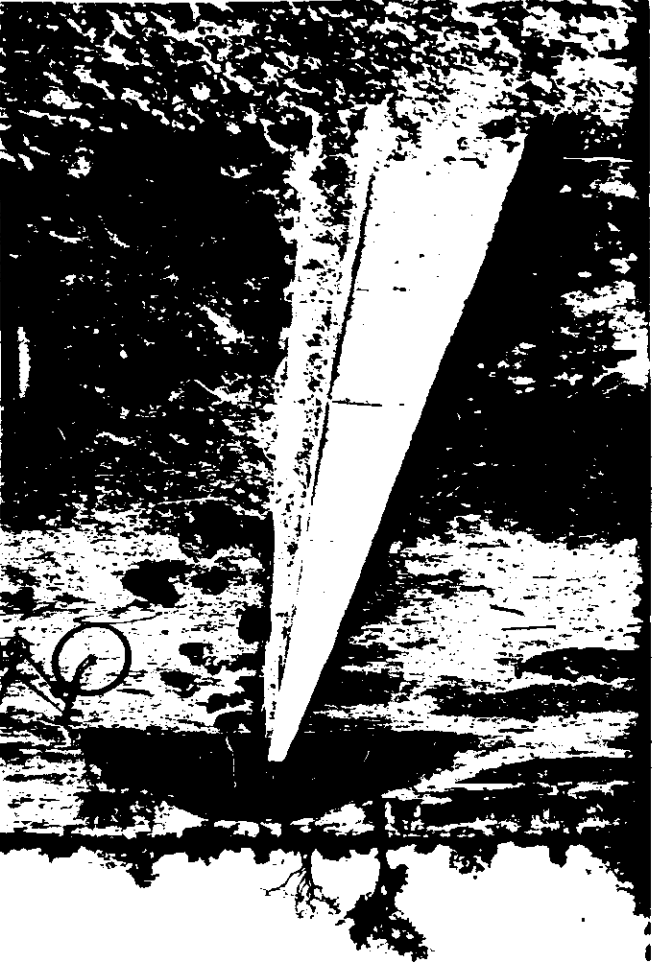
① PARTICIPATION ACTIVE DE LA POPULATION

② COMPACTAGE TYPE FREQUEMMENT OBSERVE

③ DAMES MANUELLES RECOMMANDES

1





1

① DEVERSOIR CENTRAL OBSERVE

② PROTECTION DU TALUS AMONT

③ RELEVÉ DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES



2



3

OBSERVATIONS FAITES AU SITE DE GAIBOANDI: A6



②

② CARACTERE EROSIF DE LA DIGUE

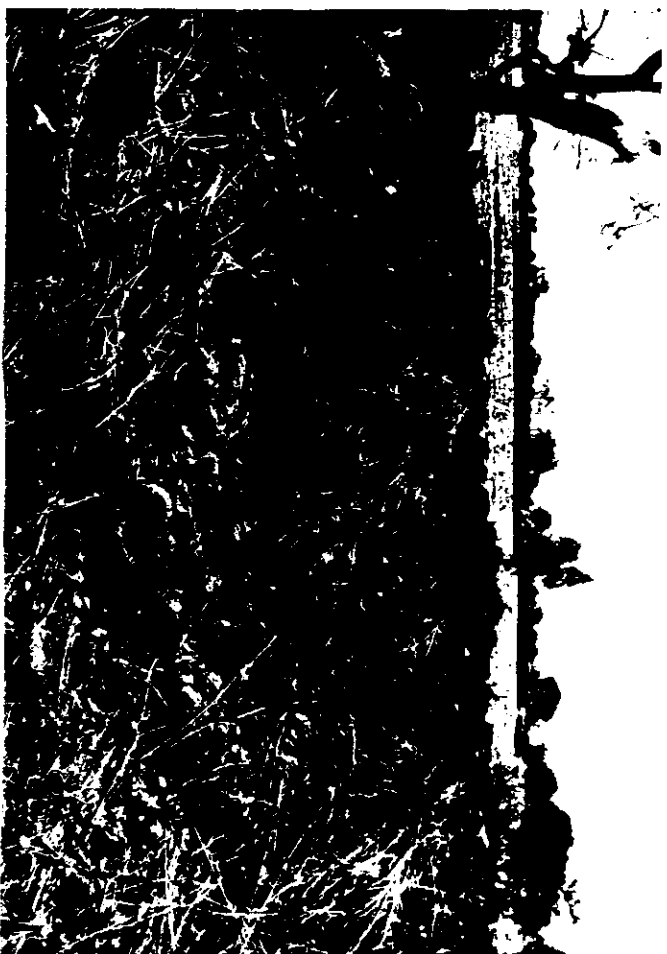
① TROU A TRAVERS LA DIGUE

③ PROTECTION EN ENROCHEMENT DE LA DIGUE



①

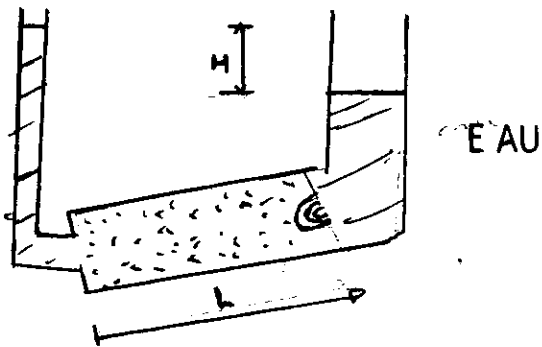
③



ANNEXE A 7

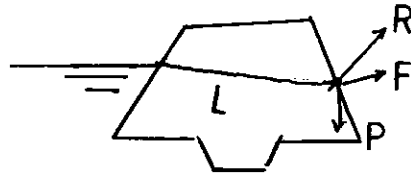
Processus de renardage

principe de  
la boullance



$\text{⌚} \Rightarrow$  DEPART DES MATERIAUX FINS

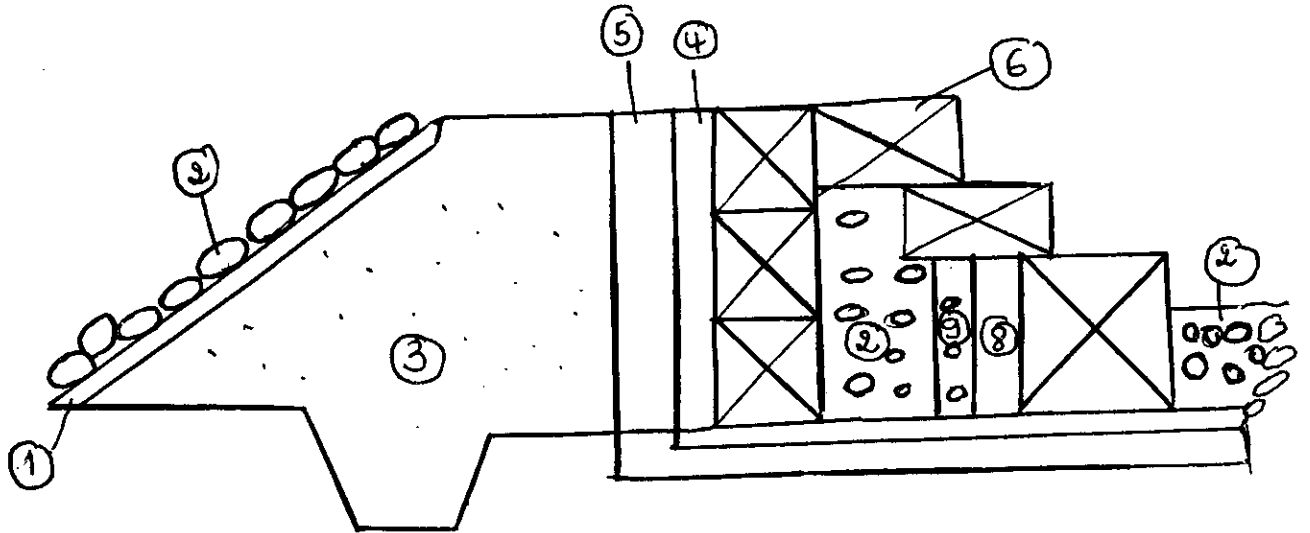
SI  $|F| > |R + P|$  ALORS DEPART DES  
DONC  $L \searrow$  ET  $H/L \nearrow$  SOIT  $I \nearrow$   
DONC  $F \nearrow \Rightarrow$  NOUVEAU DEPART



Constat : Les eaux du renard sont sales, bouilleuses. Si l'eau est claire alors simple fuite.  
(La naissance du renard reste éventuelle).

**ANNEXE A8**

**Schéma type d'une digue déversante**



- (1) Couche de pose
  - (2) Protection en enrochement
  - (3) Corps du remblai
  - (4) Gravier
  - (5) Sable
  - (6) Gabions
- } dimension voir A17

**Annexe A9 : Indications générales des ouvrages réalisés**

Sites	Année de construction	Largeur de la digue	Type de compactage	Protection sous couche de pose en entrochement		Déversoir cassé	Digue immergée	Digue cassée
				T. amont	T. aval			
1. Gaboandi	1990	185	S	Totale	-		X	X
2. Kankansi	1986	100	S	Totale	-		X	X
3. Tarnbika	1990	180	E/S	Totale	Totale	X	X	X
4. Kottia	1992	201	S	Totale	-		X	X
5. Koku	1994	90	S	-	-		X	X
6. Benfoaka	1990	147	S	Totale	Partielle			
7. Naveia	1991	124	S	-	-			
8. Wadargu	1991	110	E	Totale	Partielle			
9. Kohoura	1992	190	E	Totale	Totale			
10. Tigli	1993	70	S	Totale	-			
11. Dunkuli	1993	110	S	Partielle	-			
12. Tarnbuana	1994	80	S	Totale	-			
13. Bouyend	1989	108	S	-	-			
14. Konoauga	1995	115	E	Totale	Totale			
15. Tardoni	1995	160	E	Totale	Totale			
16. Fuga	1995	90	E	Totale	-			

## ANNEXE A10

### FICHE DE VISITE DU SITE DE TANBIKA

Localisation : - longitude 00° 07' 13" W  
- Latitude 12° 64' 07" N

MAITRE D'OUVRE : MCC

#### RENSEIGNEMENT SUR LA DIGUES

Longueur = 185 m  
Hauteur = 3 m  
Largeur en crête » 0,7 m  
Revanche » 30 cm  
Pentes : talus amont 1/1,8  
  
talus aval 1/2.2

Protections : - parement amont : protection totale avec des enrochements  
- parement aval : protection partielle avec des enrochements  
- la crête : une mince couche (» 7 cm) de graves latéritiques

#### ANOMALIES OBSERVEES ET CONSEQUENCES

. L'érosion

Elle est observée sur les talus amont et aval de la digue. Elle est due :

- à l'absence de devers (légère pente 2 à 3 % vers l'amont) de la crête occasionnant le ruissellement des eaux sur le talus aval
- à l'action mécanique des vagues, qui arrogent par pompage, les matériaux de la digue
- à l'absence du fossé de pied qui entraîne souvent la stagnation et l'érosion des eaux d'infiltration et de ruissellement
- à l'absence de protection en certains endroits du talus aval, les exposants aussi aux effets de ruissellement des eaux de pluie
- la revanche (voir annexe A14)

La revanche de 30 cm est très insignifiante.

Elle accélère en conséquence les possibilités de submersion de digue donc sa dégradation voire sa destruction.

### PROPOSITIONS D'AMELIORATION

- Sous réserve d'un bon compactage, afin de considérer comme stable l'ouvrage, la pente du talus amont sera ramenée à 1/4, ainsi on taillera le parement amont afin de le recharger avec un matériau imperméable.
- Afin, d'éviter la stagnation des eaux de ruissellement et d'infiltration au pied du talus aval, on doit construire un fossé de pied qui évacuera les eaux vers le thalweg.
- Afin de limiter le risque de renardage obtenu dès

que le gradient hydraulique atteint une valeur critique

On doit protéger totalement le talus aval avec des enrochements bien disposés.

- Afin d'éviter le risque de submersion de la digue, on doit augmenter la valeur de la revanche d'au moins 30 cm, donc une augmentation de la hauteur de la digue de 30 cm. La largeur en crête (voir annexe A15) sera = 3m.

### RENSEIGNEMENTS SUR LE DEVERSOIR

Type du déversoir : latéral naturel

Protection observée : aucune

Pente du chenal d'évacuation = 3 %

### ANOMALIES OBSERVEES ET CONSEQUENCES

- Afin d'empêcher l'érosion régressive, la pente du chenal ne doit pas excéder 1 à 2 ‰.

Donc la valeur de la pente de 3 % est trop élevée et entraîne sans surprise le développement de l'érosion régressive qui à terme déstabilisera l'ouvrage si des mesures conséquentes ne sont pas prises.

- Le coursier n'est pas aménagé, ce qui peut entraîner des désordres, qui sont effectivement érosifs au pied du talus aval.

### PROPOSITION D'AMELIORATION

La pente du chenal de 3 % doit être réduite ~~de~~ à 1 à 2 ‰ en créant des chutes avec des gabions aux lieux de rupture de pente.

Le coursier doit être aménagé ; à ce sujet nous avons présenté en annexe A16, une protection type.

---

Suite renseignements sur la digue :  
la crête

La largeur en crête est très petite. La valeur de 70 cm donne un petit parcours des eaux d'infiltration et entraîne un fort gradient hydraulique et donc une forte probabilité du phénomène de renardage. (Annexe A7).

Remarque : \* le calcul de la revanche est donnée en annexe A4  
\* on doit assurer une surveillance continue de l'ouvrage afin  
d'intervenir dès que les anomalies se manifestent.

## ANNEXE A11

### FICHE DE VISITE DU SITE DE KOTTIA

Localisation : - longitude 00° 01' 20" W  
- Latitude 12° 57' 15" N

MAITRE D'OEUVRE : MCC

#### RENSEIGNEMENT SUR LA DIGUE

Longueur = 162 m  
Hauteur = 2,60 m  
Largeur en crête = 1 m  
Revanche = 0,5 m  
Pentes : talus amont 1/2  
  
talus aval 1/2,5

Protections : - parement amont : protection totale en enrochements  
- parement aval : protection partielle en des enrochements  
- la crête : graves latériques

#### ANOMALIES OBSERVEES ET CONSEQUENCES

##### . L'érosion

Bien que les talus soient totalement protégés, on observe néanmoins le phénomène érosif qui est dû :

- à l'action mécanique des vagues, qui arrose par sous-pressions les matériaux fins de la digue.
- à l'absence du fosse de pied qui entraîne souvent la stagnation et l'érosion des eaux d'infiltration et de ruissellement.
- à l'absence du murette de protection placée au sommet du parement aval ce qui fait observer la crête entaillée.

##### . La revanche

La revanche de 50 cm est petite. Elle est le résultat de l'inachèvement des travaux. Cette revanche peut entraîner la submersion de la digue et donc sa dégradation voire sa destruction. Effectivement la digue est assez dégradée car fait apparaître des griffes d'érosion et aussi un désordre des enrochements de protection.

. La crête

La largeur en crête de 1 m est insuffisante. En diminuant le parcours des eaux d'infiltration lorsque la retenue est pleine, elle augmente le gradient hydraulique qui entraîne le renardage dès que sa valeur critique est atteinte.

### PROPOSITIONS D'AMELIORATION

- Afin d'assurer une bonne protection des talus et donc une limitation des phénomènes érosifs on doit mettre en place les enrochements protecteurs.
- Afin d'éviter le risque de submersion de la digue, on doit augmenter la valeur de la revanche d'au moins 10 cm soit une augmentation de la hauteur de la digue de 10 cm.
- Afin d'éviter la stagnation des eaux d'infiltration et de ruissellement au pied de talus aval, on doit prévoir un fossé de pied qui évacuera ces eaux vers le lit de marigot.

### RENSEIGNEMENTS SUR LE DEVERSOIR

Type du déversoir : central

Protection observée : un enrochement qui remplace le bassin de dissipation

### ANOMALIES OBSERVEES ET CONSEQUENCES

- Bien que ce déversoir soit en construction, son dimensionnement ne relève d'aucun calcul. L'ouvrage du déversoir dans le corps de la digue et de 50 cm environ, cette valeur semble petite, vu que le compactage et non seulement à teneur en eau naturelle et aussi on note l'absence de bagoyers qui canalisent les eaux après le seuil et qui jouent aussi le rôle de murs de soutènement.

### PROPOSITION D'AMELIORATION

Nous proposons en annexe A17, schématiquement le déversoir qui peut garantir une certaine sécurité de cet ouvrage.

Remarque : \* Le calcul de la revanche est donnée en annexe A14

\* Assurer une surveillance continue de l'ouvrage afin d'intervenir dès que certaines anomalies se manifestent.

## ANNEXE A12

### FICHE DE VISITE DU SITE DE TAMDORI

Localisation : - longitude 00° 13' 20" W  
- Latitude 13° 00' 33" N

MAITRE D'OEUVRE : MCC

### RENSEIGNEMENT SUR LA DIGUE

Longueur = 100 m

Hauteur =

Largeur en crête = 1,20 m

Revanche = 1 m

Pentes : talus amont 1/2,2

talus aval 1/2,2

Protections : - parement amont : protection totale en enrochements  
- parement aval : protection totale en enrochements  
- la crête : graves latériques de 20 cm d'épaisseur

### CONSTAT

Globalement l'ouvrage est construit avec soin. Néanmoins la hauteur semble être exagérée : car elle ne vérifie pas la technique qui est jusqu'à présent utilisée (charge maximale = 1 m). La zone d'emprunt localisée comme dans tous les cas dans la cuvette, laisse apparaître quelques poches de sable ; ce qui risque d'accélérer éventuellement la vidange de la retenue par une forte infiltration.

. La crête ne présente pas une légère pente vers l'amont (2 à 3 %), ce qui peut entraîner l'érosion du talus aval par les effets des eaux de ruissellement.

. On note l'absence du fossé de pied, ce qui aura pour conséquent la stagnation des eaux, d'infiltration et de ruissellement, au pied du talus aval.

### PROPOSITIONS D'AMELIORATION

. Afin de minimiser l'infiltration dans la cuvette, on doit remblayer la zone d'emprunt avec de la terre argileuse bien compactée. Une épaisseur de 50 cm est assez acceptable.

. Afin de minimiser le risque d'érosion du talus aval, on doit compacter la crête davantage et en lui donnant un dévers (légère pente vers l'amont) de 3 %.

. Afin d'interdire la stagnation des eaux de ruissellement et d'infiltration, on doit prévoir un fossé de pied qui évacuera les eaux vers le lit du marigot.

## RENSEIGNEMENTS SUR LE DEVERSOIR

Type du déversoir : latéral  
Protection observée : aucune  
Pente du chenal d'évacuation : 6 %

## ANOMALIES OBSERVEES ET CONSEQUENCES

- Pour empêcher l'érosion régressive, la pente du chenal d'évacuation ne doit pas excéder 1 à 2 ‰.

Etant de 6 %, cette pente est donc trop forte et entraînera inévitablement l'érosion régressive. Ce qui est effectivement le cas et d'ailleurs le déversoir risquera d'être détruit dès les premières crues.

- Le coursier n'est pas aménagé, ce qui peut entraîner des désordres, qui sont effectivement érosifs au pied du talus aval.

## PROPOSITION D'AMELIORATION

La pente du chenal doit être réduite de 1 à 2 ‰ en créant des chutes avec des gabions aux lieux de rupture de pente.

Le coursier doit être aménagé, en annexe A6 nous avons présenté une protection type.

Remarque : Bien que l'ouvrage soit apparemment bien construit, le fait que la charge d'eau soit assez élevée on doit assurer une surveillance attentive de l'ouvrage afin d'intervenir dès que les anomalies se manifestent.

## Source M L COMPAORE

BORDEREAU DE PRIX UNITAIRES

	DESIGNATION	U	P.U.	OBSERVATION
1	Débroussaillage- Décapage (20 cm)	m <sup>2</sup>	400	-
2	Abattage d'arbres	u	22 500	-
3	Déblai à la main en terrain meuble	m <sup>3</sup>	2 250	-
4	" " " compact	"	3 750	-
5	Remblai compacté à la main	"	2 650	-
6	Déblai en grande masse aux engins en terrain meuble	"	1 900	-
7	Déblai en grande masse aux engins en terrain compact	"	3 100	-
8	Déblai en grande masse aux engins en terrain rocheux	"	12 000	-
9	Remblai compacté aux engins	"	2 700	-
10	Remblai légèrement compacté aux engins	"	1 800	-
11	Matériaux pour filtre calibré	"	8 750	-
12	Tout venant de pose ou latéritique	"	4 000	-
13	Gravier fin et gros	"	8 500	-
14	Perré jointoyé	m <sup>2</sup>	11 500	-
15	Perré maçonné	m <sup>2</sup>	12 850	-
16	Perré sec	m <sup>2</sup>	8 750	-
17	Enrochement pour butée	m <sup>3</sup>	8 000	-
18	Enrochement pour drain aval	"	8 000	-
19	Enrochement de protection en vrac	"	7 500	-
20	Gabion métallique posé	"	26 000	-
21	Béton de propreté à 150 kg	"	53 000	-
22	Béton ordinaire à 250 kg	"	80 000	-
23	Béton ordinaire à 300 kg (revêtement)	"	100 000	-
24	Béton ordinaire à 300 kg (pour Petits ouvrages - Prises - Déversoirs - Chutes)	"	145 000	-
25	Béton cyclopéen à 250 kg	"	93 000	-
26	Béton armé dosé à 350 kg y compris coffrage et ferrailage (n'excèdent pas 60 kg d'acier au m <sup>3</sup> )	"		-
a	Coulé en inclinaison	"	174 000	
b	Coulé à plat	"	156 000	
c	Coulé en élévation	"	195 000	
27	Béton légèrement armé à 350 kg (≤ 20 kg d'acier au m <sup>3</sup> )	"	135 000	-
28	Béton pour béton armé dosé à 350 kg	"	95 000	-
29	Maçonnerie de moellons	"	42 500	-

### Bordereau de prix unitaires (suite)

30	Joint bitumeux	ml	3 300	-
31	Joint water-stop de 0,15 m	"	25 000	-
32	" " " de 0 225 m	"	54 000	-
33	" " " de 0,30 m	"	65 000	-
34	Barbacane en P.V.C.	"	5 000	-
35	Blocage	m <sup>3</sup>	14 000	-
36	Maçonnerie de parpaings 40 x 20 x 10 plein	m <sup>2</sup>	10 500	-
37	" " " 40 x 20 x 20 creux	"	11 000	-
38	" " " 40 x 20 x 15 plein	"	15 500	-
39	Buse en béton armé à 300 kg Ø200	ml	11 500	-
40	" " " à 300 kg Ø300	"	20 000	-
41	" " " à 300 kg Ø350	"	24 600	-
42	" " " à 300 kg Ø400	"	28 000	-
43	" " " à 300 kg Ø500	"	45 000	-
44	" " " à 300 kg Ø600	ml	61 000	-
45	" " " à 300 kg Ø800	"	85 000	-
46	" " " à 300 kg Ø1000	"	106 000	-
47	Démolition d'ouvrage en béton armé	m <sup>3</sup>	15 000	-
48	" " en maçonnerie	"	7 500	-
49	PVC Ø150 évacuation	ml	5 500	-
50	PVC Ø200 évacuation	"	11 000	-
51	PVC Ø300 2VACUATION	3	22 000	-
52	PVC Ø150 pression	"	8 000	-
53	PVC Ø200 "	"	15 000	-
54	PVC Ø300 "	"	26 000	-
55	Plannage parcelles	ha	464 000	-
56	Labour croisé et sous-solage	"	232 000	-
57	Vannette métallique	u	60 000	-
58	Fournitures métalliques diverses	kg	4 000	-
59	Echelle limnimétrique	ml	98 500	-
60	Réglage des talus	m <sup>2</sup>	300	-
61	Terre latéritique pour talus	m <sup>3</sup>	3 600	-
62	Béton de forme avec chappe incorporée	"	86 500	-
63	Enduit extérieur 2 cm	m <sup>2</sup>	2 000	
64	Enduit à la tyroliène	"	2 200	
65	Couverture acier ou aluminium	"	13 500	
66	Fenêtres et portes persiennées	"	80 000	
67	Porte pleine coulissante	u	356 000	
68	Chassis fixe grillagé 100 x 50	u	17 800	

**Bordereau de prix unitaires (suite)**

69	Clapets anti-retour (local)	"	267 000	
70	Système de vanne pour prise d'eau		4 000 000	
71	Piste latéritique de 3,50 m de large et 0,20 cm d'épaisseur	ml	3 000	
72	Piste secondaire latéritique de 2,50 m de large et 0,15 cm d'épaisseur	ml	1 650	
73	Partiteur	u	53 400	
74	Didim	m <sup>2</sup>	5 000	-
75	Coffrage ordinaire	"	5 600	-
76	Aciers pour armatures	kg	800	-

ANNEXE : A **13**.2 (exemple de cout des ouvrages)

SITE	TYPE DE DEVERSOIR	ANNEE DE REALISAT°	HAUTEUR (m)	LONGUEUR (m)	COÛT AVANT DEVALUATION	COÛT ESTIMATIF ACTUEL (cf da) (coefficiente 1,75)
LEGUEMA	EN BETON	JUIN 1994	6,8	465,5	191.971.515	335.950.150
KROUMWE- OGO	EN GABION	1993	4,55	320	80.290.000	140.507.500

\* REMARQUE : . coût de l installation du chantier = 3%  
 . imprévu = 5%

\* SOURCE DES DONNEES : Cellule de formation professionnelle

#### ANNEXE A14

A partir des informations recueillies avec les paysans, nous pouvons estimer la hauteur (H) de la vague à 50 cm au maximum.

En utilisant la formule de Gaillard, la vitesse maximale des vagues sera

$$V = 1,5 + 2 \times H = 1,5 + 2 \times 0,5 = 2,5 \text{ m/s.}$$

Enfin la revanche  $R = 0,75 (H + V^2 / 2g)$

$$\text{Soit } R = 0,75 (0,5 + 2,5 \times 2,5 / (2 \times 9,81)) = 0,61 \text{ cm}$$

On prend  $R = 0,6 \text{ m.}$

## ANNEXE A15

Pour ces petites retenues d'eau, on considérera la charge maximale possible =  
2m. Soit la hauteur de la digue estimée à :  $2 + 0,6 + 0,5 \gg 3,1\text{m}$ .

On prend  $H = 3\text{ m}$

Si  $b$  est la largeur en crête on a :

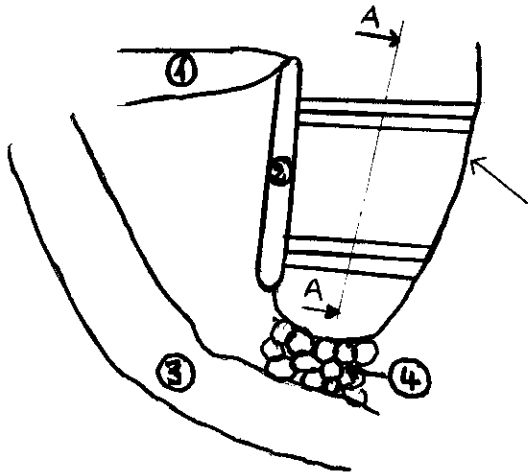
formule de Knappen  $b = 1,65 \sqrt{H} = 2,86\text{ m}$

formule de Preece  $b = 1,1 \sqrt{H} = 2,9\text{ m}$

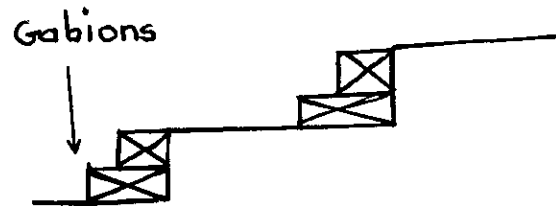
On prend la largeur en crête  $b = 3\text{ m}$ .

**ANNEXE A16**

**Protection du chenal d'évacuation**



- (1) digue
- (2) diguette de protection
- (3) Thalweg
- (4) enrochement

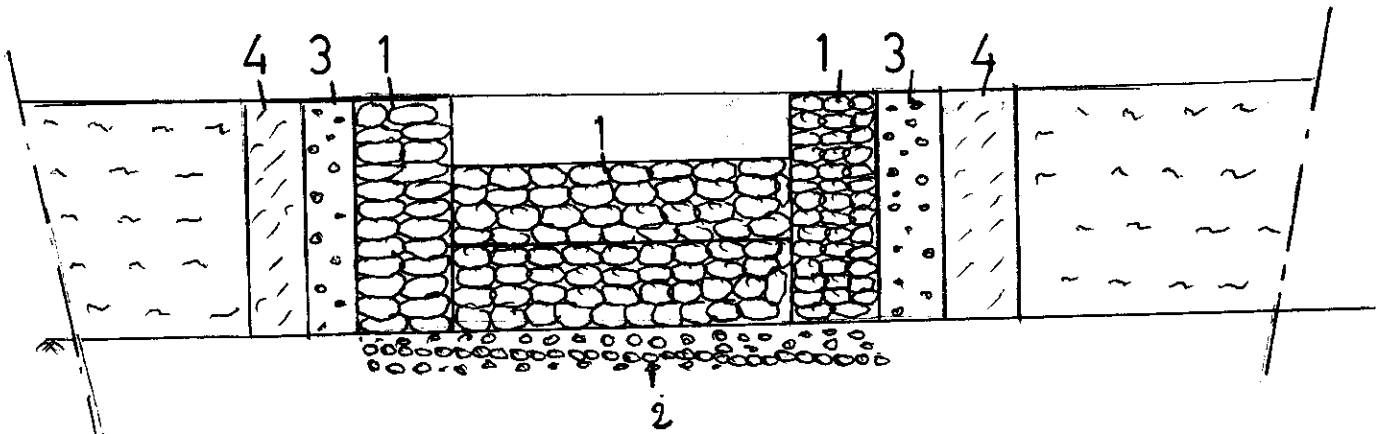


Les gradins en gabions permettront de remener la pente à moins de  $1\frac{0}{100}$

**Extrait du cours de M. J. M. Durand**

ANNEXE A17

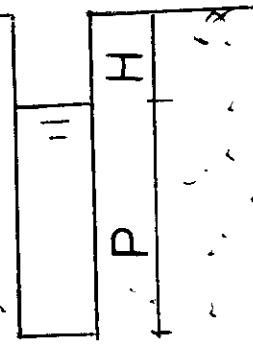
**Schéma du déversoir de KOTTIA**



- (1) gabions
- (2) enrochements
- (3) gravier  $5 < \phi < 25$  mm et  $e = 25$  cm
- (4) sable  $2 < \phi < 5$  mm et  $e = 25$  cm

ANNEXE A18

$2 \cdot R$



Estimation de la perméabilité "Insitu"

Principe : remplir le trou d'eau et attendre 20 mn (temps de saturation de sol).

- mesurer pour  $t_1$  et  $t_2$  suffisamment espacés les profondeurs  $P_1$  et  $P_2$

R = rayon du trou

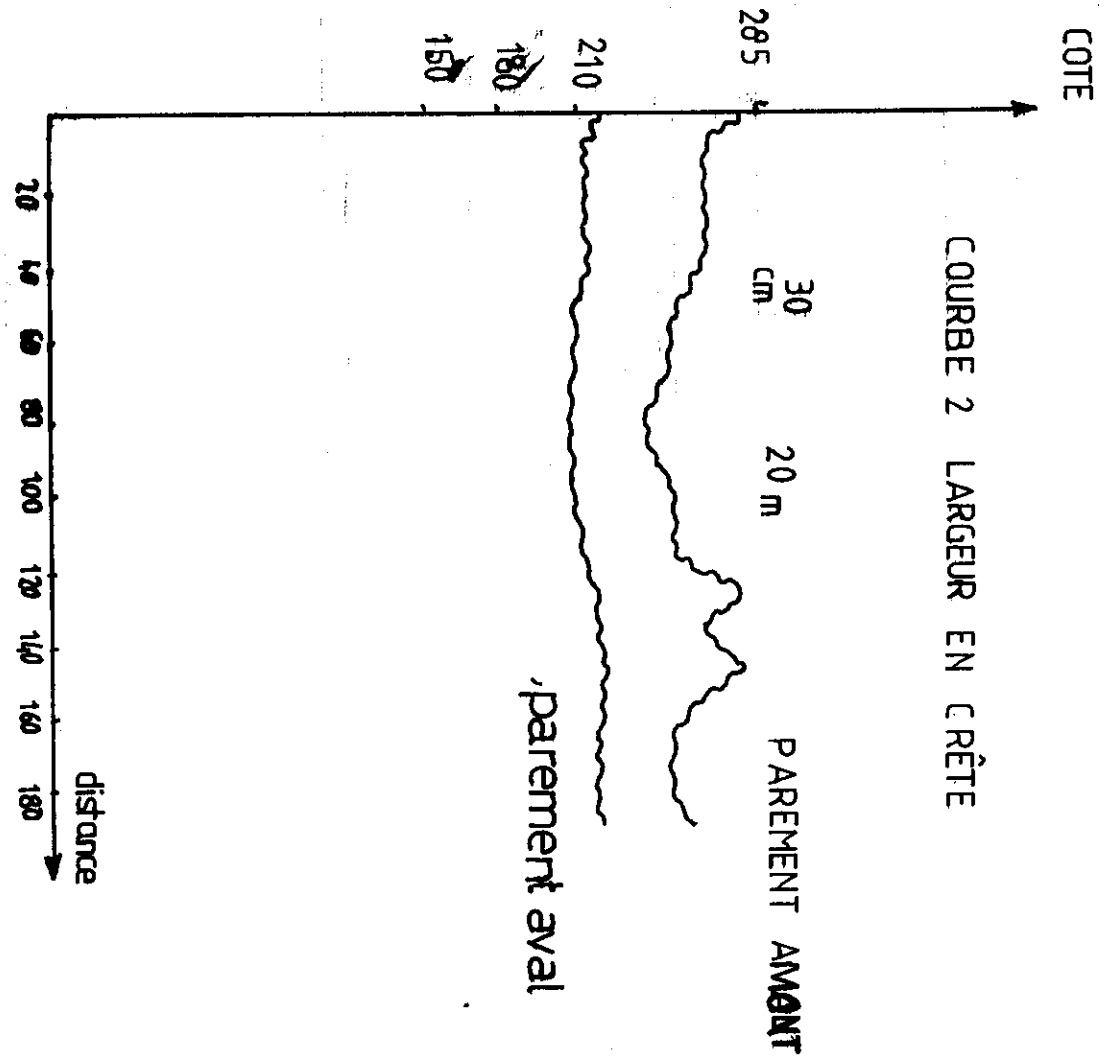
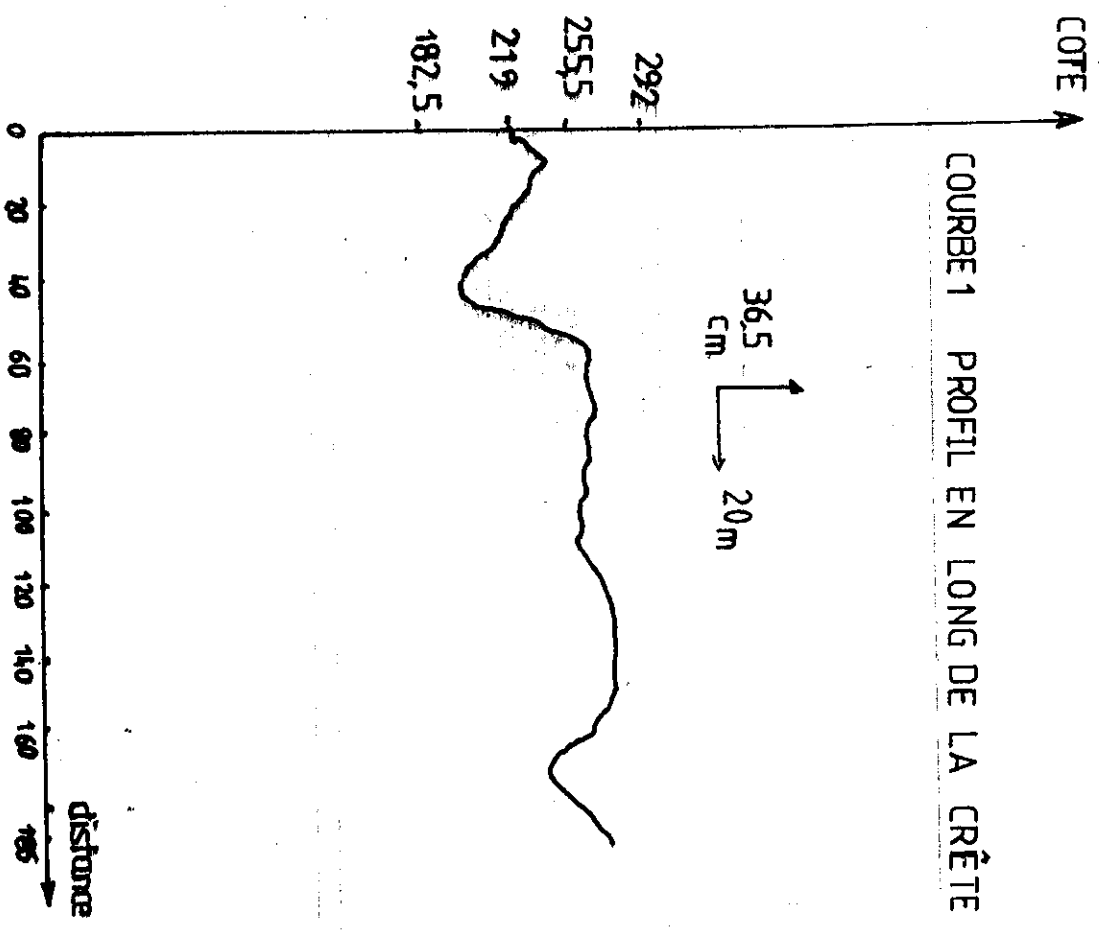
$h_1 = H - P_1$  et  $h_2 = H - P_2$

$$\text{alors } K = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \times \text{Ln}\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

K en cm/s  
temps  
en seconde

# ANNEXE : A.19

## SITE DE GABOANDI



**Annexe A19.3 : Données du site de Gaboandi**

Courbe 1 : profil en long de la crête

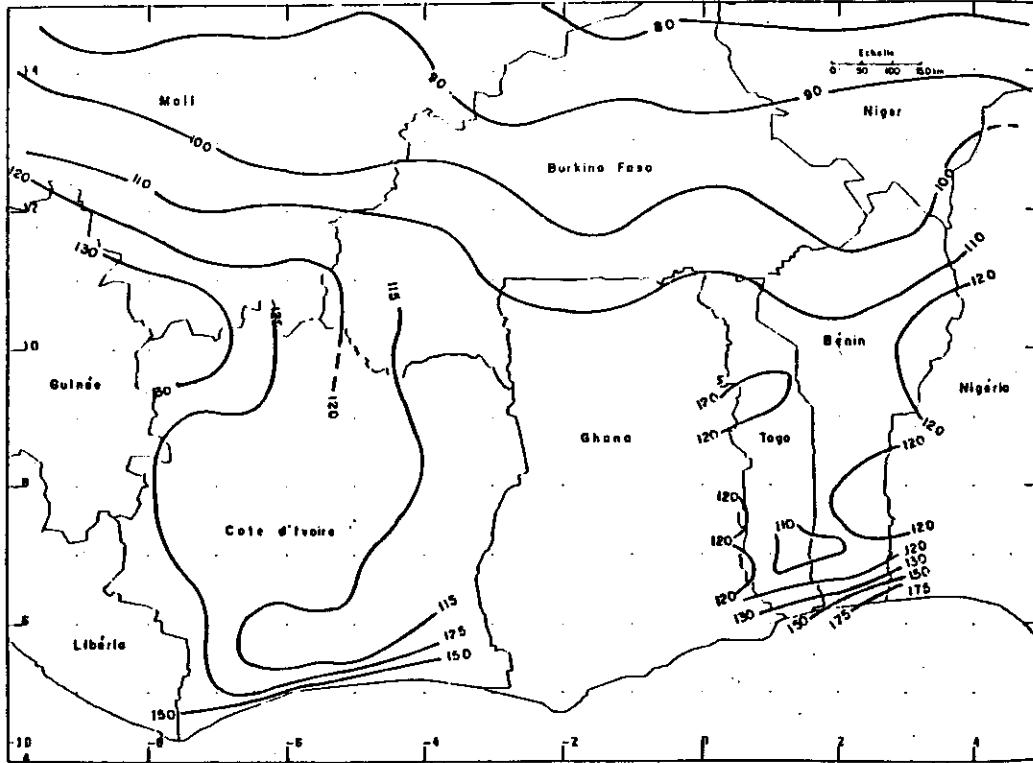
Distance cumulée	X	0	10	26	43	60	77	95	112	130	146	164	185
Côte (cm)	Y	228	246	225	203	303	268	273	268	275	275	253	276

Courbe 2 : profil en large de la crête

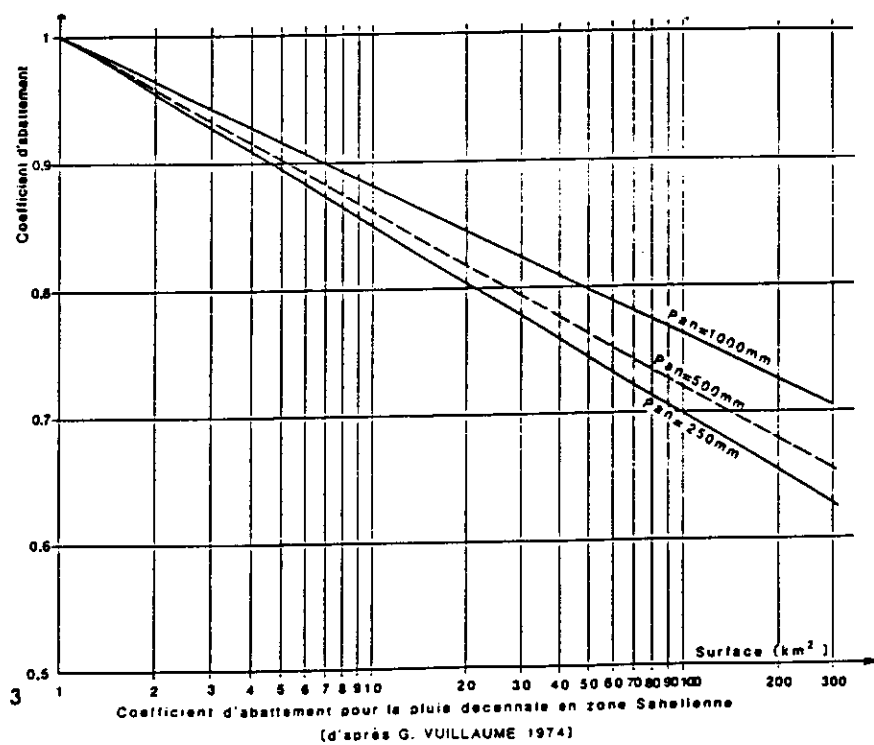
Distances cumulée	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	
Côte aval parerment	220	213	213	213	213	210	208	208	206	206	208	208	208	208	218	213	218	216	214	214	216
Côte amont parerment	280	258	258	258	258	250	243	243	236	236	248	248	278	278	263	278	256	244	244	251	

# ANNEXE: A 20.1

ISOHYETES DES PLUIES JOURNALIERES DE FREQUENCE DECENNALE  
(P 10 en mm)

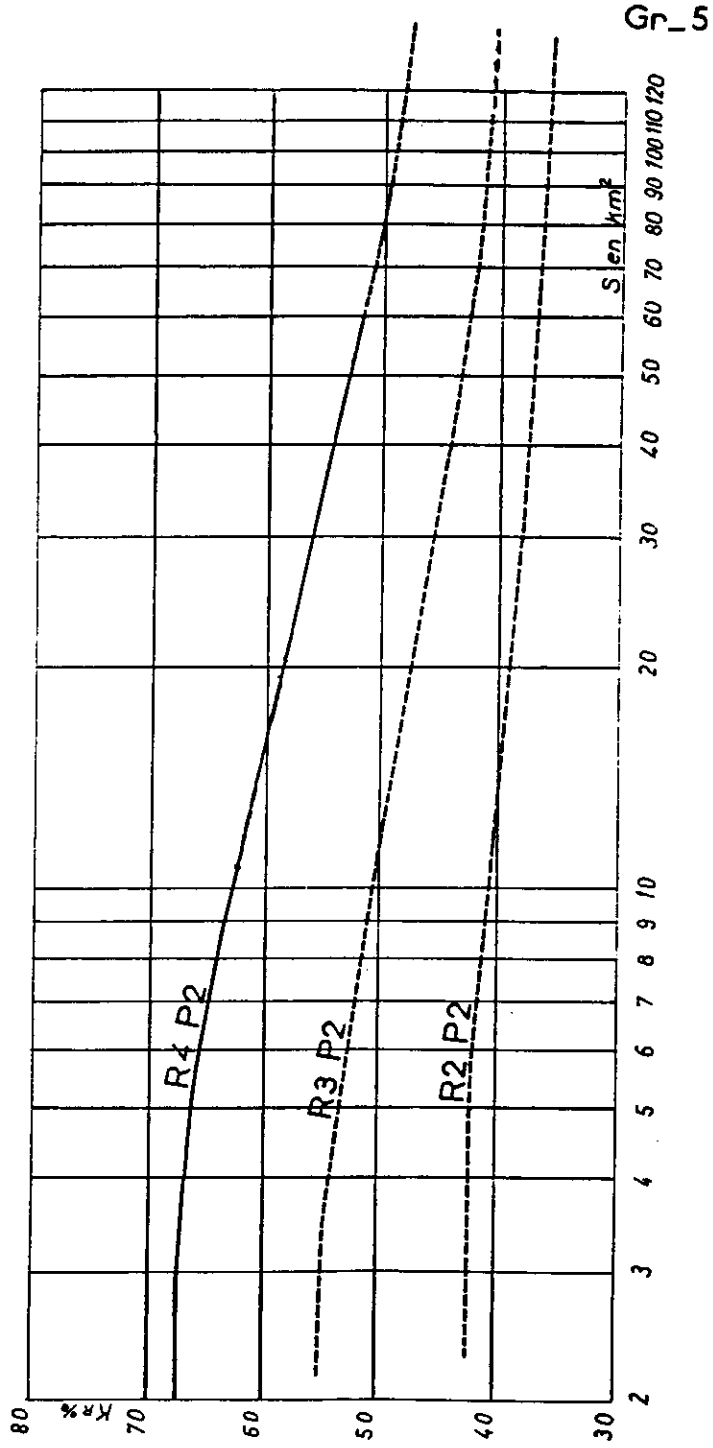


# ANNEXE : A 20.2



# ANNEXE A 20.3

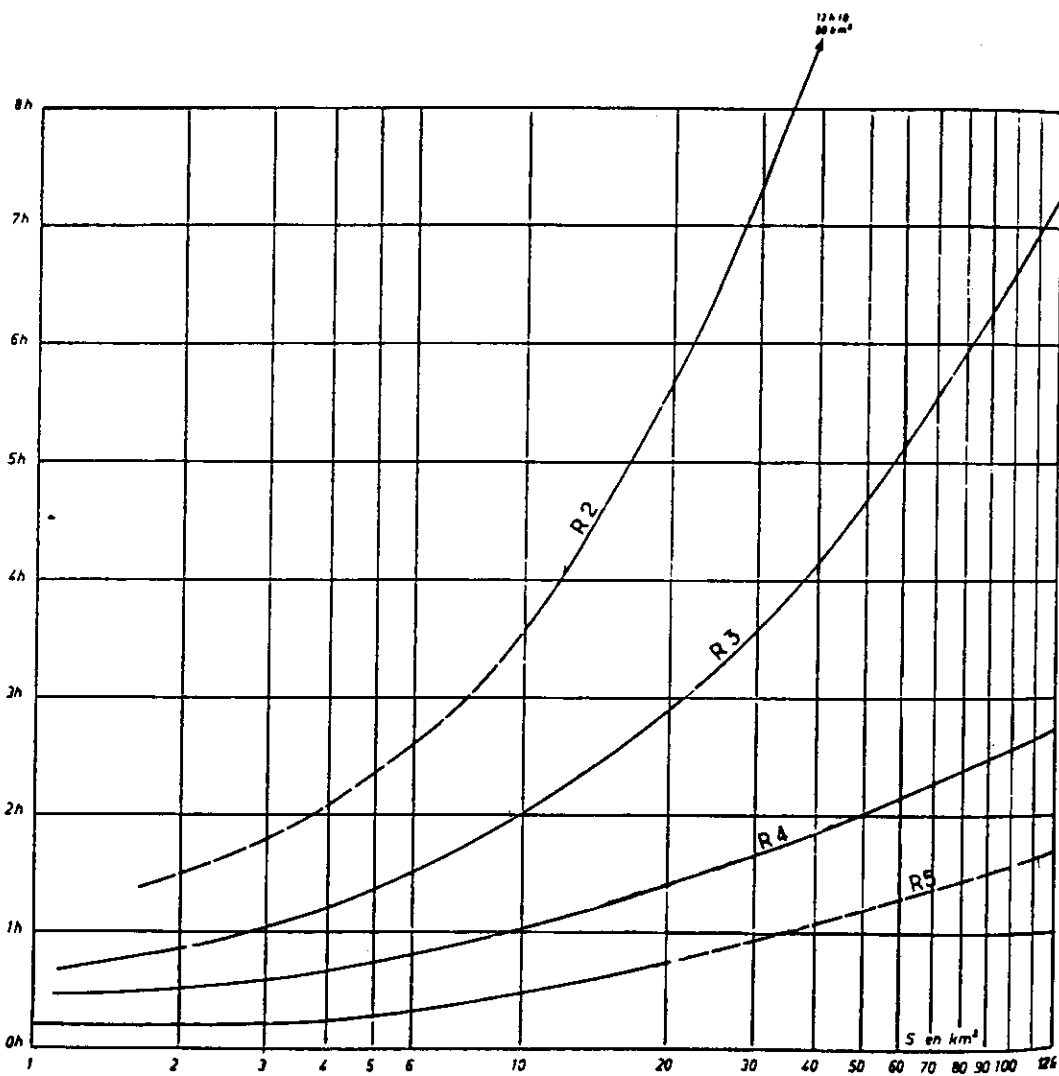
COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT  
 Régimes tropicaux et tropicaux de transition  
 (P varie de 800 à 1600 mm)  
 PERMEABILITÉ P2



Gr\_5

# ANNEXE: A 20.4

Temps de montée en fonction de R et de S  
RÉGIMES SAHÉLIENS - SUBDÉSERTIQUES



# ANNEXE: A 20.5

Gr. 9

Temps de base en fonction de R et de S  
RÉGIMES SAHÉLIENS-SUBDÉSERTIQUES

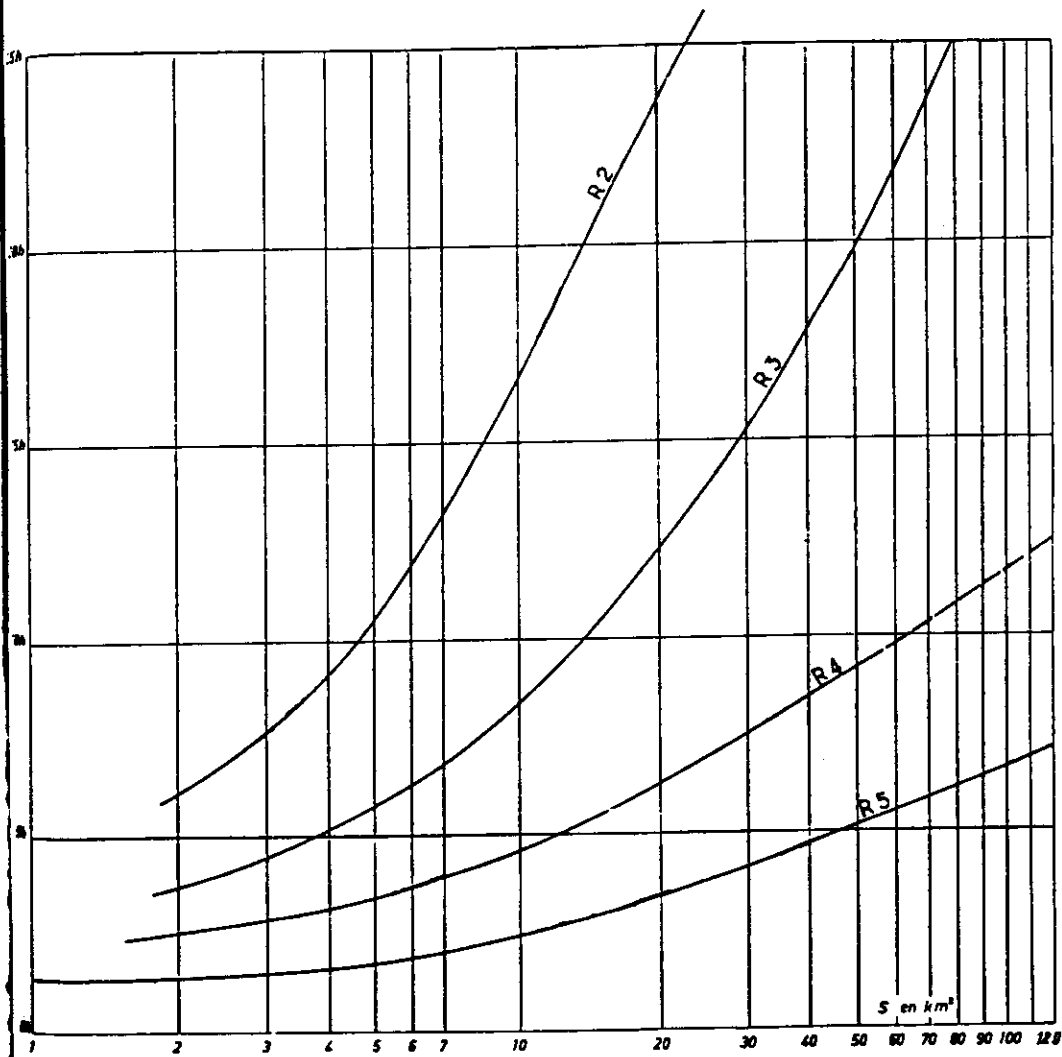
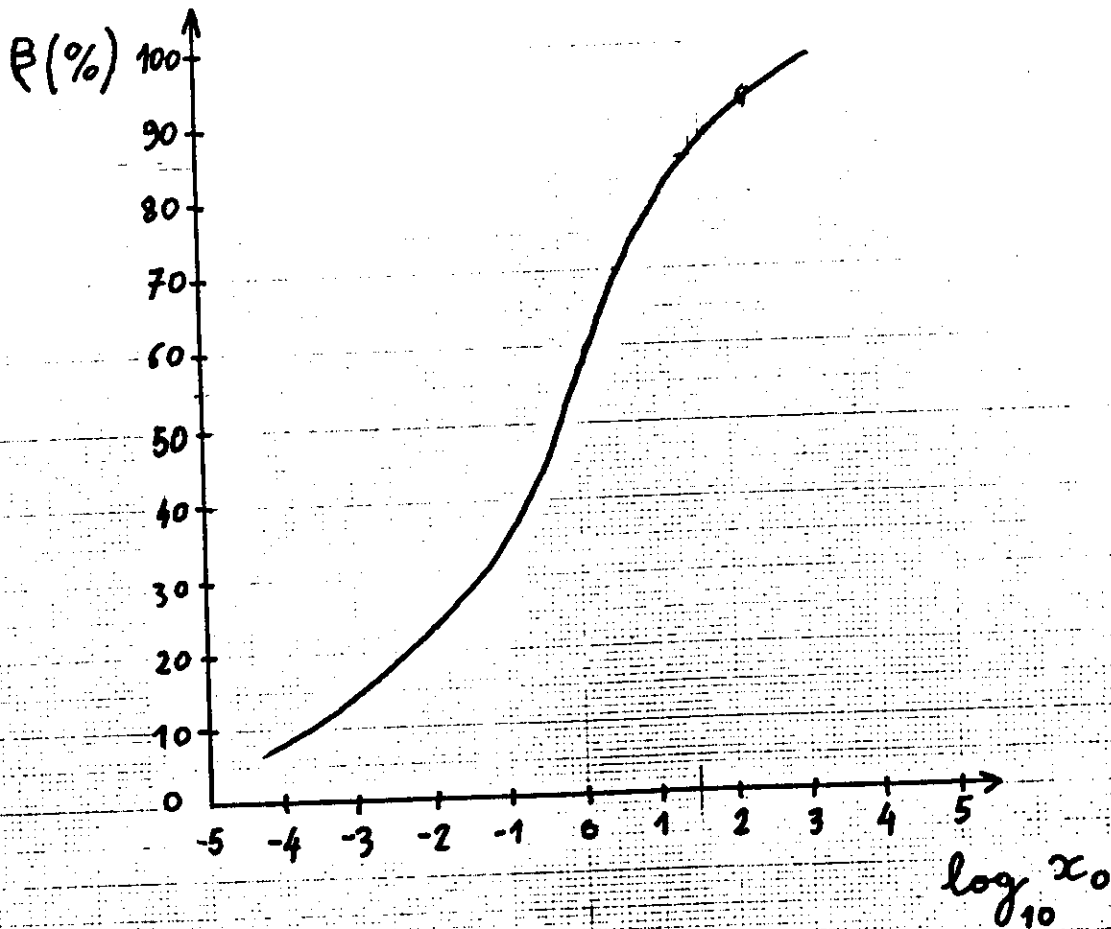


Fig. II.2 COEFFICIENT DE LAMINAGE



# ANNEXE: A 22

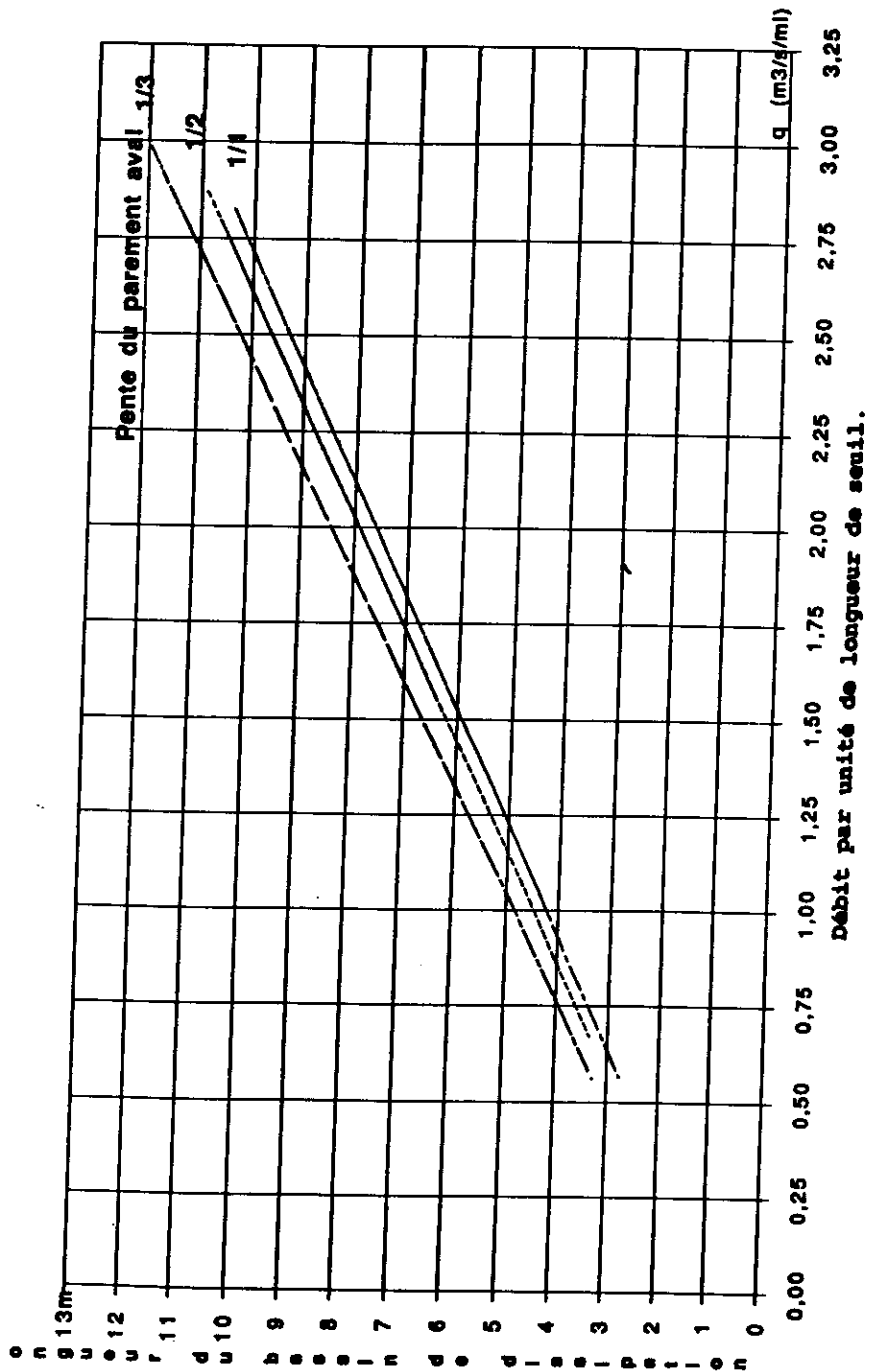
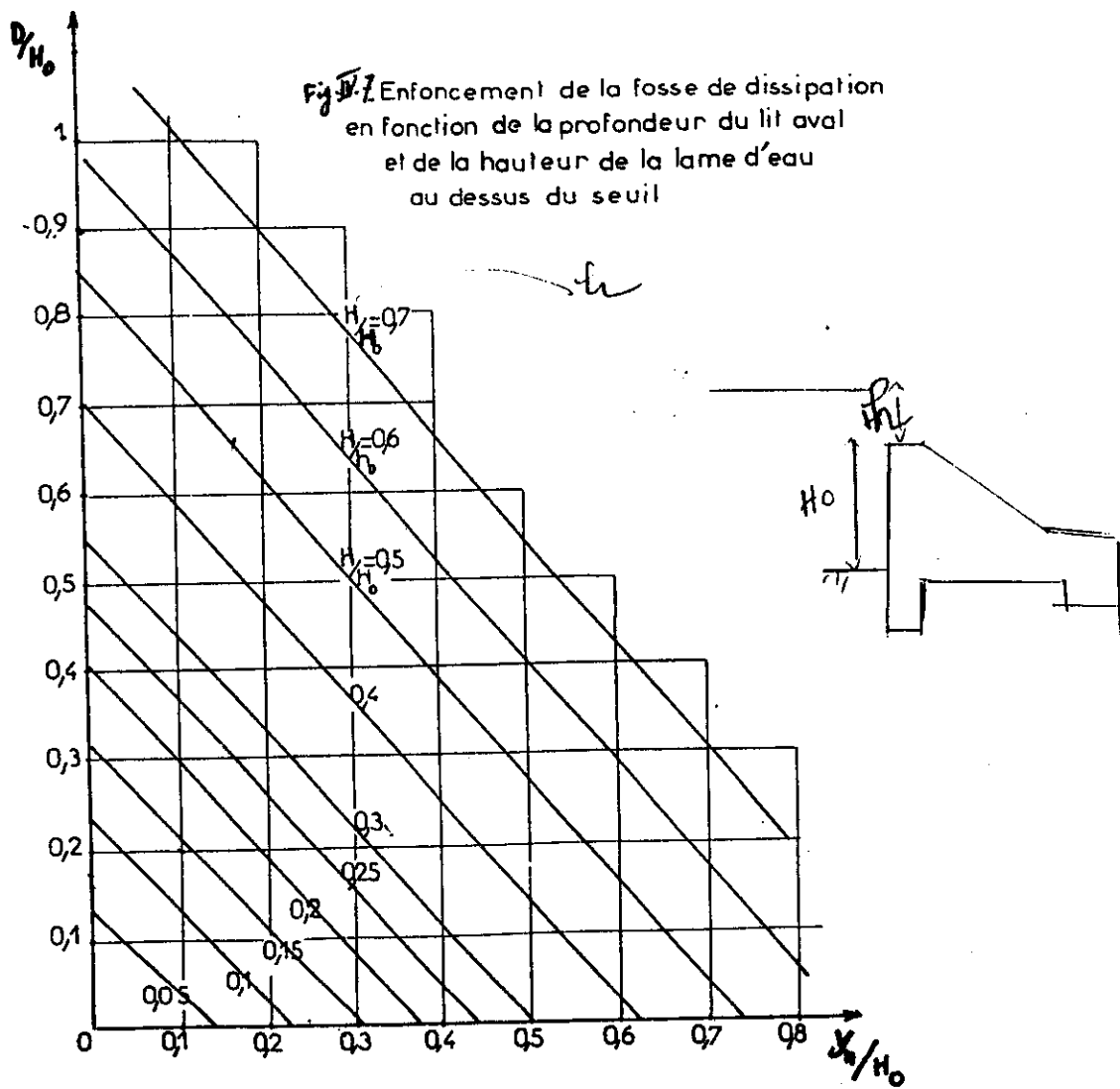


Fig. II.14 — Longueur du bassin de dissipation d'un déversoir en gradins de gabions non protégés

# ANNEXE: A 23

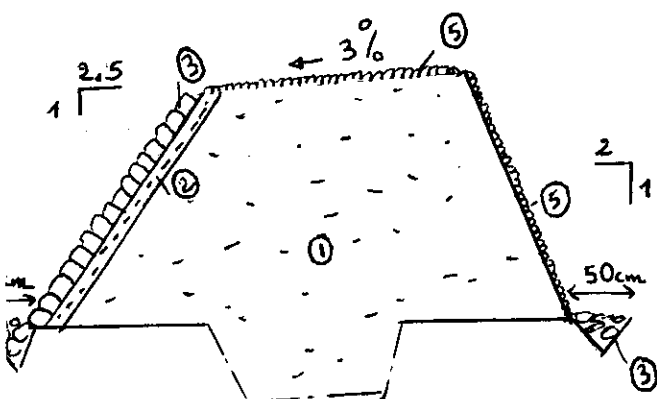


## ANNEXE A24

La protection du chenal d'évacuation est identique à celle proposée en A<sub>16</sub>.

La liaison mur bajoyer - corps de la digue est identique à celle proposée en annexe A<sub>17</sub>.

Schéma type corps du remblai :



- (1) remblai de la digue
- (2) couche de pose
- (3) blocs latériques d'au moins 30 cm d'épaisseur, dont les interstices sont comblés par des gravillons.
- (4) fossé de pied, comblé par des atériaux grossiers
- (5) graves latéritiques de 20 cm d'épaisseur

## ERRATA

Référence	Lire	Au lieu de
i	. EIER . Menonite Central Commitee	. EIEH . Menonite Central Central.
Introduction	Dans la maîtrise des crues	Ministère de l'eau du BURKINA
4	En annexe A1 on a la zone d'études et la localisation des pistes	En annexe A3 on a la carte géologique du BURKINA
11	A3... grains du sol	grain du sel
20	. B.2.9.4. au sommet du parement . B.2.9.5. ... coursier... un enrochement	. au moment . ... un émochement
25	1.2. par planimétrie	par planimétrie
34	Toute future	toute futre
A1	Gaboandi carte administrative	
A8	(9) = (5) (8) = (4)	
A9	3ième colone = Longueur de la digue E = eau et S = à teneur en eau naturelle	
A11	. L'ancrage . murs bajoyers	. l'ouvrage . murs bagayers
A12	pente réduite à 1 à 2 <sup>0</sup> /∞	
A18	H = h + P = H	
27	hauteur d'eau (2 à 2,2 m) au lieu de (2 à 2,3m).	