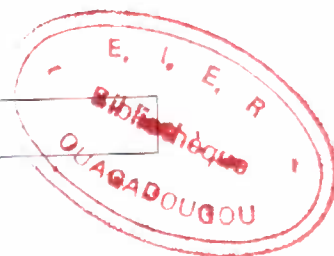
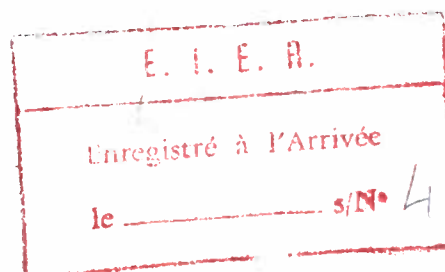


# SOMMAIRE

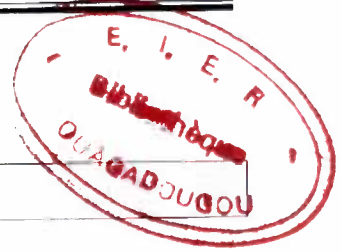


|  |    |
|--|----|
| <b>SOMMAIRE</b>  | 1  |
| <b>DEDICACE</b>  | 4  |
| <b>REMERCIEMENTS</b>   | 5  |
| <b>RESUME</b>  | 6  |
| <b>INTRODUCTION GENERALE</b>   | 7  |
| <b>CHAPITRE I : MEMOIRE JUSTIFICATIF</b>   | 8  |
| <b>A. PRELIMINAIRES</b>  | 8  |
| 1. PROBLEMATIQUE ET LOCALISATION DU SITE   | 8  |
| 2. ETUDES CLIMATIQUES  | 9  |
| 3. HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT  | 9  |
| 4. ESTIMATION DE LA CRUE DE PROJET   | 11 |
| 5. DEBIT DE PROJET   | 13 |
| 6. HYDROGRAMME DES CRUES   | 13 |
| 7. ESTIMATION DES APPORTS  | 14 |
| <b>B. LES EVACUATEURS DE CRUE</b>  | 15 |
| 1. ETUDE DE LA 1 <sup>ERE</sup> VARIANTE : LA DIGUE DEVERSANTE                     | 19 |
| 2. ETUDE DE LA 2 <sup>E</sup> VARIANTE : LE MUR EN BETON ARME                      | 21 |
| 3. ETUDE DE LA 3 <sup>EME</sup> VARIANTE : LE SEUIL DEVERSANT EN POSITION LATERALE | 23 |
| <b>C. DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE</b>  | 25 |
| 1. GENERALITES   | 25 |
| 2. DIMENSIONNEMENT   | 25 |
| 3. IDENTIFICATION DES MATERIAUX  | 27 |
| 4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES  | 27 |



|           |                                      |           |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| 2.        | LE DÉVERSOIR EN BÉTON ARMÉ           | 49        |
| 3.        | SEUIL DÉVERSANT EN POSITION LATÉRALE | 63        |
| <b>G.</b> | <b>AVANT- METRE</b>                  | <b>69</b> |
| 1.        | DIGUE DÉVERSANTE                     | 70        |
| 2.        | MUR EN BÉTON ARMÉ                    | 70        |
| 3.        | MUR DÉVERSANT                        | 70        |
|           | <b>BIBLIOGRAPHIE</b>                 | <b>71</b> |

---



## DEDICACE

A mon père KABRE KINDEBA  
Hamidou,

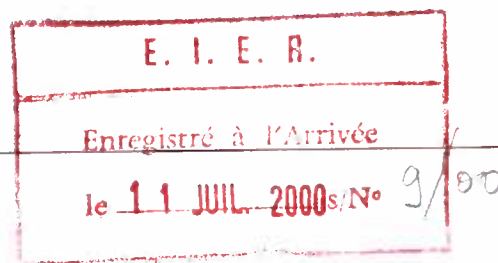
A ma mère KABORE Mariam,

A mon oncle maternel  
KABORE Seydou

A tous mes collègues futurs  
ingénieurs de la 29<sup>e</sup> promotion  
de l'E.I.E.R,

Je dédie ce mémoire.

KABRE Salfou



## REMERCIEMENTS

**J**e remercie très sincèrement toute l'administration de l'E.I.E.R. , le corps professoral ,l'administration et le personnel de l'ONBAH et plus particulièrement M. François BLANCHET et M. Francis BOUGAIRE dont les suggestions nous furent très bénéfiques....

**C**ordialement.

## RESUME

Pour chaque étude d'un projet de barrage, le choix d'un évacuateur constitue toujours un des points les plus sensibles dans le choix des ouvrages car il renferme des paramètres essentiels ( niveau normal de la retenue, type, position, longueur, constitution, traitement à l'aval, etc.) qui détermine grandement la capacité, la qualité ( fonctionnalité, stabilité, durabilité ), le coût total du projet et donc son efficience finale ( prix de revient du m<sup>3</sup> stocké).

Pour permettre un choix efficient, la démarche rationnelle exige autant que possible une étude comparative de plusieurs variantes. Mais la plupart des bureaux d'étude ne le font pas soit par manque de temps soit par application empirique de l'expérience cumulée.

Le présent mémoire intitulé « Etude comparative de l'évacuateur de crue d'un barrage en trois variantes » proposé par l'O.N.B.A.H vise à faire l'étude complète de trois variantes de déversoirs. La démarche que nous avons adoptée est la suivante :

A partir des données recueillies sur le site et auprès de l'O.N.B.A.H., nous avons dans un premier temps fait l'étude hydrologique nous permettant d'estimer la crue de projet. Ensuite nous avons déterminé la longueur du déversoir et la côte de sa crête de façon optimale.

Nous avons enfin choisi trois variantes de déversoirs parmi les plus étudiées au Burkina Faso, nous avons fait une étude détaillée pour chacune d'elle, estimé leur coût de réalisation et enfin procédé au choix de la variante qui nous paraît la plus économique.

## INTRODUCTION GENERALE

Depuis plusieurs décennies, l'édification des **petits barrages en terre** a été une solution très largement utilisée pour résoudre les problèmes de mobilisation des ressources en eau au Burkina Faso.

Cependant l'un des handicaps majeurs de ces types de barrage est qu'ils ne supportent pas la submersion.

Pour prévenir de tels incidents, les ingénieurs chargés de sa conception doivent être à même non seulement de faire une bonne estimation de la crue de projet mais aussi de bien choisir et dimensionner les ouvrages évacuateurs de crue.

L'objet de ce présent mémoire dont le thème est « Etude comparative de l'évacuateur de crue d'un barrage en trois variantes » proposé par l'O.N.B.A.H. consiste à étudier trois variantes d'évacuateurs de crue d'un barrage et de faire le choix le plus économique.

Dans la présente étude, nous allons dans un premier temps estimer la crue de projet, caler le déversoir, la digue et déterminer sa longueur en tenant compte de l'effet du laminage.

Dans un second temps nous choisirons les trois variantes couramment adoptées sur les barrages au Burkina Faso et procéderons à leur dimensionnement et à l'évaluation de leur coût.

Enfin nous proposerons la variante qui nous paraît la plus économique et la plus adaptée au site.

## CHAPITRE I : MEMOIRE JUSTIFICATIF

### A. PRELIMINAIRES

#### 1. PROBLEMATIQUE ET LOCALISATION DU SITE

##### □ **Problématique**

Comme nous l'avons souligné en introduction, le but de ce mémoire est de faire l'étude comparative d'un évacuateur de crue en trois variantes d'un barrage en l'occurrence le barrage de Louargou.

Le projet est financé par le Fonds de l'Eau et de l'Equipement Rural (F.E.E.R.) et l'étude est confiée à l'Office National des Barrages et des Aménagements Hydroagricoles (O.N.B.A.H).

Les moyens mis à notre disposition par l'O.N.B.A.H. dans le cadre de cette étude sont :

- Les données pluviométriques et climatiques de la zone ,
- Le plan topo de la cuvette,
- Le profil en long de l'axe de la digue,
- Les résultats des sondages géotechniques effectués dans la cuvette et dans les zones d'emprunts.

Une visite de reconnaissance organisée avec l'appui matériel et logistique de l'O.N.B.A.H. nous a permis d'appréhender les réalités du terrain, ses contraintes et ses potentialités.

##### □ **Localisation du site**

Louargou est un village situé au nord- est du Burkina Faso dans la province du Gourma. Pour s'y rendre on emprunte l'axe Ouagadougou Fada N'Gourma (RN4). A Diapangou on bifurque à droite en empruntant une route en terre difficilement praticable sur une distance de 11 Km.

Le site se situe à environ 1 km à l'Est du village. La distance Ouagadougou –Diapangou est de 204 Km sur une route bitumée , la distance Diapangou-Louargou est de 11Km.

La distance Ouagadougou-Louargou est donc estimée à 216 Km.

Les coordonnées géographiques du site sont :

- Longitude  $0^{\circ} 10'$  Ouest.
- Latitude  $10^{\circ} 2' 30''$  Nord

#### □ Intérêt de l'ouvrage

Le barrage de Louargou servira d'une part à l'abreuvement des animaux et d'autre part à l'extension des cultures maraîchères qui est l'une des activités rémunératrices du village.

En effet lors de notre visite sur le terrain nous avons constaté la présence de jardins tout le long du marigot.

## 2. ETUDES CLIMATIQUES

#### □ Pluie annuelle

A l'aide des données climatiques de Fada N'Gourma nous avons ajusté suivant la loi de Gauss les pluies des 50 dernières années (1948 à 1997) et nous avons estimé la pluie annuelle à **878 mm**.

#### □ Pluies maximales journalières

L'ajustement suivant la loi de Gumbel nous donne les résultats suivants :

- $P_{10} = 107 \text{ mm}$
- $P_{100} = 154 \text{ mm}$

#### □ Zone climatique

La pluie annuelle étant inférieure à 900 mm, le climat est du type sahélien avec une saison sèche d'Octobre à Juillet et une saison pluvieuse de Juillet à Septembre ou Octobre. La température moyenne est de  $30^{\circ} \text{C}$  et l'évaporation mesurée au bac de classe A à la station de Fada N'Gourma est en moyenne de 2824 mm/an.

## 3. HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT

#### □ Visite du site

La visite du site nous a permis d'identifier et de relever certaines données sur le bassin versant :



### ➤ *Végétation*

La végétation du bassin versant est essentiellement constituée de savane arbustive de densité très hétérogène dominée par les karités, les épineux, les caïllédrats et les figuiers. Plus de la moitié du bassin versant est cultivée en sorgho.

### ➤ *Géologie*

Les sols sont épais, gravillonnaires et argilo sableux issus de la décomposition de granites et granitoïdes. De nombreux affleurements rocheux ont été localisés sur la portion du bassin que nous avons sillonnée. La carte pédologique de L'ORSTOM de la région du nord est à l'échelle 1/200 000<sup>e</sup> nous permet de confirmer cette observation. La classification du bassin versant est de type P<sub>3</sub> (Bassins assez imperméables avec des zones perméables d'étendues notables ou bassins homogènes assez peu perméables) selon l'ORSTOM.

### ➤ *Hydrographie*

Le réseau hydrographique est en arête de poisson (voir en annexe l'extrait de la carte IGN à l'échelle 1/200000<sup>e</sup> de Fada N'Gourma) et le cours d'eau principal à une longueur de 7 km environ, une largeur en gueule de 4,6 m à l'exutoire et une profondeur moyenne de 1,7 m.

Le lit du marigot est tapissé d'un important dépôt de sable, donnant une idée de la faiblesse des vitesses d'écoulement. Aux abords immédiats du marigot sont cultivés le sorgho et certaines cultures maraîchères. Un puits de 3 m de profondeur environ situé à une dizaine de mètres du lit du marigot permet la pratique de l'irrigation pendant la saison sèche.

Notons cependant que lors de notre visite, le marigot était à sec.

### □ *Etude hydrologique*

Cette partie nous permettra d'estimer à partir des observations le débit de projet qui nous permettra de dimensionner nos ouvrages.

### ➤ *Superficie du bassin versant*

Sur la carte IGN à l'échelle 1/200000<sup>e</sup> nous avons délimité le bassin versant en positionnant l'axe de la digue. A l'aide d'un planimètre mécanique nous avons mesuré la superficie du bassin versant qui est de 18 km<sup>2</sup>.

### ➤ *Périmètre du bassin versant*

Son périmètre mesuré à l'aide d'un curvimètre est estimé à 16 km

### ➤ *Indice de compacité*

L'indice de compacité nous donne une idée de la forme plus ou moins arrondie du bassin versant. Sa valeur est :

$$I_{comp}=1,06$$

$I_{comp} < 1,128$  donc le bassin a une forme ovale.

➤ **Longueur du rectangle équivalent**

Le rectangle équivalent du bassin versant a une longueur :

$$L = 4 \text{ km}$$

➤ **Pente longitudinale**

La pente moyenne du bassin versant étant difficile à estimer nous l'avons assimilé à celle du cours d'eau principal.

$$I \approx 5,28 \text{ ‰}$$

Nous l'avons aussi estimé à l'aide de la formule simplifiée de Grésillon applicable pour les bassins versants inférieurs à  $120 \text{ Km}^2$ . Sa valeur selon Grésillon est de 6‰. Cette pente étant comprise entre 5‰ et 1‰, la classification selon L'ORSTOM est de type  $R_3$ .

➤ **Dénivelée spécifique**

Elle permet de caractériser le relief du bassin versant. sa valeur est :

$$D_s = 22,27 \text{ m}$$

$D_s < 50 \text{ m}$  donc le relief du bassin versant est faible.

#### 4. ESTIMATION DE LA CRUE DE PROJET

C'est la partie la plus déterminante d'un projet de barrage. En effet compte tenu du caractère aléatoire des pluies, il revient à l'ingénieur de faire la meilleure estimation de la crue de projet de telle sorte à ne pas la surestimer, ce qui contribuerait à sur dimensionner les ouvrages, et à ne pas le sous estimer ce qui compromettrait sa sécurité.

Nous allons donc estimer la crue décennale à l'aide de 3 méthodes différentes, les comparer et choisir celle qui nous paraît plus réaliste.

Pour les détails de tous les calculs, se référer à la note de calculs.

□ **Méthode du Gradex**

Selon la méthode du Gradex nous obtenons un débit décennal égal à :

$$Q_{10} = 23,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

## □ Méthode déterministe de l'ORSTOM

### ➤ Paramètres du bassin versant

#### ❖ Coefficient d'abattement

Sa valeur est de :

$$A_{10} = 0.84$$

#### ❖ Temps de base

C'est le temps entre le début et la fin du ruissellement de la pluie décennale.

Il est déterminé de deux manières différentes : L'une directement par calcul (604 mn) et l'autre sur abaque (660 mn).

Nous prendrons **Tb=604 mn** pour nous mettre dans le cadre de la sécurité.

#### ❖ Temps de montée

C'est le temps entre le début et la fin du ruissellement rapide. Nous l'avons aussi déterminé par les calculs et à l'aide d'abaques.

Nous obtenons Tm=165 mn par calcul.

Graphiquement pour une superficie de 18 km<sup>2</sup>, un régime sahélien et une classe R<sub>3</sub>P<sub>3</sub> on lit Tm= 2,8 h=168 mn .

Nous retiendrons donc **Tm= 165 mn**

#### ❖ Coefficient de ruissellement

Il est lu directement sur l'abaque et sa valeur est 24%.

### ➤ Débit décennal

$$Q_{r10} = \frac{10 \cdot \alpha_{10} \cdot A_{10} \cdot K_{r10} \cdot P_{10} \cdot S}{Tb_{10}}$$

Nous prendrons  $\alpha_{10}=1,9$  car la forme du réseau hydrographique est en arête poisson (voir en annexe le bassin versant).

On obtient  $Q_{r10}= 18,91 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{10} = 1,06 Q_{r10}$$

$$Q_{10} = 20,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### □ Méthode du CIEH- EIER

C'est une méthode graphique qui permet d'estimer la crue décennale. Nous avons utilisé les abaques C et D.

L'abaque C nous donne pour une superficie de  $18 \text{ km}^2$  et  $Kr_{10}=24\%$  une valeur :

$$Q_{10}=24 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous avons considéré la moyenne de ces valeurs et estimé la crue décennale à :

$$Q_{10}= 22 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 5. DEBIT DE PROJET

Le débit de projet pour les petits barrages est le plus souvent le débit centennal. C'est le débit de dimensionnement des ouvrages évacuateurs de la crue. Le passage de la crue décennale à la crue centennale se fait par majoration à l'aide d'un coefficient majorateur égal à 1,5 (voir note de calcul). Nous obtenons alors :

$$Q_p = 33 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 6. HYDROGRAMME DES CRUES

Il donne l'allure de la crue entre le début et la fin du ruissellement.

##### □ Débit de discontinuité décennal

C'est le débit à partir duquel il y a une rupture de la pente de décroissance du débit décennal.

$$Q_{d_{10}} = 10,82 \text{ m}^3/\text{s}.$$

##### □ Débit de discontinuité centennal

C'est le débit à partir duquel il y a une rupture de la pente de décroissance du débit centennal.

$$Q_{d_{100}} = C Q_{d_{10}} \text{ avec } C = \text{coefficient majorateur}.$$

$$Q_{d_{100}} = 16,23 \text{ m}^3/\text{s}.$$

## 7. ESTIMATION DES APPORTS

Le volume moyen stockable annuellement est estimé à :

$$V = P_{an} \cdot S \cdot K_e$$

$P_{an}$  = pluie annuelle = 878 mm

$S$  = superficie du bassin versant = 18 km<sup>2</sup>.

$K_e$  = coefficient d'écoulement moyen pris égal à 5%.

$$V = 790\,000 \text{ m}^3 / \text{an}$$

## **B. LES EVACUATEURS DE CRUE**

### **GENERALITES**

Le déversoir et plus généralement l'évacuateur de crue est l'un des ouvrages les plus importants dans la construction d'un barrage.

Il est important d'une part de par son rôle de garant de la sécurité du barrage et d'autre part de par son coût d'exécution.

En effet, la submersion d'un barrage en terre au passage d'une forte crue est toujours un phénomène particulièrement dangereux. Une grande proportion des accidents de rupture survenus à des barrages de ce type ont eu pour origine des surverses provenant des crues qui dépassaient la capacité du dispositif d'évacuation.

La détermination de la crue de projet est donc très importante pour la conception du projet.

Cette crue de projet calculée sera pondérée par l'effet du laminage dû à la montée du plan d'eau pour le dimensionnement de l'évacuateur.

Les évacuateurs peuvent être classés suivant leur type de fonctionnement en deux groupes :

#### **□ Les évacuateurs de surface**

L'évacuateur de surface est constitué au départ de la retenue par un déversoir dont le seuil se développe en général linéairement. Ce seuil débite dans un chenal à pente faible afin de limiter l'érosion à l'aval du déversoir.

L'énergie de l'eau est dissipée en partie dans un bassin de dissipation avant de rejoindre le lit mineur.

L'évacuateur de surface est placé selon les cas en position centrale ou latérale.

#### **□ Les évacuateurs en charge**

Dans les évacuateurs en charge, l'eau transite vers l'aval du barrage par une galerie ou par une conduite de gros diamètre disposée sous le barrage ou latéralement en rive. Cette conduite est alimentée par l'intermédiaire d'un puits, d'une tour ou par un déversoir de surface à crête ronde souvent circulaire.

Dans le cadre de notre étude, nous ne nous intéresserons qu'aux évacuateurs de surface.

## □ VARIANTES RETENUES

Les facteurs que nous avons pris en compte pour le choix des trois variantes sont :

- La nature de la fondation
- La disponibilité en matériaux
- La disponibilité en main d'œuvre
- Le coût par rapport au coût total du barrage
- Les possibilités de suivi et d'entretien

Nous avons pris également en compte la hauteur de chute, le tirant d'eau amont et les facteurs topographiques.

La visite du site nous a permis de constater que la topographie du site permet de positionner le déversoir en position centrale ou en position latérale, en rive gauche.

Compte tenu de l'expérience dont dispose l'ONBAH en matière de petits barrages, nous avons retenu les trois variantes suivantes :

### ➤ *Un déversoir en béton armé muni de contreforts en position centrale.*

Placé en position centrale, il constitue une solution tout à fait viable pour des hauteurs de barrages relativement modestes. Succinctement, il est constitué d'un voile en béton armé qui s'appuie sur des contreforts, le tout reposant sur une dalle qui se prolonge pour former un bassin de dissipation.

Les volumes de béton sont donc plus faibles que dans le cas du déversoir poids, mais la réalisation est plus délicate.

### ➤ *Un digue déversante en position centrale.*

C'est un déversoir posé sur la digue. Le talus amont est protégé par du perré sec ou maçonné et le talus aval est constitué de dalles en béton armé dans lesquelles sont enfouies des éjecteurs pour le drainage des eaux de fuite.

Nous avons retenu cette variante car elle nécessite moins de béton. Néanmoins sa réalisation est assez délicate car elle ne supporte pas les tassements différentiels. L'on devra donc veiller à ce que le compactage de la digue se fasse selon les normes proposées par le laboratoire géotechnique.

### ➤ *Un seuil déversant en béton cyclopéen en position latérale*

C'est un seuil placé en position latérale. Il est complètement enterré et nécessite peu de matériaux. Sa mise en œuvre est assez simple. Néanmoins, il nécessite des terrassements importants et une attention particulière doit être observée quant à la réalisation du chenal d'évacuation.

□ **SIMULATION DE LAMINAGE**

Cette simulation consiste à caler notre déversoir à des côtes différentes, à modifier la lame d'eau sur le déversoir et à déterminer la longueur de déversoir correspondante.

Nous avons à l'issue des différents calculs obtenu les résultats suivants :

Nous avons utilisé la formule de débit :  $Q = mLh\sqrt{2gh}$  avec  $m=0,4$

Crue de projet=33 m<sup>3</sup>/s ; Revanche sur les PHE=0,5 m

| Côte déversoir | Lame d'eau(m) | Longueur Déversoir(m) | Crue laminée(m <sup>3</sup> /s) | Côte PHE(m) | Côte digue(m) | Capacité (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|---------------|-----------------------|---------------------------------|-------------|---------------|----------------------------|
| 100,5          | 0,4           | 59                    | 26,73                           | 100,9       | 101,4         | 198 906                    |
| 100,5          | 0,5           | 41,22                 | 26,07                           | 101         | 101,5         | 198 906                    |
| 100,5          | 0,6           | 29,8                  | 24,75                           | 101,1       | 101,6         | 198 906                    |
| 101            | 0,4           | 57,6                  | 26                              | 101,4       | 101,9         | 310 956                    |
| 101            | 0,5           | 38                    | 24                              | 101,5       | 102           | 310 956                    |
| 101            | 0,6           | 25,4                  | 21,12                           | 101,6       | 102,1         | 310 956                    |

□ **CALAGE DU DEVERSOIR**

Dans le souci de stocker le maximum d'eau sans toutefois compromettre la sécurité du barrage nous avons choisi de caler notre déversoir à la côte 101 m avec une lame d'eau maximale de 0,5 m. La capacité du barrage est donc estimée à 310 956 m<sup>3</sup>.  $Q_eM/Q_cM=0,725$

Et  $Q/Q_cM=0,58$  lu sur l'abaque de « Techniques des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale ».  $Q_eM/Q_cM > Q/Q_cM$ , on est donc au-dessus de la validité du laminage.

□ **COURBE HAUTEUR -VOLUME -SURFACE**

Nous avons mesuré au planimètre la surface du plan d'eau correspondant à chaque côte. L'équidistance entre les courbes de niveaux étant de 0,5m, le volume partiel d'eau cumulée entre deux courbes de niveau consécutives est :



$$Vi = \frac{S_i + S_{i-1}}{2} \cdot 0,5$$

Le volume cumulé à la côte i est  $V = \sum_{j=1}^i V_j$

On obtient le tableau suivant :

| Côte(m) | Surface(ha) | Volume partiel(m <sup>3</sup> ) | Volume cumulé(m <sup>3</sup> ) |
|---------|-------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 97,2    | 0           | 0                               | 0                              |
| 98,0    | 0,20        | 606,70                          | 606,7                          |
| 98,5    | 2,22        | 6050,00                         | 6 656,7                        |
| 99,0    | 5,19        | 18 525,00                       | 25 181,7                       |
| 99,5    | 8,45        | 34 100,00                       | 59 281,7                       |
| 100,0   | 14,09       | 56 350,00                       | 115 631,7                      |
| 100,5   | 19,22       | 83 275,00                       | 198 906,7                      |
| 101,0   | 25,6        | 112 050,00                      | 310 956,7                      |

La courbe hauteur volume surface est tracée en annexe.

## 1. ETUDE DE LA 1<sup>ère</sup> VARIANTE : LA DIGUE DEVERSANTE

Cette variante est un déversoir central en radier submersible. C'est une partie de la digue sauf qu'elle est calée 1 m plus bas. La largeur en crête est de 3,50 m, le talus amont sera en perré sec, la crête en maçonnerie de moellons et le talus aval en dalle de 25 cm d'épaisseur. Le déversoir se compose en trois parties :

- un massif déversant
- un mur guide eau de part et d'autre.
- un bassin de dissipation
- un chenal d'évacuation

La jonction digue déversoir se fait au moyen de deux rampes de 5 m chacune et de même composition en crête que le déversoir.

### □ Dimensionnement du déversoir

La côte moyenne du terrain naturel aux abords du lit mineur étant de 98,00 m le déversoir aura une hauteur de 3m.. Lors de sa réalisation nous préconisons que les dalles à l'aval du déversoir soit réalisées par tranches de 5m de long .

#### ➤ *Le massif déversant*

Sa longueur est de 38 m, et sa crête est calée à la côte 101,00. Les pentes des talus amont et aval sont de 2H/1V. Le talus amont est protégé par du perré sec, la crête par de la maçonnerie de moellons et le talus aval par les dalles en béton armé. Ces dalles seront coulées par plots de 5 m. Elles ont une longueur de 6,7 m et une épaisseur de 0,25 m. Des éjecteurs de diamètre 50 mm seront incorporées dans la dalle à une équidistance de 2 m et servent à évacuer les eaux du drain.

#### ➤ *Bassin de dissipation*

Le bassin de dissipation a pour rôle de dissiper l'énergie de la lame liquide du déversoir avant qu'elle ne rejoigne le chenal d'évacuation.

Il existe plusieurs dispositifs de dissipation d'énergie :

- Les bassins de plongée
- Les becs déviateurs
- Les cuvettes de dissipation submergées

- Les bassins à ressaut

En fonction du nombre de Froude et de la vitesse, nous avons choisi un bassin à ressaut de type II car il permet de réduire considérablement la vitesse de sortie à une valeur moins érosive et compatible avec la stabilité des berges à l'aval. Son dimensionnement dépend :

- De la hauteur de chute  $h$
- Du niveau aval
- Du débit

La longueur du bassin de dissipation est de 38 m, une largeur de 3m pour une profondeur de 0,12 m. Il est en béton cyclopéen avec une épaisseur de 0,30 m et repose sur une couche filtrante de 0,10 m d'épaisseur. Des barbacanes en PVC  $\phi$  50 distants de 1,5 m devront être incorporées dans la dalle du bassin de dissipation et ont pour but d'annuler les sous pressions. Le bassin se termine par une bêche aval de 0,40 m d'épaisseur également en béton cyclopéen. Il sera aussi coulé en plots de 5 m séparés par des joints bitumineux.

#### ➤ *Le chenal d'évacuation*

Son rôle est de guider les eaux dans le thalweg et rejoindre le lit mineur du marigot. Les murs guide eaux serviront à résoudre le problème de restitution des eaux au lit mineur. En effet à l'aval du bassin de dissipation, nous avons prévu un rétrécissement brusque qui permettra de restituer les eaux. Les armatures du murs sont donc choisies de sorte à résister à la poussée hydraulique. Les caractéristiques sont indiquées sur les plans. La profondeur normale est de 0,41 m calculée à l'aide de la formule de Manning Strickler. Des enrochements et des cages de gabions seront placés transversalement pour parachever la dissipation de l'énergie et rattraper le terrain naturel. A l'aval immédiat du déversoir, le lit mineur sera aménagé. Son profil en travers est de forme trapézoïdale avec une largeur de 8 m et un fruit des berges égal à 1. Les berges seront protégées en perré maçonné sur une longueur de 5 m.

#### □ **Dispositions constructives**

Un tel déversoir même s'il présente des avantages doit être exécuté avec rigueur. En effet, il est très sensible aux tassements différentiels. Il convient donc de réaliser un remblai bien compacté sur toute sa longueur. Le remblai sera exécuté avec les engins de terrassement et monté à une côte légèrement supérieure à la côte de calage du déversoir. L'on viendra ensuite décaper à la côte exacte pour l'implantation du déversoir.

## 2. ETUDE DE LA 2<sup>e</sup> VARIANTE : LE MUR EN BETON ARME

C'est un seuil linéaire vertical se présentant comme un mur de soutènement. Il est installé sur une semelle qui assure sa stabilité. Les éléments constitutifs sont :

- Un mur déversant muni de contreforts
- Une semelle
- Une parafouille amont
- Une poutre bêche aval
- Des murs bajoyers
- Un bassin de plongée

### □ Dimensionnement du mur déversant

Le rideau est soumis à la poussée de l'eau qu'il retient. Nous avons considéré le cas où l'ouvrage déverse pour son dimensionnement. Il sera coulé en plots de 10 m séparés par des joints waterstop.

Le rideau a une épaisseur variant de 30cm en crête à 45 cm en base et est en béton armé dosé à  $350 \text{ kg/m}^3$ . Cette épaisseur est suffisante pour se prémunir de la fissuration du béton.

Le rideau fonctionne comme une console encastree dans la semelle et fléchiée sous la poussée de l'eau. Les calculs du ferrailage sont effectués à l'état limite de service en fissuration très préjudiciable.

### □ Dimensionnement des contreforts

Les contreforts servent de renforts au rideau. Ils travaillent en compression et leur épaisseur est de 15 cm. Ils sont de forme trapézoïdale et espacés de 4,6 m les uns des autres.

Leurs armatures sont dimensionnées à l'état limite de service en fissuration préjudiciable et nous les avons dimensionnées comme une poutre rectangulaire soumise à des efforts de compression.

Les armatures longitudinales sont des HA  $\phi 12$  espacés de 20 cm. Les armatures transversales sont des HA  $\phi 8$  espacés de 20 cm.

#### □ Dimensionnement de la semelle

Elle sert de fondation à l'ouvrage. Elle est soumise :

- à son poids propre
- au poids du rideau
- au poids du remblai
- aux réactions du sol
- au poids de l'eau
- aux sous pressions.

La semelle est surtout dimensionnée pour avoir une bonne stabilité au renversement. Sa longueur est de 2 m et son épaisseur de 40 cm.

#### □ Le bassin de dissipation

Le bassin de dissipation adapté à ce type de déversoir est le bassin de plongée. Il est constitué de deux parties :

- Une cuvette de dissipation
- Partie aval en enrochements de pente 6%.

Sous l'effet de la chute, le fond de la cuvette a tendance à s'affouiller. Pour éviter ces incidents, il est préférable d'avoir un matelas d'eau de profondeur suffisante dans la cuvette pour amortir l'impact.

La partie aval en enrochements de pente 6% et de 4 m de long permet de maintenir une lame d'eau suffisante dans la cuvette. Ces enrochements sont maintenus en équilibre à l'aide de rideaux de cages de gabions.

#### □ Le chenal d'évacuation

Il est dimensionné comme pour la variante 1 à l'exception que la longueur du lit mineur aménagée est de 5,5 m.

### 3. ETUDE DE LA 3<sup>ème</sup> VARIANTE : LE SEUIL DEVERSANT EN POSITION LATÉRALE

C'est un seuil linéaire enterré en béton ordinaire placé en position latérale.

#### □ Description

Il est constitué de :

- un mur déversant
- un mur bajoyer de part et d'autre
- un bassin de dissipation
- Un chenal d'évacuation de forme trapézoïdale.

#### □ Dimensionnement

##### ➤ Calcul du mur

Le mur est totalement enterré sur une profondeur de 1 m. Il est en béton ordinaire et a une épaisseur de 0,3 m. Il sera exécuté par plots de 10 m séparés par des joints waterstop. Sa longueur s'étale de la côte 101,00 à la côte 101,60. Son exécution nécessite donc beaucoup de travaux de terrassements.

##### ➤ Le bassin de dissipation

Le bassin de dissipation sera de type plongée pour amortir l'énergie de chute. Un matelas d'enrochement de 1 m de long posé sur 10 cm de maçonnerie servira de dissipateur. Une cage de gabions servira d'une part à parachever la dissipation et d'autre part à rattraper le terrain naturel.

##### ➤ Le chenal d'évacuation

L'un des problèmes majeurs des déversoirs latéraux est l'érosion régressive du chenal. Celle-ci se développe de l'aval vers l'amont et peut à terme fragiliser le déversoir et provoquer sa destruction. C'est la raison pour laquelle nous avons accordé un grand intérêt à son dimensionnement car c'est de lui que dépendra la survie du barrage.

##### ❖ Dimensionnement du chenal

Le chenal d'évacuation est de forme trapézoïdale avec un fruit des berges égal à 2. Le chenal sera examiné avec beaucoup d'attention du fait de sa pente qui est l'ordre de 2% et de sa géométrie. Elle a une largeur amont de 38 m et aval de 15 m. Il est constitué de 2

escaliers en cages de gabions disposées perpendiculairement à l'écoulement de sorte à dissiper une partie de l'énergie de l'eau. Il est constitué de deux parties :

- une première partie longue de 16 m et dont les talus seront protégés par du perré maçonné.
- une seconde partie dont les berges seront protégées en perré sec qui permettra l'écoulement des eaux vers le lit mineur.

Sa longueur est de 58 m et sa profondeur varie de 0,25 m à 0,5 m.

A l'aval du chenal, la pente du terrain naturel est de 8 ‰ et est voisine de celle du lit mineur, les conditions d'écoulement seront donc similaires et l'érosion sera négligeable. Elle a une longueur de 170 m. Néanmoins une attention particulière doit être observée après chaque crue au cas où des griffes d'érosion feraient leur apparition.

## C. DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE

### 1. GENERALITES

La plupart des barrages construits en Afrique sont en terre du fait de l'acceptabilité de son coût. Néanmoins, l'inconvénient majeur est sa non résistance à la submersion. Pour ce faire, la digue doit être calée de façon à avoir une revanche suffisante lui permettant d'être à l'abri de tels incidents.

Dans le cadre de notre étude, nous proposons une digue homogène compte tenu de la présence in situ des matériaux et de sa facilité d'exécution.

Le barrage en terre homogène est constitué d'un massif en terre compactée à 95% de son maximum proctor, muni d'un dispositif de drains dans sa partie aval et d'une protection mécanique contre l'effet du batillage dans sa partie amont.

### 2. DIMENSIONNEMENT

#### □ Hauteur de la digue

Cette hauteur résulte d'un compromis entre les données topographiques, hydrologiques et les facteurs économiques. Elle doit vérifier la relation :

**Hauteur = Hauteur normale des eaux + charge maximale + revanche.**

Dans le cadre de notre étude et compte tenu de l'expérience que l'O.N.B.A.H. a des petits barrages en terre, nous adoptons une revanche de 0,5 m.

#### □ Calage de la crête de la digue

Le déversoir étant calé à la côte 101,00 nous choisissons de caler la crête de la digue à la côte 102,00 m. Néanmoins compte tenu de la topographie de la cuvette, la digue sera arrêtée en rive droite au profil où le TN est à la côte 101,80 m, ce qui contribuerait à renforcer la sécurité du barrage car le terrain naturel à droite à partir de ce point sera comme un déversoir de sécurité en cas de crue exceptionnelle.

#### □ Largeur en crête de la digue

Nous l'avons calculé à l'aide de deux formules différentes :

- Formule de PEECE :  $b = 1,1\sqrt{H} + 1$



H=4 m

B=3,2 m

Formule de KNAPPEN :  $b= 1,65 \sqrt{H}$

B =3,3 m

Pour permettre le passage des engins de compactage nous prendrons **b=3,5 m**.

#### □ **Pente des talus**

Elles dépendent de la nature des matériaux et doivent être suffisamment douces pour assurer la stabilité des talus. Le barrage étant homogène, nous préconisons une pente de 2H/1V aussi bien à l'amont qu'à l'aval.

#### □ **Protection de la digue**

L'effet du batillage contribue à éroder les talus de la digue. Ce phénomène peut à la longue provoquer des fissurations et permettre une infiltration non contrôlée de l'eau à travers la digue.

Pour palier à cela des dispositions doivent être prises pour éviter de tels incidents.

##### ➤ **Talus amont**

Le talus amont sera protégé à l'aide de perré posé à la main sur une épaisseur de 25cm.

##### ➤ **Talus aval**

Il devra être protégé par une couche de 15 cm d'épaisseur de grave latéritique légèrement compactée. L'on devra veiller à dessoucher les plantes qui y pousseront.

##### ➤ **Crête de la digue**

Elle sera protégée par une couche de graveleux de 20 cm d'épaisseur avec un léger dévers de 2% vers l'amont pour permettre l'écoulement des eaux dans cette direction afin de protéger le talus aval.

#### □ **Tranchée d'ancrage**

La pratique courante consiste à réaliser une tranchée d'ancrage sous le remblai. Sa largeur est égale à 3,5 m et sa forme est trapézoïdale. Sa profondeur est calculée par application de la règle de Lane. Cette tranchée sera remblayée d'argile compactée.

#### □ Dispositif de drainage interne

Les infiltrations dans le corps du remblai sont des phénomènes inévitables qui peuvent à la longue diminuer la cohésion des matériaux et provoquer un effet de boulangerie. Pour atténuer ces effets, un dispositif de drainage interne est prévu pour diriger ces eaux vers le drain aval. La longueur du drain est égale au tiers de la base de la digue et son épaisseur est de 40 cm.

### 3. IDENTIFICATION DES MATERIAUX

#### □ Le remblai

Le laboratoire géotechnique de l'ONBAH a identifié une carrière à environ 800 m de l'axe de la digue en rive droite.

Six sondages de 150 cm de profondeur ont été effectués et l'identification par la classification USCS montre qu'il s'agit d'un mélange d'argile peu plastique et de sable argileux. La superficie explorée est de 120m x120 m et la couche exploitable de 1,3 m. La puissance de cette carrière est estimée à 18 000 m<sup>3</sup>.

Une zone d'emprunt a été aussi localisée dans la cuvette du barrage. Les essais proctor effectués sur ces matériaux donnent les résultats présentés en annexe.

#### □ Les matériaux de construction

Le sable se trouve en quantité le long du lit du marigot mais est un peu grossier. On en trouve également à WOKO à 10 km du site.

Le gravier se trouve en quantité et en qualité suffisante à BOMPA à 1,5 km du site.

Les moellons ont été également identifiés à BOMPA.

### 4. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

La tranchée d'ancrage sera creusée sur toute sa hauteur à l'aide d'une pelle mécanique se déplaçant dans l'axe de la fouille. Le matériau extrait sera déposé sur le bord aval. Le remplissage de la tranchée en argile devra se faire par couches de 0,20 m de profondeur et bien compactée dynamiquement.

Le corps de la digue sera être compactée à 95 % de l'optimum proctor.

## CHAPITRE II : ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Tout projet visant à modifier le milieu naturel nécessite une étude d'impact sur l'environnement. Dans cette partie de notre étude, nous étudierons dans un premier temps l'impact du barrage de Louargou sur l'environnement et dans un second temps l'impact de chaque variante d'évacuateur de crue.

Une étude d'impact équilibrée et bien conduite doit mettre en valeur les aspects aussi bien positifs que négatifs du projet. Après avoir diagnostiqué tous les effets du projet, nous ferons des propositions de solutions alternatives permettant d'atténuer les effets négatifs et de renforcer les impacts positifs.

### A. IMPACT DU BARRAGE

#### 1. Avantages

Le barrage de Louargou à l'instar de tous les ouvrages de stockage d'eau a un effet positif dans la mesure où elle permet à la population de disposer d'une certaine quantité d'eau.

En effet la présence d'eau à proximité du village ( environ 300 000 m<sup>3</sup>) contribuera à changer les habitudes de la population. Dans un premier temps il permettra d'intensifier la pratique du maraîchage qui est une activité rémunératrice par excellence.

Le barrage permettra dans un second temps la pratique de la pêche et l'abreuvement des animaux. Enfin le barrage va créer un micro climat et servira de lieu de repos.

#### 2. Inconvénients

Le barrage de Louargou bien que bénéfique pour la population inonde cependant 25,6 ha de terre cultivable ainsi que la route Louargou-Kouantenga. Toute la cuvette du barrage est cultivée en sorgho et en culture maraîchère et la présence du barrage rendra impossible cette activité. De nombreux problèmes fonciers vont donc se poser avec en tête celui de la redistribution des terres.

Le barrage peut être la cause de migrations des populations environnantes, ce qui fera du village de Louargou une zone densément peuplée et exposée à la désertification.

La modification du régime hydrique et l'interruption totale ou partielle de l'ancien cours d'eau peut entraîner la disparition des activités traditionnellement présentes à l'aval.

A cela s'ajoutera la pollution de la nappe due à l'utilisation des produits phytosanitaires et des engrais ainsi que la modification des équilibres socio-économiques.

La présence d'une importante quantité d'eau stagnante va générer la reproduction des larves, des moustiques et drainer par la même occasion des maladies hydriques telles que la cécité, le vers de Guinée, la bilharziose etc.

Le barrage pourrait enfin servir de lieu de baignade, ce qui pourrait provoquer des noyades et des propagations de germes pathogènes.

## **B. IMPACT DES EVACUATEURS**

L'impact des évacuateurs est surtout lié à leur position. Nous allons donc étudier l'impact de la position centrale et latérale.

### **1. Déversoir en position centrale**

#### **□ Avantages**

La position centrale du déversoir même si elle modifie le biotope à l'aval du déversoir permet néanmoins en cas de déversement de reconstituer un écoulement presque naturel.

#### **□ Inconvénients**

L'inconvénient est surtout lié à son coût d'exécution du fait de sa hauteur qui est de l'ordre de 4 m.

### **2. Déversoir en position latérale**

#### **□ Avantages**

L'avantage est lié à sa simplicité dans l'exécution et à son coût acceptable. Le chenal d'évacuation nécessite une main d'œuvre abondante et sa réalisation permettra aux populations bénéficiaire de participer et de se sentir propriétaires de l'ouvrage.

#### **□ Inconvénients**

Le déversoir latéral modifie fortement le milieu naturel à l'aval immédiat du barrage. Il modifie l'écoulement naturel des eaux provoquant ainsi une érosion régressive qui si elle n'est pas prévenue peut provoquer la destruction de l'ouvrage.

## C. PROPOSITIONS DE SOLUTIONS

Nous proposons qu'une politique de redistribution des terres soit mise en place avec l'accord des bénéficiaires avant l'exécution des ouvrages afin d'éviter les problèmes fonciers.

L'axe Louargou - Kouatenga devra être reconstruite avant la mise en eau du barrage.

Une bonne sensibilisation doit être menée pour la bonne utilisation et le bon fonctionnement du barrage. Une équipe de jeunes devra être formée et sera chargée de l'entretien de la digue et du chenal en cas d'apparition des griffes d'érosion.

Enfin, les baignades devront être interdites dans le barrage. Les eaux du barrage ne doivent pas être utilisées comme eaux de boisson sans traitements particuliers.

## CHAPITRE III : CHOIX DE LA VARIANTE ET RECOMMANDATIONS

A l'issue de notre étude, nous avons estimé à partir du cadre de bordereau des prix de l'ONBAH le coût de chaque variante hors taxes.

### A. INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous avons obtenu les résultats suivants :

| DESIGNATION       | COUT ( FCFA) |
|-------------------|--------------|
| DIGUE DEVERSANTE  | 30 237 525   |
| MUR EN BETON ARME | 46 443 160   |
| MUR DEVERSANT     | 9 135 900    |

A partir des résultats obtenus nous pouvons en déduire que pour le cas précis du barrage de Louargou , l'emplacement du déversoir et son type sont très déterminants dans le coût de réalisation du projet.

En effet en comparant les différents coûts de réalisation , nous avons obtenu les ratios suivants.

$$\frac{\text{Im pact} - \text{du} - \text{choix} - \text{de} - \text{la} - \text{variante}}{\text{Cout} - \text{du} - \text{mur} - \text{en} - \text{béton} - \text{armé}} = 1,53$$
$$\frac{\text{Cout} - \text{de} - \text{la} - \text{digue} - \text{déversante}}{\text{Cout} - \text{du} - \text{mur} - \text{en} - \text{béton} - \text{armé}} = 1,53$$

$$\frac{\text{Im pact} - \text{du} - \text{choix} - \text{de} - \text{la} - \text{position}}{\text{Cout} - \text{du} - \text{mur} - \text{en} - \text{béton} - \text{armé}} = 5,08$$
$$\frac{\text{Cout} - \text{du} - \text{seuil} - \text{déversant}}{\text{Cout} - \text{du} - \text{mur} - \text{en} - \text{béton} - \text{armé}} = 5,08$$

$$\frac{\text{Cout} - \text{de} - \text{la} - \text{digue} - \text{déversante}}{\text{Cout} - \text{du} - \text{seuil} - \text{déversant}} = 3,3$$

En effet, la digue déversante et le déversoir en béton armé ont sensiblement le même coût. Cela est dû à la hauteur des ouvrages.

Par contre, le seuil déversant en position latérale s'avère moins coûteux dans la mesure où il a une faible hauteur et que les sollicitations ne sont pas très importantes.

## B. CHOIX DE LA VARIANTE

La variante que nous préconisons dans le cadre de ce projet est bien évidemment le seuil déversant en position latérale. En effet son coût de réalisation est acceptable et les données topographiques du site sont favorables à sa réalisation.

Néanmoins, nous préconisons qu'une attention particulière soit réservée au chenal d'évacuation car l'érosion régressive est l'un des plus grands dangers qu'encourent les déversoirs en position latérale.

## CONCLUSION

L'étude que nous venons de mener sur les trois variantes d'évacuateur de crue montre à quel point le choix de la variante dans l'étude d'un projet de barrage est déterminante pour son coût de réalisation.

En effet, pour trois variantes ayant les mêmes capacités d'évacuation, nous avons constaté que les coûts de réalisation pouvaient d'une variante à l'autre tripler voire même quintupler.

Les résultats de cette étude interpellent donc tout ingénieur chargé de l'étude d'un projet à choisir de façon judicieuse une variante de déversoir adaptée au site.

Néanmoins, nous invitons tout concepteur à prendre ces résultats avec méfiance car ils découlent de l'étude du barrage de Louargou qui n'a pas forcément les mêmes contraintes que celui du barrage dont il est chargé de faire les études.



## CHAPITRE IV : NOTES DE CALCUL

### A. DONNEES PLUVIOMETRIQUES

#### 1 Pluie annuelle

##### ☐ Méthode calculée

La moyenne calculée de l'échantillon est :

$$m = \sum_{i=1}^{50} X_i$$

La moyenne calculée est **m= 877,87 mm.**

L'écart-type calculé est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^{50} (X_i - m)^2 \right)}$$

On obtient  **$\sigma = 157,7$  mm**

La droite calculée par les points A et B avec :

$$F_A=0,5 \text{ et } X_A=877,87$$

$$Y_B= 0,05 \text{ et } X_B= 877,87 -1,64 \times 157,37$$

$$X_B=619,78 \text{ mm}$$

##### ☐ Méthode graphique

L'ajustement s'est fait suivant la loi de Gauss en considérant 50 années de pluies ( 1948 -1997)

Les données ont été classées par ordre croissant et la probabilité de non-dépassement de la variable i est :

$$F_i = \frac{i}{N} - \frac{1}{2N}$$

Avec N = nombre d'observations égal à 50.

Nous avons placé sur le papier Gauss les points  $M_i(X_i, U_i)$  avec :

$$U_i = \frac{X_i - m}{S}$$

avec  $m = 877,87$  mm et  $S = 157,37$  mm.

Nous avons obtenu le tableau suivant :

| Pluies (mm) | Fréquence de non-dépassement | Pluies (mm) | Fréquence de non-dépassement |
|-------------|------------------------------|-------------|------------------------------|
| 568         | 0,01                         | 883,2       | 0,49                         |
| 612,4       | 0,03                         | 893,4       | 0,51                         |
| 645,7       | 0,05                         | 896,7       | 0,53                         |
| 647,1       | 0,07                         | 908,1       | 0,55                         |
| 667,9       | 0,09                         | 913,4       | 0,57                         |
| 707,7       | 0,11                         | 920,9       | 0,59                         |
| 709,5       | 0,13                         | 929,8       | 0,61                         |
| 714,6       | 0,15                         | 933,5       | 0,63                         |
| 723,8       | 0,17                         | 933,6       | 0,65                         |
| 729,9       | 0,19                         | 969,2       | 0,67                         |
| 732,4       | 0,21                         | 978,4       | 0,69                         |
| 739         | 0,23                         | 984,8       | 0,71                         |
| 741         | 0,25                         | 986,5       | 0,73                         |
| 764,7       | 0,27                         | 990,6       | 0,75                         |
| 765,5       | 0,29                         | 996,4       | 0,77                         |
| 770,6       | 0,31                         | 1011,5      | 0,79                         |
| 784,2       | 0,33                         | 1028,8      | 0,81                         |
| 785,3       | 0,35                         | 1030,1      | 0,83                         |

|       |      |        |      |
|-------|------|--------|------|
| 789,7 | 0,37 | 1068,6 | 0,85 |
| 813,5 | 0,39 | 1083,9 | 0,87 |
| 834   | 0,41 | 1084,2 | 0,89 |
| 839,9 | 0,43 | 1096,2 | 0,91 |
| 857   | 0,45 | 1141,6 | 0,93 |
| 857,4 | 0,47 | 1314,1 | 0,95 |

La pluviométrie moyenne annuelle est donc estimée à **878 mm**.

## 2. Pluie maximale journalière

Nous avons ajusté suivant la loi de Gumbel les données pluviométriques journalières maximales de 50 années d'observations.

La probabilité de non dépassement est donnée par la loi :

$$F(x) = e^{-e^{-u}}$$

$$\text{Avec } U = \frac{x - x_0}{s}$$

$$m = x_0 + 0,577 s$$

$$\sigma = 1,283 s$$

Les données ont été classées par ordre croissant et la probabilité de non-dépassement de la variable  $i$  est :

$$F_i = \frac{i}{N} - \frac{1}{2N}$$

Avec  $N$  = nombre d'observations égal à 50.

Nous avons placé sur le papier Gumbel les points  $M_i(X_i, F_i)$ .

Nous avons obtenu le tableau suivant :

| Pluies (mm) | Fréquence de non-dépassement | de | Pluies (mm) | Fréquence de non-dépassement |
|-------------|------------------------------|----|-------------|------------------------------|
| 46,7        | 0,01                         |    | 65,4        | 0,49                         |
| 47,5        | 0,03                         |    | 66,3        | 0,51                         |
| 47,5        | 0,05                         |    | 67,8        | 0,53                         |
| 47,9        | 0,07                         |    | 69,8        | 0,55                         |
| 48,1        | 0,09                         |    | 70,2        | 0,57                         |
| 48,5        | 0,11                         |    | 70,7        | 0,59                         |
| 48,7        | 0,13                         |    | 71,1        | 0,61                         |
| 49,1        | 0,15                         |    | 71,3        | 0,63                         |
| 49,5        | 0,17                         |    | 73,2        | 0,65                         |
| 49,9        | 0,19                         |    | 75,3        | 0,67                         |
| 52,4        | 0,21                         |    | 81,7        | 0,69                         |
| 52,5        | 0,23                         |    | 82,3        | 0,71                         |
| 52,8        | 0,25                         |    | 83,9        | 0,73                         |
| 54,8        | 0,27                         |    | 85,1        | 0,75                         |
| 54,8        | 0,29                         |    | 85,1        | 0,77                         |
| 59,2        | 0,31                         |    | 86,7        | 0,79                         |
| 61,4        | 0,33                         |    | 87,3        | 0,81                         |
| 61,5        | 0,35                         |    | 89,2        | 0,83                         |
| 62,3        | 0,37                         |    | 90,1        | 0,85                         |
| 63,1        | 0,39                         |    | 108         | 0,87                         |
| 64          | 0,41                         |    | 111,9       | 0,89                         |
| 64,1        | 0,43                         |    | 118         | 0,91                         |
| 64,7        | 0,45                         |    | 133         | 0,93                         |

|      |      |       |      |
|------|------|-------|------|
| 64,8 | 0,47 | 134,4 | 0,95 |
|------|------|-------|------|

□ Détermination graphique de  $x_0$  et  $s$

Pour  $F=0,3$  on lit  $x_1=54$  et  $u=-0,2$

Pour  $F=0,98$  on lit  $x_2=143$  et  $u=3,9$

$$X = x_0 + su$$

Après résolution du système :

$$\begin{cases} 54 = x_0 - 0,2s \\ 143 = x_0 + 3,9s \end{cases}$$

On obtient :

$$S = 21,7 \text{ mm}$$

$$X_0 = 58,34 \text{ mm}$$

□ Détermination de  $x_0$  et  $s$  par le calcul

La moyenne de l'échantillon est :

$$m = \sum_{i=1}^{50} X_i$$

La moyenne calculée est  $m = 72,32 \text{ mm}$ .

L'écart-type calculé est :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left( \sum_{i=1}^{50} (X_i - m)^2 \right)}$$

$$\sigma = 23,4 \text{ mm}$$

$$x_0 = m - \alpha_n \cdot \sigma$$

$$s = \beta_n \cdot \sigma$$

avec  $\alpha_n = 0,472$

et  $\beta_n = 0,861$

On obtient alors  $x_0 = 61,27$  et  $s = 20,19$

Les deux méthodes donnent des résultats semblables.

Ainsi

Pour  $F=0,9$  On obtient

$$X = 61,27 + 20,19 \times 2,25$$

$$X = 106,7 \text{ mm}$$

Pour  $F=0,99$

On a  $X = 154,15 \text{ mm}$

En conclusion

$$P_{10} = 107 \text{ mm}$$

$$P_{100} = 154 \text{ mm}$$

$$P_{an} = 878 \text{ mm}$$

## B. DETERMINATION DE LA CRUE DECENNALE

### 1. Indice de compacité

$$I_{comp} = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$$

$$I_{comp} = 1,06$$

### 2. Longueur du rectangle équivalent

Pour  $I_{comp} < 1,128$  sa valeur est :

$$L = \frac{P}{4}$$

$$L = 4 \text{ km}$$

### 3. Pente longitudinale

Tout le bassin versant n'ayant pas été levé, nous avons déterminé sur la carte topographique à l'échelle 1/200 000<sup>e</sup> les côtes de deux points sur le marigot principal et calculé la dénivelée entre ces deux points.

Cette méthode, ne nous donne pas exactement la pente longitudinale du bassin versant mais une valeur approchée que nous supposerons assimilable à cette pente.

Nous obtenons :

$$I = \frac{320 - 283}{7}$$

$$I \approx 5,28 \text{ ‰}$$

A l'aide de la formule de Grésillon on a :

$$I = \frac{0,026}{\sqrt{S}} \quad S \text{ étant la superficie du bassin versant en km}^2. \text{ On obtient } I=6,12\text{‰.}$$

#### 4. Dénivelée spécifique

$$Ds = I\sqrt{S}$$

$$Ds = 22,27 \text{ m}$$

$Ds < 50 \text{ m}$  donc le relief du bassin versant est faible.

#### 5. Méthode du Gradex

$$Q_{10}^* = 22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = Q_{10}^* \cdot \frac{P_{10}}{100}$$

$$Q_{10} = 23,54 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 6. Méthode déterministe de l'ORSTOM

##### □ Paramètres du bassin versant

##### ➤ Coefficient d'abattement

$$A_{10} = 1 - 0,001(161 - 0,042 \text{ Pan}) \log(S)$$

$$A_{10} = 0,84$$

##### ➤ Temps de base

$$\text{On a } T_b = 163 \cdot S^{0,36} + 142$$

$T_b = 604 \text{ mn} \approx 10 \text{ heures}$

Sur l'abaque on lit pour  $T_b = 11 \text{ heures}$

➤ **Temps de montée**

Graphiquement pour une superficie de  $18 \text{ km}^2$ , un régime sahélien et un bassin versant de classe  $R_3P_3$  on lit  $T_m = 2,75 \text{ h} = 165 \text{ mn}$ .

Nous retiendrons donc  **$T_m = 165 \text{ mn}$**

➤ **Coefficient de ruissellement**

Nous l'avons déterminé graphiquement sur l'abaque en fonction des paramètres :

- Classe  $R_3P_3$
- $S = 18 \text{ km}^2$
- Régime sahélien

On lit graphiquement  **$Kr_{10} = 24 \%$**

□ **Débit décennal**

$$Q_{r_{10}} = \frac{10 \cdot \alpha_{10} \cdot A_{10} \cdot Kr_{10} \cdot P_{10} \cdot S}{T_{b_{10}}}$$

Nous prendrons  $\alpha_{10} = 1,9$  car le réseau hydrographique en en arête poisson.

On obtient  $Q_{r_{10}} = 18,91 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{10} = 1,06 Q_{r_{10}}$$

$$Q_{10} = 20,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 7. Méthode du CIEH- EIER

C'est une méthode graphique qui permet d'estimer la crue décennale. Nous avons utilisé les abaques C et D.

L'abaque C nous donne pour une superficie de  $18 \text{ km}^2$  et  $Kr_{10} = 24\%$  une valeur :

$$Q_{10} = 24 \text{ m}^3/\text{s}$$



L'abaque D nous donne pour une valeur  $Ig = 5 \text{ m/km}$  une valeur :

$$Q_{10} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous avons considéré la moyenne de ces quatre valeurs et estimé la crue décennale à :

$$Q_{10} = 22 \text{ m}^3/\text{s}$$

### C. DEBIT DE PROJET

Le débit de projet pour les petits barrages est le plus souvent le débit centennal et il est calculé de la façon suivante :

$$Q_p = C Q_{10}$$

Avec  $C$  = coefficient majorateur calculé de la façon suivante :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \cdot \frac{\left(\frac{Tb}{24}\right)^{0.12}}{Kr_{10}}$$

$$C = 1,25$$

Nous prendrons pour plus de sécurité  $C = 1,5$

Le débit de projet est donc :

$$Q_p = 33 \text{ m}^3/\text{s}$$

### D. HYDROGRAMME DES CRUES

Il donne l'allure de la crue entre le début et la fin du ruissellement.

#### 1. Débit de discontinuité décennal

$$Q_{d_{10}} = \frac{2(Tb - KTm)}{K(Tb - 2Tm)} Q_{10}$$

avec  $K=2,6$

On obtient :

$$Qd_{10} = 10,82 \text{ m}^3/\text{s}.$$

## 2. Débit de discontinuité centennal

$$Qd_{100} = C. Qd_{10}$$

$$Qd_{100} = 16,23 \text{ m}^3/\text{s}.$$

## E. LAMINAGE DE LA CRUE

Nous avons utilisé la méthode du CIEH-EIER.

Les données sont :

- $Q_{\max} = 33 \text{ m}^3/\text{s}$
- Lamé d'eau variable
- Surface inondée variable
- Temps de montée = 9900 s

La loi de débit est  $Q = m l_1 h. (2gh)^{1/2}$

$l_1$  est la longueur du déversoir si on ne tient pas compte de l'effet du laminage.

Avec  $m = 0,4$

Le coefficient  $x_0$  est calculé à l'aide de la formule :

$$x_0 = \frac{m^2 g L^2 Q_{\max} T m^3}{S^3}$$

On lit  $\beta$  graphiquement à l'aide de  $\log(x_0)$

La longueur initiale est multipliée par  $\beta$  et on réitère l'opération jusqu'à ce que la longueur converge.

Ainsi on obtient le tableau suivant :

COTE DEVERSOIR=100,5 m

Lame d'eau=0,4 m

S=19,22 ha

L<sub>1</sub>=72,92 m

| Log (x <sub>0</sub> ) | $\beta$ | Longueur (m) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------|---------|--------------|----------------------|
| 1,58                  | 0,85    | 61,98        | 28,05                |
| 1,44                  | 0,84    | 61,25        | 27,72                |
| 1,43                  | 0,82    | 59,79        | 27,06                |
| 1,41                  | 0,81    | 59           | 26,73                |
| 1,4                   | 0,81    | 59           | 26,73                |
| LONGUEUR =59 m        |         |              |                      |

Lame d'eau = 0.5m

L<sub>1</sub>=52,18 m

| Log (x <sub>0</sub> ) | $\beta$ | Longueur (m) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------|---------|--------------|----------------------|
| 1,29                  | 0,8     | 41,74        | 26,4                 |
| 1,1                   | 0,79    | 41,22        | 26,07                |
| 1,09                  | 0,79    | 41,22        | 26,07                |
| LONGUEUR =41,22 m     |         |              |                      |

Lame d'eau = 0,6 m

$L_1=39,7$  m

| Log (xo)        | $\beta$ | Longueur (m) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------|---------|--------------|----------------------|
| 1,05            | 0,78    | 30,96        | 25,74                |
| 0,84            | 0,76    | 30,16        | 25,08                |
| 0,817           | 0,75    | 29,8         | 24,75                |
| 0,81            | 0,75    | 29,8         | 24,75                |
| LONGUEUR=29,8 m |         |              |                      |

COTE DEVERSOIR :101 m

S=25,6 ha

Lame d'eau = 0,4m

$L_1=72,92$  m

| Log (xo)        | $\beta$ | Longueur (m) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------|---------|--------------|----------------------|
| 1,21            | 0,8     | 58,33        | 26,4                 |
| 1,01            | 0,78    | 56,88        | 25,74                |
| 0,99            | 0,78    | 56,88        | 25,74                |
| LONGUEUR=56,9 m |         |              |                      |

Lame d'eau =0,5 m

$L_1=52,17$  m

| Log (xo)      | $\beta$ | Longueur (m) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|---------------|---------|--------------|----------------------|
| 0,92          | 0,73    | 38,09        | 24,9                 |
| 0,64          | 0,725   | 37,83        | 23,93                |
| 0,64          | 0,725   | 37,83        | 23,93                |
| LONGUEUR=38 m |         |              |                      |

Lame d'eau=0,6m

L1=39,69 m

| Log (x <sub>0</sub> ) | β    | Longueur (m) | Q(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------|------|--------------|----------------------|
| 0,68                  | 0,69 | 27,39        | 22,77                |
| 0,36                  | 0,65 | 25,8         | 21,45                |
| 0,3                   | 0,64 | 25,4         | 21,12                |
| 0,29                  | 0,64 | 25,4         | 21,12                |
| LONGUEUR=25,4 m       |      |              |                      |

## F. DIMENSIONNEMENT DES EVACUATEURS DE CRUE

### 1. Digue déversante

- Dimensionnement du bassin de dissipation

#### ➤ Nombre de Froude

Lame d'eau : h=0,5m

H= hauteur du seuil au-dessus du TN = 3 m

Prenons un enfoncement ΔH=0,3 m

q = débit par mètre linéaire du déversoir

$$q = \frac{Q}{L}$$

q= 0,63 m<sup>3</sup>/s

$$V_0 = \frac{q}{h}$$

avec h=0,5m

V<sub>0</sub>=1,24 m/s

$$\frac{Vo^2}{2g} = 0,08$$

$$Ho = \frac{Vo^2}{2g} + H + \Delta H$$

$$Ho = 0,58 \text{ m}$$

$$Z = Ho + H + \Delta H$$

$$Z = 3,88 \text{ m}$$

$$H = 3,6 \text{ m}, \quad h = 0,5 \text{ m}$$

On obtient  $V = 8,5 \text{ m/s}$

$$y_1 = \frac{q}{\sqrt{2g(Z - y_1)}}$$

*et*

$$V = \frac{q}{y_1}$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy_1}}$$

On obtient :

$$y_1 = 0,072 \text{ m}$$

$$V = 8,61 \text{ m/s}$$

$$F = 10,25$$

➤ **Profondeur du bassin :**

$$y_2 = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8F^2}}{2} y_1$$

$$y_2 = 1,1 \text{ m}$$

Le bassin est de type II car  $F > 4,5$  et  $V < 15 \text{ m/s}$ .

➤ **Longueur du bassin**

Selon l'abaque de la figure IV-9 du polycopié intitulé « Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique » on lit  $L = 2,6 y_2$

$L = 2,86 \text{ m}$ . Nous retenons  **$L = 3 \text{ m}$** .

➤ **Blocs de chute :**

Leur hauteur est de 8 cm et ils sont espacés de 8 cm.

➤ **Blocs de chicanes.**

D'après l'abaque ,  $h_2=2,7 \times y_1 = 19,44$  cm et nous prendrons  $h_2=20$  cm.

La largeur en crête est égale à  $0,2 h_2= 4$  cm et nous prendrons  $le=5$  cm.

➤ **Seuil terminal**

Sa hauteur est égale à  $h_4=1,6 y_1=11,52$  cm et nous prendrons  $h_4=12$  cm.

□ **Chenal d'évacuation**

Afin d'éviter la construction d'un chenal trapézoïdal qui nécessiterait d'énormes terrassements , nous avons jugé plus économique de créer un rétrécissement brusque à l'aide des murs guide eau. Compte tenue des sollicitations qui s'exerceront sur le mur, nous l'avons dimensionné pour ne pas qu'il y ait un déversement et pour qu'il puisse résister à la poussée des eaux.

➤ **Dimensionnement hydraulique**

Le mur guide eau fonctionne alors comme un déversoir rectangulaire et sa hauteur est calculée à l'aide de la formule de débit :  $Q= mLh\sqrt{2gh}$  . Avec  $h$  la charge d'eau à l'amont du rétrécissement brusque et  $L=8$  m égale à la largeur du lit mineur.

Pour évacuer le débit laminé qui est de  $24 \text{ m}^3/\text{s}$ , la charge à l'amont doit être de 1,42 m. Nous avons donc donné une hauteur de 1,5 m pour avoir une bonne sécurité.

➤ **Ferraillage du mur guide eau**

Il est soumis à la poussée de l'eau et à son poids propre. Le moment renversant est :

$$M = \frac{\gamma w z^3}{6}$$

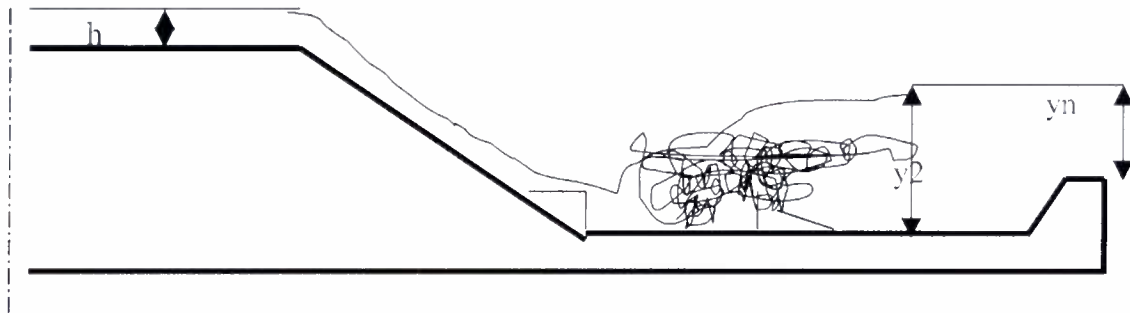
$$M = 5625 \text{ N m}$$

$$\mu = \frac{1,35 \times 5625}{15 \times 100 \times 22^2} = 0,008 > \mu_1 \text{ On lit sur le tableau } \beta = 0,996$$

La section des aciers principaux est :

$A_s = \frac{7600}{15 \times 0,996 \times 22 \times 266,67} = 1,14 \text{ cm}^2$ . Nous prendrons donc 5  $\phi$  6 par mètre linéaire avec un écartement de 14 cm.

Le bassin de dissipation est schématisé comme suit :



## 2. Le déversoir en béton armé

Le déversoir est constitué de :

- mur déversant
- semelle
- parafouille amont
- des contreforts

### □ Dimensionnement du bassin de dissipation

Le bassin de dissipation que nous avons choisi est un bassin de plongée. Son dimensionnement s'est fait par utilisation de l'abaque extrait de « Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale » à la page 126.

#### ➤ Longueur du bassin

$$q = \frac{Q}{L} = 0,63 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{ml}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 0,35 \text{ m}$$

Sur l'abaque, on lit  $\frac{y_2}{H} = 0,25$  avec  $H = 3,52 \text{ m}$ .



La profondeur du bassin est donc  $y_2 = 0,88 \text{ m}$

$H + y_1 = y_2 + h$  avec  $h =$  hauteur de chute.

On obtient  $h = 3,14 \text{ m}$ .

$$\frac{h}{y_1} = 6,28 \quad \text{On lit graphiquement} \quad \frac{L}{H} = 0,6$$

$L =$  longueur du bassin de dissipation.

On obtient  $L = 1,88 \text{ m}$  et nous prendrons  $L = 2 \text{ m}$ .

### ➤ *Profondeur normale du chenal*

Le chenal d'évacuation est rectangulaire avec une pente moyenne de 0,5 %. Le coefficient de rugosité est pris égal à 40. La profondeur normale est calculée à l'aide de la formule de Manning – Strickler et sa valeur est :

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

On obtient  $y_n = 0,36 \text{ m}$ .

### ➤ *Longueur des enrochements*

Les enrochements ont une pente de 6% et la longueur doit vérifier l'égalité :

$$y_2 = y_n + 0,8 y_c + 0,06 L_p$$

On obtient :

$$L_p = \frac{y_2 - y_n - 0,8 y_c}{0,06}$$

$L_p = 4 \text{ m}$ .

### ➤ *Profondeur de la parafouille*

Pour éviter l'effet de renard la profondeur de la parafouille doit vérifier la règle de Lane.

$$6L_v + L_h/3 > C.H$$

$$L_v \geq \frac{C.H - \frac{L_h}{3}}{6}$$

avec  $H = 3\text{ m}$  ,  $C=2,5$  et  $Lh=4,8\text{ m}$ .

$L_v > 0,98\text{ m}$  et nous prendrons  $L_v=1\text{ m}$ .

Les dimensions du bassin sont :

Longueur= 2 m

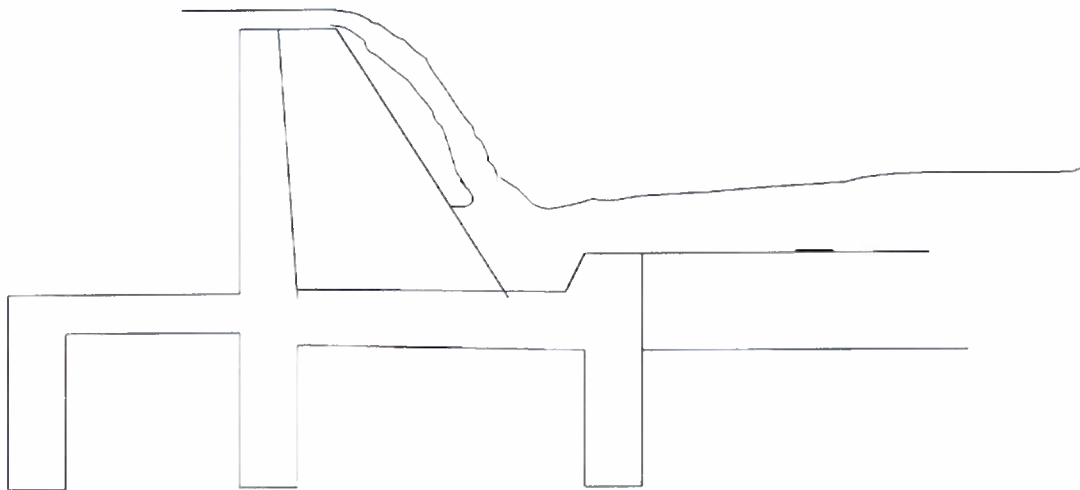
Parafouille amont et aval = 1 m obtenu en appliquant la règle de LANE.

Profondeur du bassin = 0,88 m

Longueur des enrochements = 4 m

Profondeur normale à l'aval =0,36 m.

Il est schématisé comme suit :



#### □ Calcul du rideau

Le rideau est considéré comme une dalle semi – encastree sur les contreforts et soumise à une charge horizontale. Pour le calcul, on décompose le rideau en tranches de 1 m de hauteur à partir du sommet et on suppose que la pression résultant de la poussée des terres reste constante sur cette hauteur de 1 m. Nous allons donc considérer la pression à la base de la tranche pour nous mettre dans les conditions de sécurité.

Si  $l$  est la portée d'axe en axe des contreforts et  $p$  la pression par mètre carré, on pourra prendre pour moment :

$$\text{En travée : } M = \frac{pl^2}{10}$$

$$\text{Sur appui : } M = -\frac{pl^2}{16}$$

Les armatures du rideau seront horizontales et les armatures de répartition verticales. Il est nécessaire d'assurer la liaison entre le rideau et le contrefort en retournant les armatures principales dans le contrefort.

Il est soumis à la poussée de l'eau qu'il retient et nous avons pris le cas où le mur déverse avec la lame d'eau maximale.

La poussée maximale exercée sur le rideau est :

$$Pe = \frac{1}{2} \gamma w (H + 2h) H$$

Avec  $h = 0,5$  m et  $H = 3$  m.

$$Pe = 60 \text{ KN}$$

Cette poussée s'applique au centre de gravité du trapèze à 1,125 m de la base et le moment maximal est :

$$M = 67,5 \text{ KNm}$$

➤ *Epaisseur du rideau à la base  $e_1$*

Pour se prémunir des fissurations du béton l'épaisseur du mur  $e$  doit être suffisante pour vérifier l'inégalité :

$$\frac{6M}{boe^2} < f_{t28} \text{ avec } f_{t28} = 2,1 \text{ Mpa pour un béton dosé à } 350 \text{ kg/m}^3.$$

avec  $bo = 1$  m

$$e \geq \sqrt{6 \frac{M}{2,1 \cdot bo}}$$

$$e > 44 \text{ cm}$$

Nous prendrons  **$e = 45$  cm** pour être dans la sécurité.

➤ - *Epaisseur du rideau au sommet du rideau  $e_2$*

La poussée maximale à 1m en dessous de la crête du rideau est :

$$Pe = \frac{1}{2} \gamma w (H + 2h) H \text{ avec } h = 0,5 \text{ m et } H = 1 \text{ m}$$

$P_e = 10 \text{ KN}$  . cette poussée est appliquée à 0,416 m de la base de la tranche.

Le moment maximal résultant est :

$$M = 4,17 \text{ KN.m}$$

L'épaisseur au sommet vérifie :

$$e \geq \sqrt{6 \frac{M}{2,1 \cdot b \cdot \sigma_b}}$$

$e > 0,1 \text{ m}$  Nous prendrons  $e_2 = 30 \text{ cm}$  pour permettre un bon enrobage des aciers.

### ➤ *Ferraillage du rideau*

Les données utilisées pour les calculs sont :

Angle de frottement  $\varphi = 32^\circ$

Aciers HA Fe E 400

Béton  $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$  ;  $f_{t28} = 2,1 \text{ Mpa}$  et  $\sigma_b = 14,2 \text{ Mpa}$

$\gamma_s = 1,15$

❖ - *Calcul de la résistance admissible du sol :*

$$q_{\text{lim}} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + c N_c + \gamma D N_q$$

avec  $B = 2,5 \text{ m}$  et  $D = 1 \text{ m}$

$C$  = coefficient de cohésion du sol ( 0,2 bar)

$\gamma$  = poids volumique du sol de fondation ( 10,3 KN/m<sup>3</sup>)

$N_\gamma$ ,  $N_q$  et  $N_c$  sont les facteurs de capacité portante dépendant des coefficients  $C$  et  $\phi$  du sol de fondation.

❖ Détermination des facteurs de capacité.

$$N\gamma = Kp \frac{\cos\left(\frac{\pi - \phi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)}{2 \cos\left(\frac{\pi + \phi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$Nq = e^{\pi \tan \phi} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi + \phi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)^2$$

$$Nc = (Nq - 1) \cot g \phi$$

$Kp$  est le coefficient de butée donné par les tables de Kérisel et Caquot correspondant à  $\beta=0$

$$\delta = -\phi \text{ et } \lambda = \frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4}$$

On obtient  $Kp=3,13$

$$N\gamma=5,82$$

$$Nq=23,176$$

$$Nc=35,49$$

On obtient :

$$q_{lim}=898,316 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{d'où } \sigma_{adm} = 299,44 \text{ KN/m}^2.$$

- La poussée maximale reçue par le rideau est :

$Q=60 \text{ KN}$  appliquée à  $1,125 \text{ m}$  au dessus de la base. Charges verticales sur la semelle

- poids du rideau =  $\frac{0,3 + 0,45}{2} \times 3 \times 25 = 28,125 \text{ KN}$ .
- Poids de la semelle :  $0,4 \times 2 \times 25 = 20 \text{ KN}$
- Poids de la poutre bêche :  $(0,6 \times 0,4 + 0,45 \times 0,6) \times 25 = 15,75 \text{ KN}$
- Poids de l'eau sur la semelle :  $10 \times 3,5 \times 2,4 = 84 \text{ KN}$
- La sous pression est :

$$P_u = \frac{\gamma_w}{2} (H + y_2) L$$

Avec  $H=3,5$  m

$Y_2=0,88$  m

$L=$  longueur de la semelle= $2$  m

$P_u=43,8$  KN

Le moment résultant est  $M=41,07$  KNm

Total des charges verticales  $P=104,08$  KN

$M_{Q/A}=67,5$  KN m

$M_{P/A}=157,78$  KNm

$$\frac{157,78}{1,35 \times 67,5} = 1,73 > 1,5 \quad \text{l'équilibre statique est donc vérifié .}$$

$\frac{104,08}{5,25} = 19,82 \text{ KN / m}^2 < 299,44 \text{ KN / m}^2$ . La stabilité au poinçonnement est donc assurée.

La résultante  $P$  passe à  $\frac{157,78}{104,08} = 1,51$  m du point  $A$ , soit à  $0,49$  m du milieu  $G$  de la semelle. D'où :

$$M_G = 1,35 \times 67,5 - 104,08 \times 0,49 = 40,12 \text{ KNm et } a = 5,25 \text{ m}$$

$$\sigma_A = \frac{P}{1000a} + \frac{6M}{1000a^2} \text{ et la contrainte sous la semelle en A}$$

$$\sigma_B = \frac{P}{1000a} - \frac{6M}{1000a^2} \text{ et la contrainte sous la semelle en B}$$

On obtient  $\sigma_A = 0,028$  Mpa et  $\sigma_B = -0,011$  Mpa.

A la dernière tranche du rideau on a  $p = 1,35 \times 60 = 81$  KN/m<sup>2</sup>.

Le moment en travée est :

$$M_t = \frac{pl^2}{10} = 72,9 \text{ KNm et le moment sur appui est :}$$

$$M_a = -\frac{pl^2}{16} = -45,56 \text{ KNm.}$$

L'effort tranchant est :

$$Vu = \frac{pl}{2} = 126 \text{ KN}$$

$$\mu = \frac{Mt}{\sigma b \cdot b \cdot d^2}$$

$\mu = 0,025 < \mu_1 = 0,745$  pour HA FeE400

On lit  $\beta = 0,988$

La section des aciers est :

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s}$$

$$\sigma_s = \min \left\{ \frac{2 \cdot f_e}{3}; \max(240 \text{ Mpa}; 110 \sqrt{\eta / f_{t28}}) \right\}$$

$f_{t28} = 2,1 \text{ Mpa}$

$\eta = 1,6$  pour les HA de diamètre supérieur à 6 mm.

Donc  $\sigma_s = 266,66 \text{ Mpa}$

On obtient  $A = 6,14 \text{ cm}^2$ .

Nous prendrons 4  $\phi 14$  ( $6,15 \text{ cm}^2$ ).

Et pour la section d'appui :

$$\mu = \frac{Ma}{\sigma b \cdot b \cdot d^2} = 0,0158$$

On lit sur le tableau  $\beta = 0,992$

La section d'aciers est :

$$A = \frac{Ma}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = 3,8 \text{ cm}^2. \text{ Nous prendrons } 6\phi 9 \text{ ( } 3,81 \text{ cm}^2 \text{)}$$

La contrainte tangente est :

$$\tau = \frac{Vu}{b} = 0,28 \text{ Mpa} < 0,05 \cdot f_{c28} = 1,25 \text{ Mpa}$$

Il n'est donc pas nécessaire de prévoir des armatures transversales.

- Calcul de la semelle

La semelle est soumise :

à la réaction du sol qui présente une charge trapézoïdale . D'après les calculs de stabilité ,  $\sigma_A=0,028\text{Mpa}$  et  $\sigma_B=0,011 \text{ Mpa}$ .

A son poids propre et des terres uniformément réparti sur AB, soit :

$$\frac{1,35 \times 20}{2} = 0,0135 \text{ Mpa}$$

au poids du rideau uniformément réparti de E à F à raison de :

$$\frac{1,35(28,125)}{0,45} = 0,084 \text{ Mpa}$$

au poids de l'eau uniformément réparti entre F et B.

$$\frac{1,35 \times 84}{2} = 0,0567 \text{ Mpa}$$

D'où le diagramme des pressions représenté en annexe.

La résultante des charges sur BF est :

$$P_1 = \frac{0,0592 + 0,0811}{2} \cdot 1000 \times 2000 = 140300 \text{ N}$$

Cette résultante passe par le centre de gravité du trapèze constituant le diagramme des contraintes soit à 0,63 m du point F.

Le moment résultant est  $M=88\ 400 \text{ Nm}$ .

$$\mu = \frac{88400}{14,2 \times 40^2 \times 100} = 0,038 < \mu_1$$

On lit  $\beta=0,981$

La section des aciers est :

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = 0,845 \text{ cm}^2. \text{ On prendra } 2\phi 8(1,27 \text{ cm}^2).$$

La contrainte tangente est :



$$u = \frac{Pl}{b} = 1,06 \text{ Mpa} < 0,05 \cdot f_c 28 = 1,25 \text{ Mpa}$$

il n'est pas nécessaire de prévoir des armatures transversales.

Calcul du contrefort.

A la base du contrefort nous avons :

$$P = 60 \times 4,6 = 276 \text{ KN/m.}$$

$$M = 1,35 \times 276 \times \frac{3^2}{6} = 558,9 \text{ KN.m}$$

Nous prendrons comme largeur de la table de compression  $b = 80 \text{ cm}$  et comme hauteur utile  $d = 185 \text{ cm}$ .

$$M_{\max} = 14,2 \times 80 \times 30 \times (185 - 15) = 5793,6 \text{ KN.m}$$

$M < M_{\max}$  donc une partie de la table est comprimée.

$$\mu = \frac{558900}{14,2 \times 185^2 \times 80} = 0,0143 < \mu_1$$

On lit  $\beta = 0,993$

La section des armatures est :

$$A = \frac{M}{\beta \cdot d \cdot \sigma} = 11,4 \text{ cm}^2. \text{ Nous prendrons donc } 6\phi 16 \text{ distants de } 18 \text{ cm.}$$

L'effort tranchant maximal est

$$V_u = 1,35 \times 276 \times 1,5 = 558,9 \text{ KN}$$

$$D'où \tau = \frac{V_u}{b \times e} = 2,01 \text{ Mpa} < 0,1 f_c 28 = 2,5 \text{ Mpa}$$

## □ Dimensionnement des murs bajoyers

### ➤ Epaisseur du mur

Cette épaisseur est calculée pour que le béton du mur bajoyer résiste à la fissuration sous l'effet de la poussée des terres.

Celle-ci est horizontale et a pour expression :

$$Q = \frac{1}{2} \gamma g \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)^2 \cdot h^2$$

avec  $\gamma$  = poids volumique du remblai compacté = 19 KN/m<sup>3</sup>.

$\phi$  = angle de frottement du sol = 32°

h = hauteur du remblai au dessus de la semelle du bajoyer = 5 m.

Q = 72,97 KN

Cette charge est triangulaire et est appliquée au tiers inférieur du mur. Le moment maximal est donc :  $M = Q \cdot \frac{h}{3}$

M = 121,62 KN.m

L'épaisseur du rideau e doit être suffisante pour vérifier l'inégalité :

$M < M_{rn} = 22 \cdot b_0 \cdot e^2$ . avec  $b_0 = 1$  m

$$e \geq \sqrt{\frac{M}{22 \cdot b_0}}$$

$e > 23,5$  cm

Nous prendrons  $e = 25$  cm.

### ➤ Calcul de la stabilité

#### ❖ Forces agissantes

Le mur est soumis à l'action de charges verticales et horizontales.

A-1 Charges verticales

$P_1$  = poids du rideau =  $5 \times 0,25 \times 25 = 31,25$  KN

$P_2$  = Poids de la semelle =  $2 \times 0,3 \times 25 = 15$  KN

$P_3$  = Poids du remblai supporté par la semelle =  $1,7 \times 5 \times 19 = 161,5$  KN.

La résultante des forces verticales est  $P = 207,75$  KN

A-2 Charge horizontale

Q = poussée des terres = 72,97 KN.

#### ❖ Stabilité au renversement

Moment renversant

$M_r$  = moment dû à la poussée des terres = 121,62 KN.m

Moments stabilisants

Il est dû aux actions des forces verticales

$$M_s = 31,25 \times 0,125 + 15 \times 1 + 161,5 \left( 0,3 + \frac{1,7}{3} \right)$$

$$M_s = 158,87 \text{ KN.m}$$

$$\frac{M_s}{M_r} = 1,71 > 1,5 \text{ donc la stabilité au renversement est assurée.}$$

❖ *Stabilité au glissement*

Elle consiste à vérifier l'inégalité :

$$\frac{Q}{P} < f$$

$f$  = coefficient de frottement béton-sol = 0,35.

$$Q = 72,97 \text{ KN}$$

$$P = 207,75 \text{ KN}$$

$$\frac{72,97}{207,75} = 0,35$$

La stabilité au glissement est donc assurée.

❖ *Stabilité au poinçonnement*

Calculons le poids des terres sur la semelle.

$$P_t = S \cdot C \cdot \gamma$$

$S$  = Surface du mur bajoyer

$C$  = longueur de la semelle qui supporte les terres = 2,7 m

$\gamma$  = poids volumique du remblai = 19 KN/m<sup>3</sup>.

La surface  $S$  du mur est :

$$S = 67 \text{ m}^2$$

$$P_t = 3437,1 \text{ KN}$$

Le poids de la semelle est

$$P_s = P_2 \times L$$

$L$  = longueur de la semelle = 20 m.

$$P_s = 288 \text{ m.}$$

La contrainte sous la semelle est donc

$$\sigma = \frac{P_s + P_t}{L \times l}$$

$l$  = longueur de la semelle = 3m

On obtient  $\sigma = 62,08 \text{ KN/m}^2$ .

La contrainte admissible du sol est  $\sigma_{adm} = 289,51 \text{ KN/m}^2$ .

$$\frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = 4,9 > 1,5$$

La stabilité au poinçonnement est donc assurée.

#### ➤ - *Armatures du mur*

Le mur bajoyer est soumis à des efforts de flexion due à la poussée des terres. Le béton ne résistant pas à la flexion, nous devons donc armer notre mur et ce volet consiste à choisir les sections des armatures.

Mous nous mettons dans le cas d'une poutre rectangulaire soumise à la flexion simple à l'état limite de service en fissuration très préjudiciable.

#### ❖ *Armatures longitudinales*

Les données sont :

$$B_0 = 1 \text{ m}$$

$$D = 0,3 \text{ m}$$

$$f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_e = 400 \text{ Mpa}$$

$$\gamma = 1,15$$

$$M_{ser} = 0,121 \text{ MN.m}$$

Selon les règles du B.A.E.L 91

$$\sigma_{bc} = 0,6 f_{c28} = 14,2 \text{ Mpa}$$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,1 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = \min(0,5f_e, 90 \sqrt{\eta f_{t28}})$$

$\eta = 1,6$  car nous utiliserons des HA de diamètre  $> 6 \text{ mm}$ .

$$\sigma_s = 157,74$$

La résultante des forces verticales est  $P = 207,75 \text{ KN}$

$Q =$  poussée des terres  $= 72,97 \text{ KN}$ .

Moment renversant

$M_r =$  moment dû à la poussée des terres  $= 121,62 \text{ KN.m}$

$M_s = 158,87 \text{ KN.m}$

La résultante des charges verticales passe à

$$\frac{158870}{207,75} = 0,76 \text{ m} \text{ du point A soit à } 0,24 \text{ m de G milieu de la semelle.}$$

D'où  $M_G = 1,35 \times 121,62 - 207,75 \times 0,24 = 114,33 \text{ KNm}$

$$\sigma_A = \frac{P}{1000a} + \frac{6M}{1000a^2} \text{ et la contrainte sous la semelle en A}$$

$$\sigma_B = \frac{P}{1000a} - \frac{6M}{1000a^2} \text{ et la contrainte sous la semelle en B}$$

On obtient  $\sigma_A = 0,25 \text{ Mpa}$  et  $\sigma_B = 0,09 \text{ Mpa}$

A l'état limite ultime, le moment dû à la poussée des terres est de  $164,187 \text{ KNm}$ .

$$\mu = \frac{164187}{14,2 \times 100 \times 27^2} = 0,158 < \mu_1$$

On lit  $\beta = 0,992$

La section d'aciers est :

$$A = \frac{164187}{0,992 \times 27 \times 266,66} = 3,13 \text{ cm}^2.$$

Nous prendrons donc 4  $\phi 10$  par mètre .

Effort tranchant :

$$Vu = 1,35 \times 72,97 = 98,5 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{Vu}{1000 \times a} \quad \text{la contrainte maximale.}$$

$$\tau_u = 0,49 \text{ Mpa} < 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{ Mpa.}$$

Il n'est pas nécessaire de prévoir des armatures transversales.

Pour les armatures de la semelle le moment à l'encastrement est de 164,187 KNm.

$$\mu = \frac{164187}{14,2 \times 100 \times 27^2} = 0,158 < \mu_l \text{ On lit } \beta = 0,992 \text{ et la section des aciers est :}$$

$$A = \frac{164187}{0,992 \times 27 \times 266,66} = 3,13 \text{ cm}^2. \text{ On utilisera aussi } 4 \text{ } \phi 10 \text{ par mètre .}$$

### 3. Seuil déversant en position latérale

Il est constitué de :

un mur

une semelle

des murs bajoyers

un bassin de dissipation

un chenal d'évacuation

#### □ Dimensionnement du bassin de dissipation

Nous avons retenu pour cette variante un bassin de plongée en enrochements. A l'aide des données :

$$\frac{Q}{L} = 0,63 \text{ m}^3 / \text{s} \text{ et } y_c = 0,35 \text{ et } H = 0,4 \text{ m nous avons déterminé sur l'abaque :}$$

$$\frac{y_2}{H} = 1,5 \text{ d'où } y_2 = 0,6 \text{ m.}$$

$\frac{h}{y_1} = 0,8 \approx 1$  nous lisons donc  $\frac{L}{H} = 2,2$  d'où **L=1 m**. L étant la longueur du bassin de dissipation. Le chenal étant de forme trapézoïdale avec une largeur au fond de 38 m et un fruit égal à 2, la profondeur normale de l'eau est  $y_n = 0,25$  m ( voir dimensionnement du chenal)

la longueur des enrochements est donc :

$$L_p = \frac{y_2 - y_n - B}{0,06} \text{ avec } B=0,8 \text{ yc (enfoncement du bassin de dissipation).}$$

On obtient  $L_p=1,16$  m . Nous prendrons **Lp=1,2 m**.

#### □ Calcul du mur enterré

Il est en béton cyclopéen, de hauteur 1m et d'épaisseur 30 cm. Il est soumis à la poussée des terres et à son poids propre. Elle est surtout exposée au renversement .

#### Vérification de la stabilité au renversement.

##### ➤ Moment renversant

Le mur est soumis à la poussée des terres et sa valeur est :

$$Q=0,27 \times 16000 \times \frac{1^2}{2} = 2160 \text{ N}$$

Le moment résultant est  $M=Q \frac{h}{3} = 720 \text{ Nm}$ .

##### ➤ Moment stabilisant

Il est du au poids propre de l'ouvrage. Son poids est  $P=1 \times 0,3 \times 24000 = 7200 \text{ N}$ . Le moment résultant est  $M= 7200 \times 0,15 = 1080 \text{ Nm}$ .

$\frac{M_s}{M_r} = 1,5$  La stabilité est assurée mais à la limite . Néanmoins l'effet de butée des terres à l'aval et de la maçonnerie contribueront à assurer sa stabilité.

#### □ Dimensionnement du mur bajoyer

##### ➤ Epaisseur du mur

Cette épaisseur est calculée pour que le béton du mur bajoyer résiste à la fissuration sous l'effet de la poussée des terres.



Lit mineur à l'amont de la digue



Lit mineur à l'aval de la digue



Lit mineur dans l'axe de la digue



Puits de sondage réalisé par le laboratoire géotechnique de l'ONBAH



Celle-ci est horizontale et a pour expression :

$$Q = \frac{1}{2} \gamma g \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)^2 . h^2$$

avec  $\gamma$  = poids volumique du remblai compacté = 19 KN/m<sup>3</sup>.

$\phi$  = angle de frottement du sol = 32°

h = hauteur du remblai au dessus de la semelle du bajoyer = 1,5 m.

Q = 4860 N .

Cette charge est triangulaire et est appliquée au tiers inférieur du mur. Le moment maximal est donc :  $M = Q \cdot \frac{h}{3}$

M = 2 430 Nm

L'épaisseur du rideau e doit être suffisante pour vérifier l'inégalité :

$M < M_{rn} = 22 \cdot b_0 \cdot e^2$  avec  $b_0 = 1$  m

$$e \geq \sqrt{\frac{M}{22 \cdot b_0}}$$

$e > 10,5$  cm Nous prendrons  $e = 20$  cm.

### ➤ Calcul de la stabilité

#### ❖ Forces agissantes

Le mur est soumis à l'action de charges verticales et horizontales.

A-1 Charges verticales

$P_1$  = poids du rideau =  $1,3 \times 0,2 \times 25\ 000 = 6\ 500$  KN

$P_2$  = Poids de la semelle =  $1 \times 0,2 \times 25\ 000 = 5\ 000$  KN

$P_3$  = Poids du remblai supporté par la semelle =  $0,8 \times 1,3 \times 16\ 000 = 10\ 400$  KN.

La résultante des forces verticales est  $P = 21\ 900$  KN

A-2 Charge horizontale

Q = poussée des terres = 4860 N.

❖ *Stabilité au renversement*

Moment renversant

$M_r$  = moment dû à la poussée des terres = 2430 Nm.

Moments stabilisants

Il est dû aux actions des forces verticales

$M_s = 6500 \times 0,1 + 5000 \times 0,5 + 10400 \times 0,6$

$M_s = 9390$  Nm

$\frac{M_s}{M_r} = 3,86 > 1,5$  donc la stabilité au renversement est assurée.

❖ *Stabilité au glissement*

Elle consiste à vérifier l'inégalité :

$$\frac{Q}{P} < f$$

$f$  = coefficient de frottement béton-sol = 0,35

$Q = 4860$  N

$P = 21\ 900$

$$\frac{4860}{21900} = 0,222 < 0,35$$

La stabilité au glissement est donc assurée.

➤ - *Armatures du mur*

Le mur bajoyer est soumis à des efforts de flexion due à la poussée des terres. Le béton ne résistant pas à la flexion, nous devons donc armer notre mur et ce volet consiste à choisir les sections des armatures.

Mous nous mettons dans le cas d'une poutre rectangulaire soumise à la flexion simple à l'état limite de service en fissuration très préjudiciable.

❖ *Armatures longitudinales*

Les données sont :

$$B_0 = 1 \text{ m}$$

$$D = 0,5 \text{ m}$$

$$f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_e = 400 \text{ Mpa}$$

$$\gamma = 1,15$$

$$M_{ser} = 2430 \text{ Nm}$$

Selon les règles du B.A.E.L 91

$$\sigma_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ Mpa}$$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,1 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = \min(0,5 f_e, 90 \sqrt{\eta f_{t28}})$$

$$\eta = 1,6 \text{ car nous utiliserons des HA de diamètre } > 6 \text{ mm.}$$

$$\sigma_s = 157,74$$

La résultante des forces verticales est  $P = 21\,900 \text{ N}$

$$Q = \text{poussée des terres} = 4860 \text{ N}$$

Moment renversant

$$M_r = \text{moment dû à la poussée des terres} = 2\,430 \text{ Nm}$$

$$M_s = 9\,390 \text{ Nm}$$

La résultante des charges verticales passe à

$$\frac{9390}{21900} = 0,429 \text{ m du point A soit à } 0,07 \text{ m de G milieu de la semelle.}$$

$$D'où  $M_G = 1,35 \times 2430 + 1,35 \times 21\,900 \times 0,07 = 5\,350 \text{ Nm}$$$

$$\sigma_A = \frac{P}{1000a} + \frac{6M}{1000a^2} \text{ et la contrainte sous la semelle en A}$$

$$\sigma_B = \frac{P}{1000a} - \frac{6M}{1000a^2} \text{ et la contrainte sous la semelle en B}$$

On obtient  $\sigma_A=0,054$  Mpa et  $\sigma_B=-0,01$  Mpa

A l'état limite ultime, le moment dû à la poussée des terres est de 3280 KNm.

$$\mu = \frac{3280}{14,2 \times 100 \times 17^2} = 0,008 < \mu_1$$

On lit  $\beta=0,996$

La section d'aciers est :

$$A = \frac{3280}{0,996 \times 17 \times 266,66} = 0,72 \text{ cm}^2. \text{ Nous prendrons } 3 \phi 6 \text{ par mètre linéaire.}$$

Effort tranchant :

$$Vu = 1,35 \times 21900 = 29565 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{Vu}{1000 \times a} \quad \text{la contrainte maximale.}$$

$$\tau_u = 0,029 \text{ Mpa} < 0,05 f_{ct28} = 1,25 \text{ Mpa.}$$

Il n'est pas nécessaire de prévoir des armatures transversales.

Pour les armatures de la semelle le moment à l'encastrement est de 3280 Nm

$$\mu = \frac{3280}{14,2 \times 100 \times 17^2} = 0,008 < \mu_1$$

On lit  $\beta=0,996$

La section d'aciers est :

$$A = \frac{3280}{0,996 \times 17 \times 266,66} = 0,72 \text{ cm}^2. \text{ Nous prendrons } 3 \phi 6 \text{ par mètre linéaire.}$$

#### □ Le chenal d'évacuation

L'un des problèmes auxquels sont confrontés la plupart des déversoirs latéraux est lié aux effets de l'érosion régressive.

Celle-ci est provoquée par la pente du chenal qui est le plus souvent supérieur à celui du lit mineur. Pour amoindrir les effets de cette érosion, une attention particulière doit être réservée au dimensionnement du chenal d'évacuation.

➤ **Géométrie du chenal (voir plans)**

Le chenal a une forme trapézoïdale avec une grande base de 38 m et une petite base de 15 m. Sa longueur est calculée de sorte à ne pas provoquer de rétrécissement brusque.

$$L = 2,5 (l_1 + l_2)$$

On obtient **L=58 m**

Il a un fruit  $m=2$  et la profondeur normale est calculée à l'aide de la formule de Manning -Strickler :

$$yn = \left( \frac{Q}{Ks\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{5}} \frac{(b + 2yn\sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{5}}}{b + myn}$$

La pente moyenne est de 2% et le coefficient  $Ks$  est pris égal à 40. La profondeur du chenal varie de 0,25 m à 0,5 m.

Le chenal est constitué d'escaliers de gabions qui servent à dissiper l'énergie de chute de l'eau et les berges sont protégées en perré maçonné sur 16 mètres.

## **G. AVANT- METRE**

Cette partie consiste à estimer le volume de matériaux nécessaires à l'exécution des différents ouvrages.

## 1. Digue déversante

### □ digue

- Béton cyclopéen :  $V=74 \text{ m}^3$ .
- Volume de béton armé  $V=102,25 \text{ m}^3$ .
- Volume de sable  $V=48,26 \text{ m}^3$
- Volume d'enrochements  $V=32,5 \text{ m}^3$
- Volume gabions  $V=13 \text{ m}^3$ .
- Maçonnerie de moellons  $V=31,35 \text{ m}^3$
- Perré sec  $S=242 \text{ m}^2$ .
- Béton dosé à  $150 \text{ kg/m}^3$   $V=29,83 \text{ m}^3$
- Perré maçonné  $S=14 \text{ m}^2$

## 2. Mur en béton armé

- Volume béton armé  
Déversoir , semelle ,bajoyer et contreforts:  $V=235,3 \text{ m}^3$ .
- Volume béton de propreté  $V=6,37 \text{ m}^3$ .
- Volume sable  $V=7,6 \text{ m}^3$
- Volume enrochements  $V=50,5 \text{ m}^3$
- Perré maçonné  $S=14 \text{ m}^2$
- Gabions  $V=20,5 \text{ m}^3$

## 3. Mur déversant

- Volume de béton ordinaire  $V=23,18 \text{ m}^3$
- Volume béton armé  $V=1,9 \text{ m}^3$
- Volume fouille  $V=1968,5 \text{ m}^3$ .
- Gabions  $V=68 \text{ m}^3$
- Surface perré sec  $S=70 \text{ m}^2$
- Surface perré maçonné :  $S=16 \text{ m}^2$

## BIBLIOGRAPHIE

- Armado LENCASTRE-1991-Hydraulique générale, Aditions EYROLLES, 633 p.
- J.M. Durand-PAUL Royet-Patrice MERIAUX-Avril 1999-Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, EIER-Cemagref édition, 415 p.
- J.M. Durand-Janvier 1996-Polycopié de petits barrages pour l'équipement rural en Afrique, EIER, 265 p.
- J.P.MOUGIN, 1997 ; Cours de béton armé BAEL 91 : Calcul des éléments simples et des structures de bâtiments , Editions Eyrolles ,268 p.
- Ministère de l'agriculture, Septembre 1977 ; Technique des petits barrages en aménagement rural,325 p.
- Marcel REIMBERT, 2<sup>e</sup> trimestre 1969- Murs de soutènement ; massifs d'ancrage et rideau de palplanches, Editions Eyrolles-Paris,363 p.
- ORSTOM-Cemagref :1996, Crues et apports : Manuel pour l'estimayion des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, 244 p.
- ONBAH-1997 ; Etude d'APD du barrage de KAYA(Tiébélé dans la province du Nahouri),Ouagadougou, 36 p.
- P. ROYET et J.M. Durand-Avril 1996- Introduction de techniques innovantes dans la conception des petits barrages en Afrique, Edition Cemagref, 114 p.

*ANNEXES*



**1- CARTE DE SITUATION**

**2-CARTE DU BASSIN VERSANT**

**2- PHOTOS DU SITE**

**3-HYDROGRAMME DES CRUES**

**4-COURBE HAUTEUR –VOLUME-SURFACE**

**5- RESULTAT DES ANALYSES GEOTECHNIQUES**

**6-AJUSTEMENT SELON LA LOI DE GUMBEL**

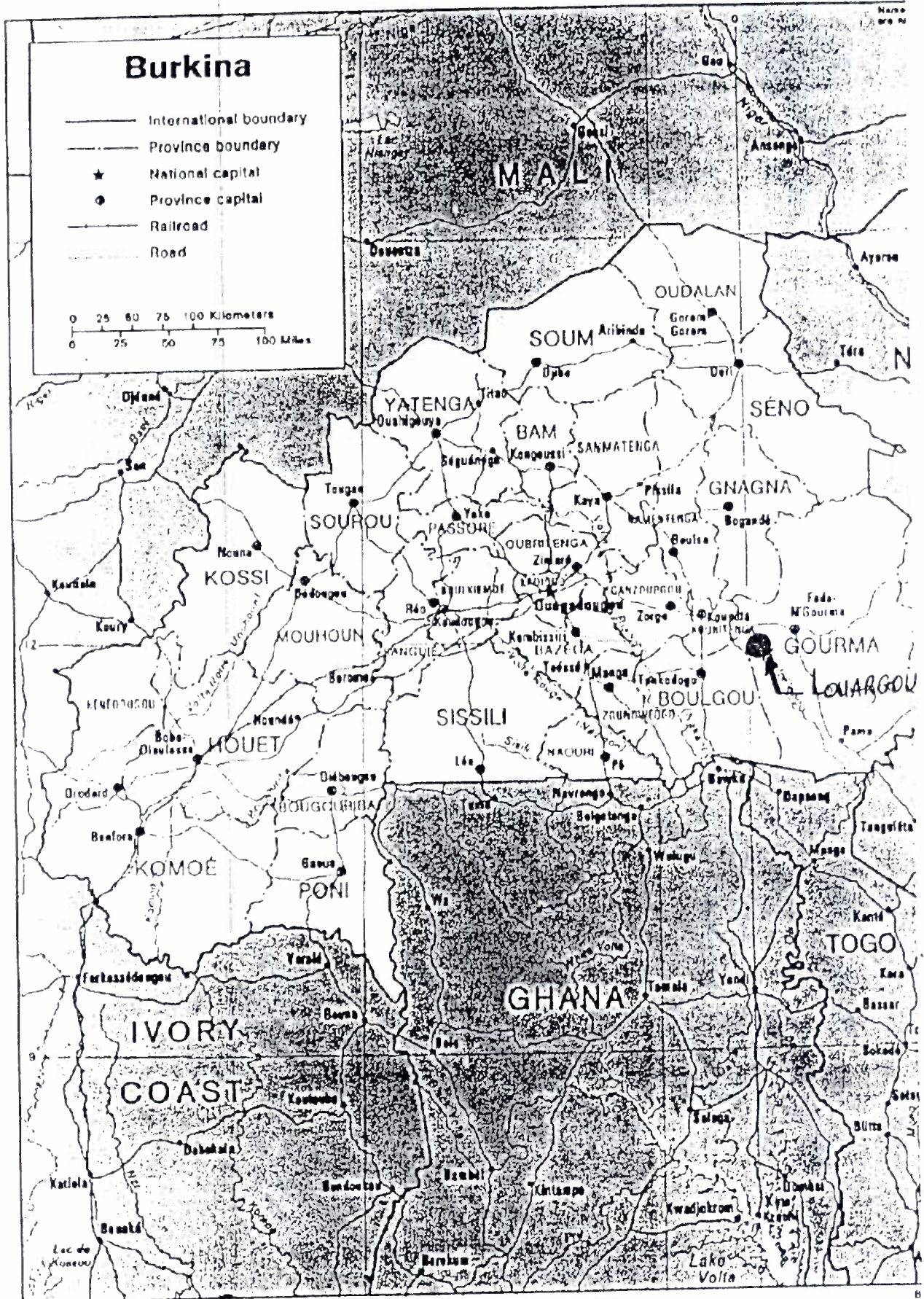
**7- AJUSTEMENT SELON LA LOI DE GAUSS**

**8-DIAGRAMME DES PRESSIONS SOUS LA SEMELLE DU MUR**

**9-ABAQUES DE DETERMINATION DES PARAMETRES POUR LE CALCUL DE LA CRUE**

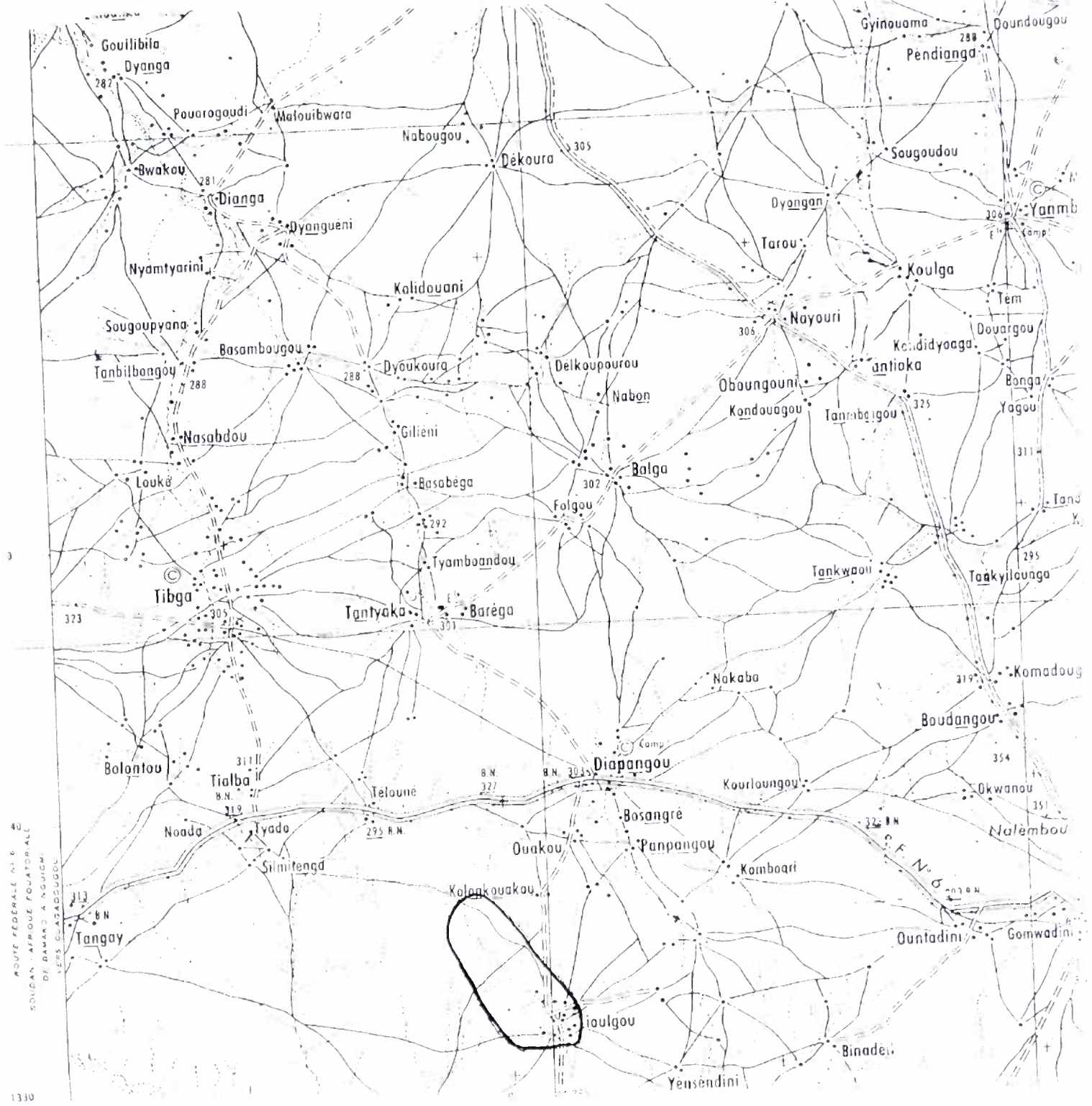
**10-AVANT METRE**

**11-DEVIS ESTIMATIF**



● Localisation du site.

Echelle 1/5000000



Bassin versant du barrage de Louargou  
 extrait carte IGN de Fada N'Gourma au 1/200 000<sup>e</sup>

# BARRAGE DE LOUARGOU

## HYDROGRAMME DE CRUE CENTENNALE

$$Q_{10} = 22 \text{ m}^3/\text{s}$$

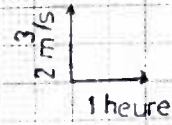
$$Q_{100} = 33 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{d100} = 16,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

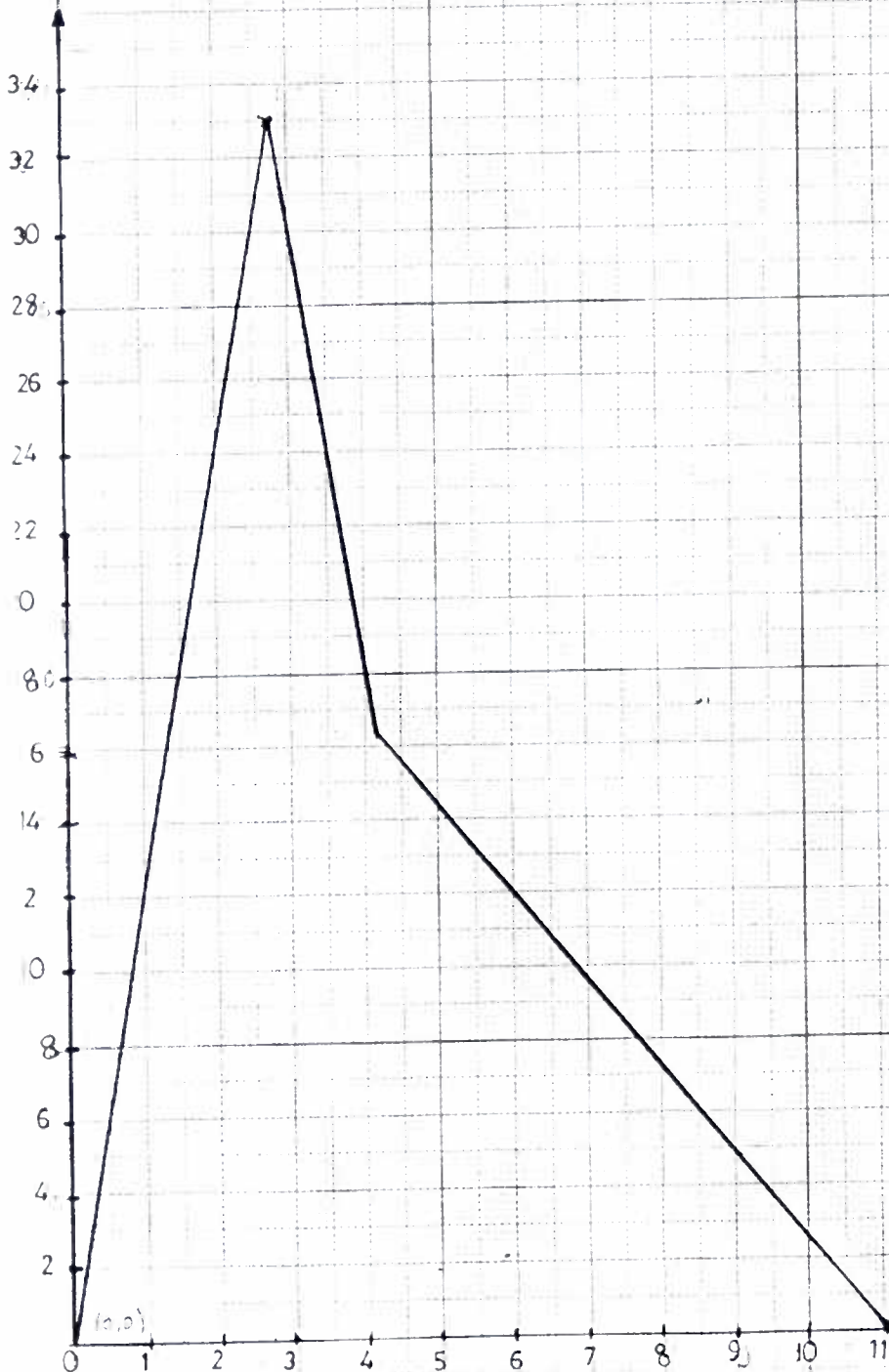
$$T_{100} = 11,1 \text{ heures}$$

$$T_{m100} = 2,75 \text{ heures}$$

Echelle



$Q (\text{m}^3/\text{s})$



temps en heures

# BARRAGE DE LOUARGOU

Courbe hauteur-volume-surface

Echelle

0,25 m  
12,5 m  
1 ha

H.V.  
H.S.

côte (m)

970

975

980

985

990

995

1000

1005

1010

1015

1020

1025

1030

1035

1040

1045

1050

1055

1060

1065

1070

1075

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

|   |      |      |      |       |       |        |        |        |
|---|------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Côte (m)                                  | 972  | 98.0 | 98.5 | 990   | 995   | 1000   | 1005   | 1010   |
| Surface (ha)                              | 0.00 | 0.20 | 2.22 | 5.19  | 8.45  | 11.69  | 14.82  | 17.90  |
| Volumen (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) | 0.00 | 0.51 | 6.66 | 23.98 | 59.28 | 115.53 | 178.91 | 250.96 |

Volume (10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>)

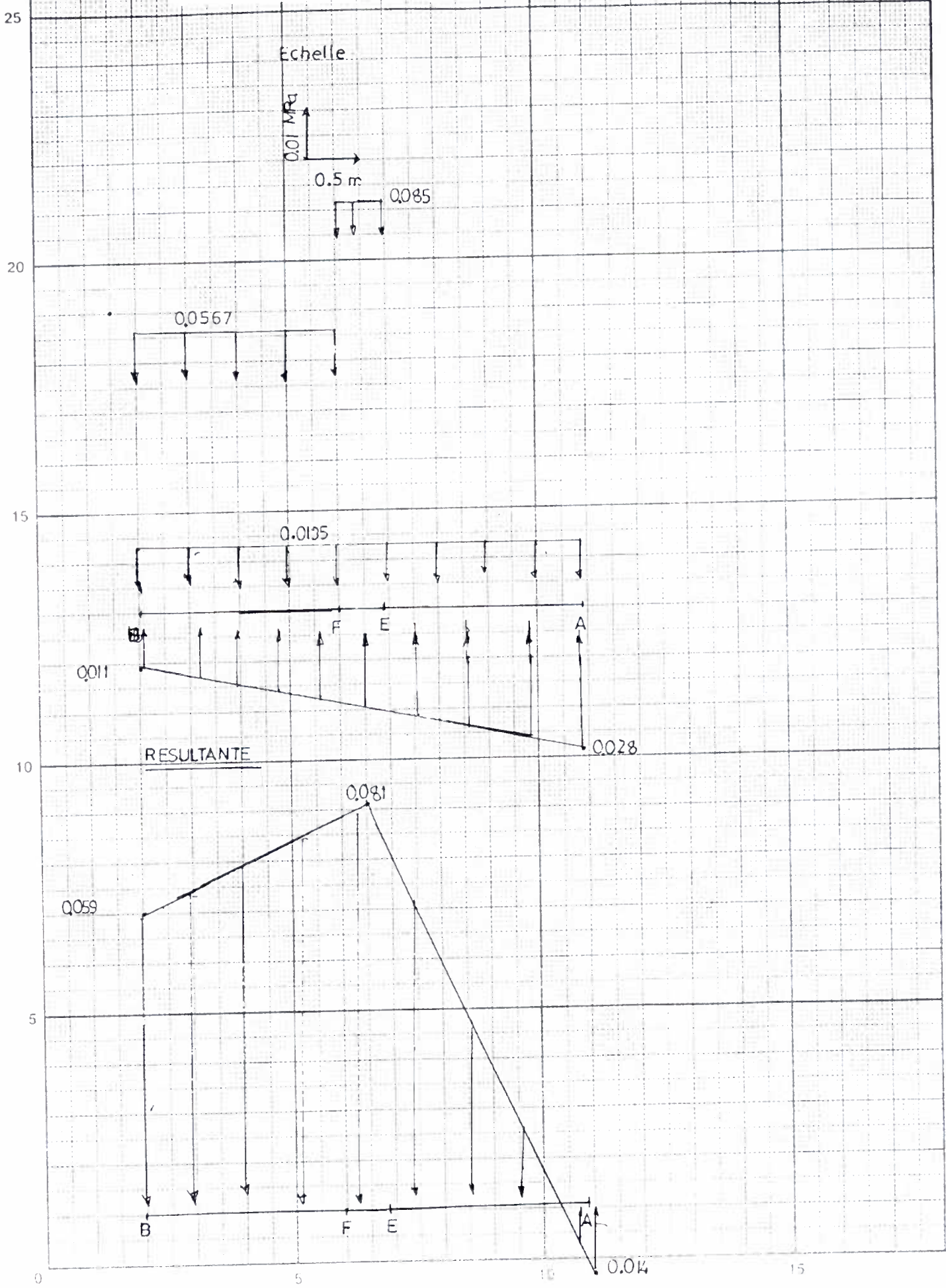
Surface

10

5

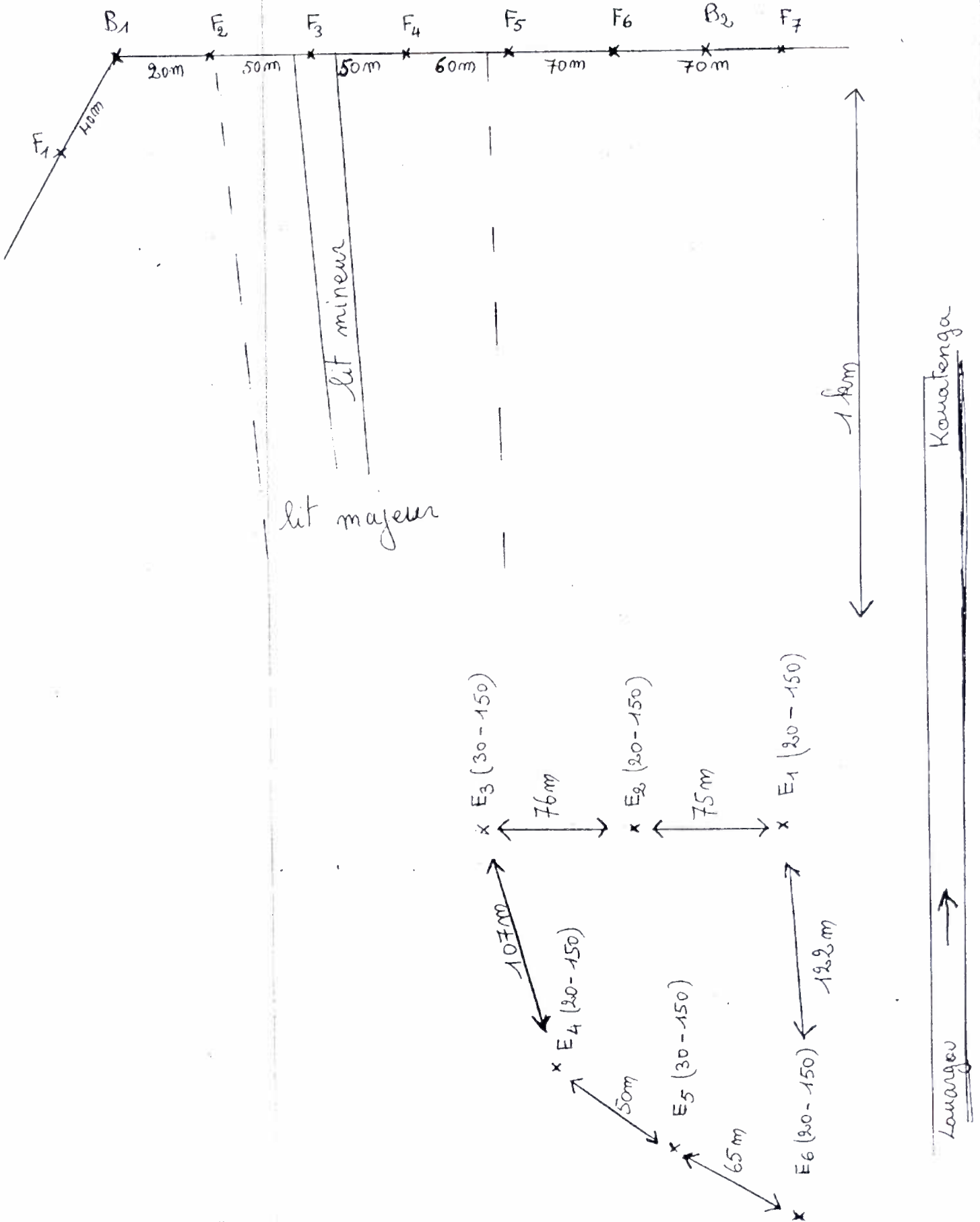
15

# Diagramme des contraintes sous la semelle du mur en béton armé



Barrage de Louargou

Plan des sondages géotechniques.

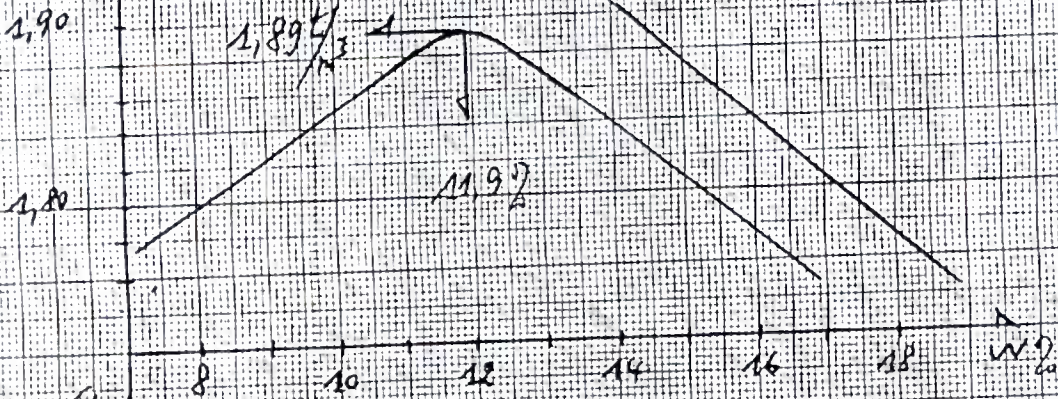


# Barrage de LOUARGOU

66 A Compartage Proctor normal

$E/m^3$

mél E2 - E3



66 A  
 $E/m^3$

mél E4 - E5

1.90

1.80

1.955  $E/m^3$

11.7%

6 8 10 12 14 16  $W\%$

66 A

mél E1 - E6

1.90

1.80

1.904  $E/m^3$

11.7%

9 11 13 15 17  $W\%$



FICHE TECHNIQUE REGROUPANT TOUTS LES ESSAIS

Barrage de: LOURGOU

Date: Décembre 1999

| sondage                 | profondeur<br>en cm | analyse granulométrique |                      |      |      | LIMITES D'ATTERBERG |             |             | activité<br>IP | PROCTOR<br>NORMAL        |               | CLASSIFICATION USCS         |
|-------------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|------|------|---------------------|-------------|-------------|----------------|--------------------------|---------------|-----------------------------|
|                         |                     | % de passant<br>5 mm    | % de passant<br>2 mm | 80µm | 2µm  | LL<br>% eau         | LP<br>% eau | IP<br>% eau |                | DOPN<br>t/m <sup>3</sup> | WOPN<br>% eau |                             |
| <u>Fondation Argile</u> |                     |                         |                      |      |      |                     |             |             |                |                          |               |                             |
| F1                      | 10 - 100            | 99                      | 97                   | 53   | 36   | 33,2                | 15,7        | 17,5        |                |                          |               | Argile peu plastique (CL)   |
| F2                      | 20 - 110            | 100                     | 99                   | 63,5 | 35,5 | 34,3                | 17,0        | 17,3        |                |                          |               | Argile peu plastique (CL)   |
| F2                      | 110 - 200           | 98,5                    | 86,5                 | 46,5 | 26   | 38,1                | 15,7        | 16,4        |                |                          |               | Sable argileux (SC)         |
| F3                      | 30 - 150            | 99                      | 97                   | 70   | 38,5 | 33,5                | 16,9        | 16,6        |                |                          |               | Argile peu plastique (CL)   |
| F3                      | 150 - 260           | 97,5                    | 78                   | 16   | 10,5 | 80,5                | 13,2        | 7,3         |                |                          |               | Sable argileux ou limonneux |
| F4                      | 10 - 160            | 100                     | 100                  | 42   | 13,5 | 23,0                | 14,7        | 8,3         |                |                          |               | Sable argileux (SC)         |
| F4                      | 160 - 280           | 94,5                    | 87,5                 | 20   | -    | impossible          |             |             |                |                          |               | Sable limonneux (SN)        |
| F5                      | 30 - 190            | 99                      | 97                   | 66   | 30   | 27,6                | 14,8        | 13,8        |                |                          |               | Argile peu plastique (CL)   |
| F5                      | 190 - 300           | 98                      | 95,5                 | 58,5 | 35,5 | 34,1                | 14,9        | 16,2        |                |                          |               | Argile peu plastique (CL)   |
| F6                      | 30 - 150            | 99                      | 96                   | 58,5 | 35,5 | 36,9                | 17,5        | 19,4        |                |                          |               | Argile moyen/plat (CL)      |
| F6                      | 150 - 210           | 97                      | 90,5                 | 54   | 32   | 38,9                | 19,8        | 19,1        |                |                          |               | Argile moyen/plat (CL)      |
| F6                      | 210 - 250           | 100                     | 97                   | 49,5 | 19   | 38,8                | 19,8        | 13,0        |                |                          |               | Sable argileux (SC)         |
| F7                      | 30 - 90             | 91                      | 88                   | 46   | 32   | 41,4                | 16,3        | 25,1        |                |                          |               | Sable argileux (SC)         |
| F7                      | 90 - 110            | 57                      | 39                   | 29,5 | 13   | 39,2                | 20,4        | 18,8        |                |                          |               | Grave argileuse (GC)        |





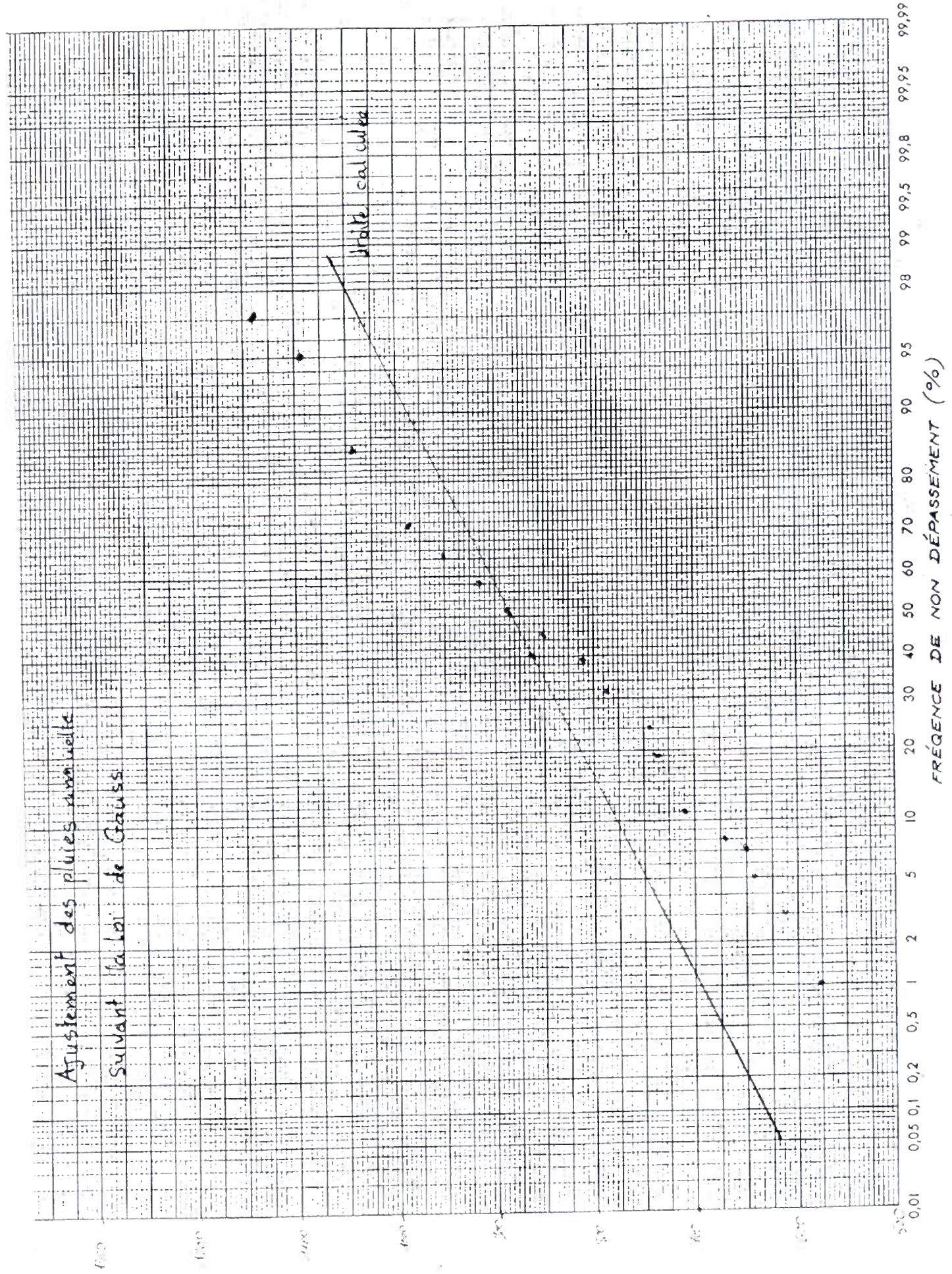
BCEOM

GAUSS

Ajustement des pluies annuelles  
suivant la loi de Gauss

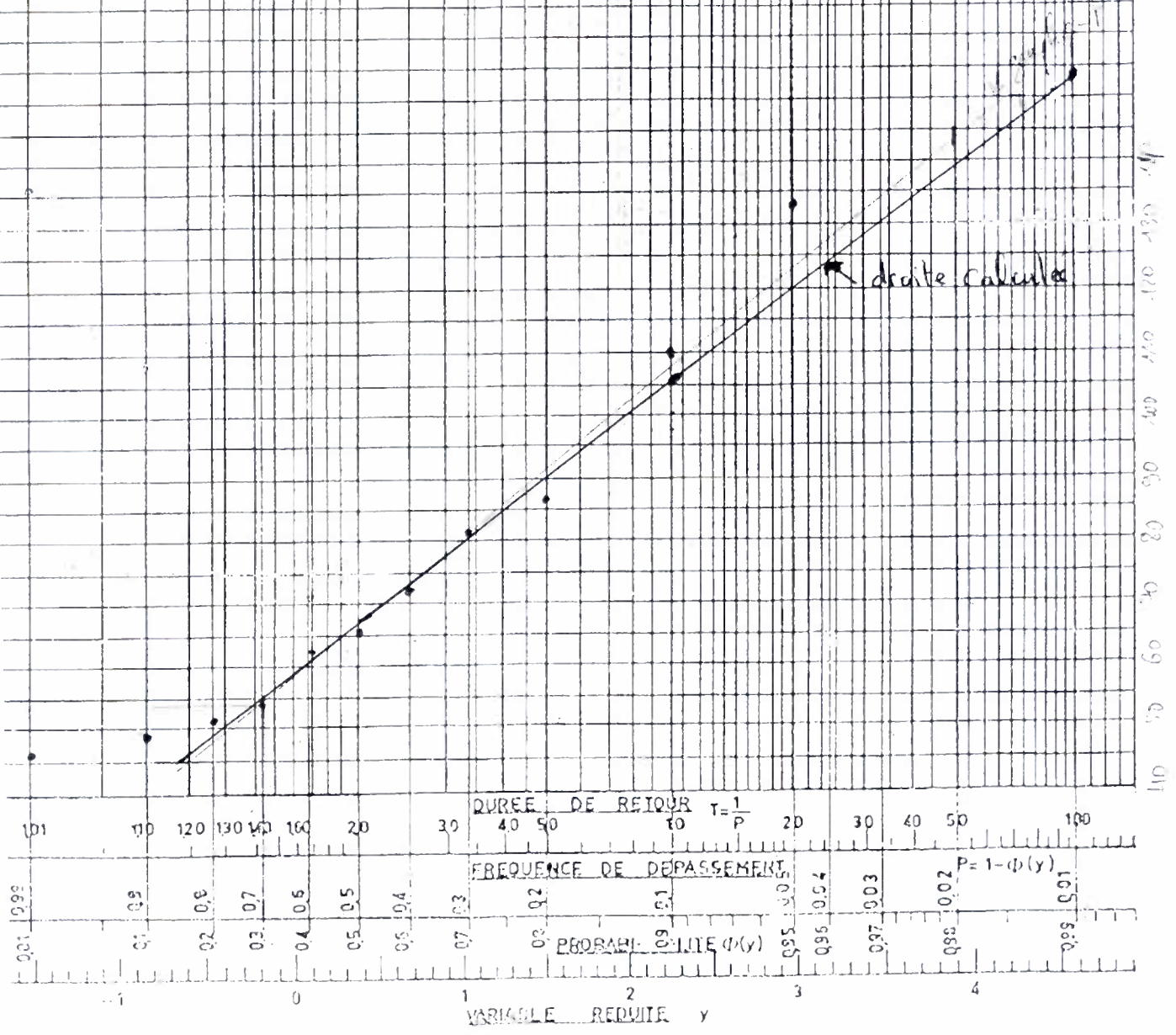
date calculée

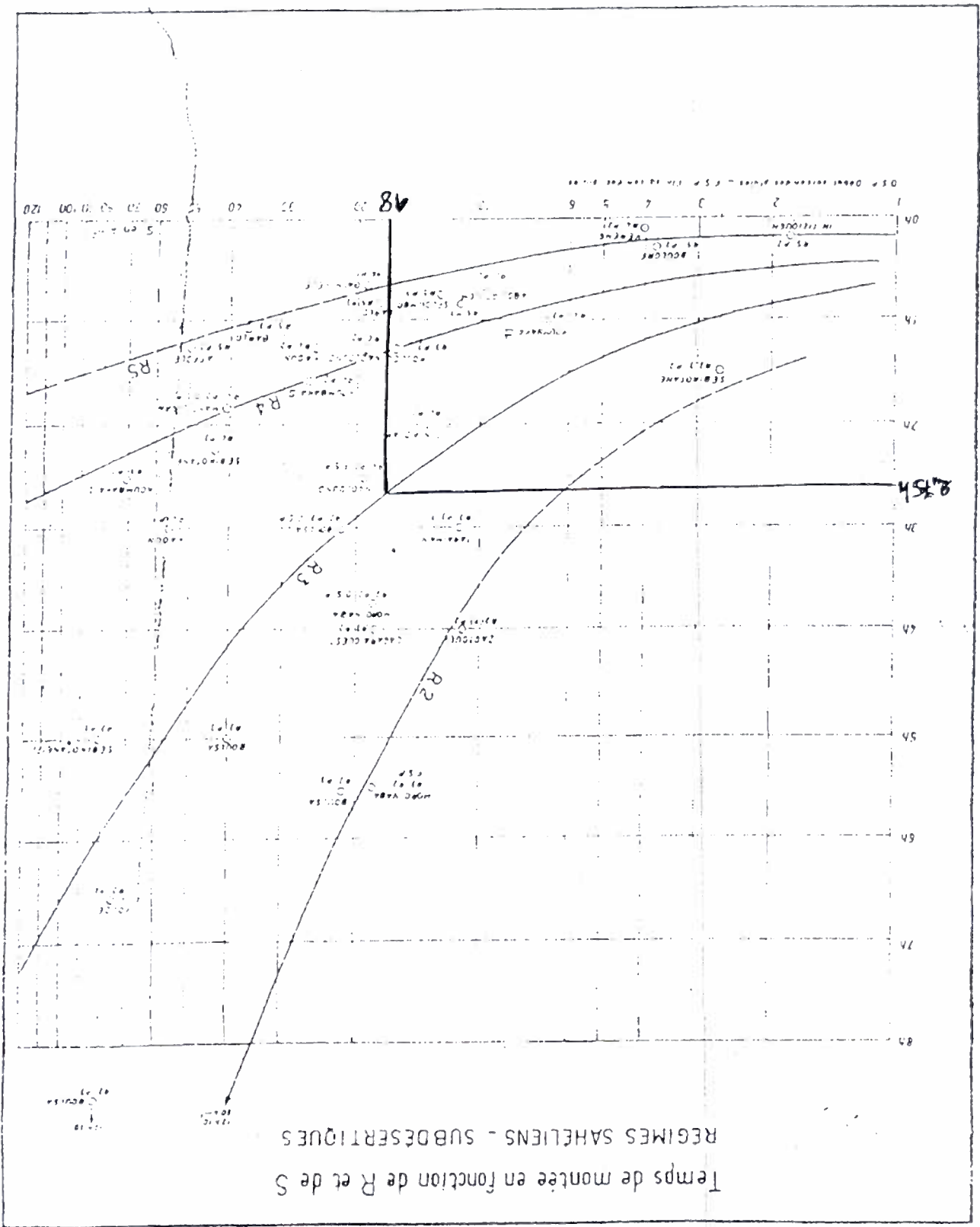
FRÉQUENCE DE NON DÉPASSEMENT (%)

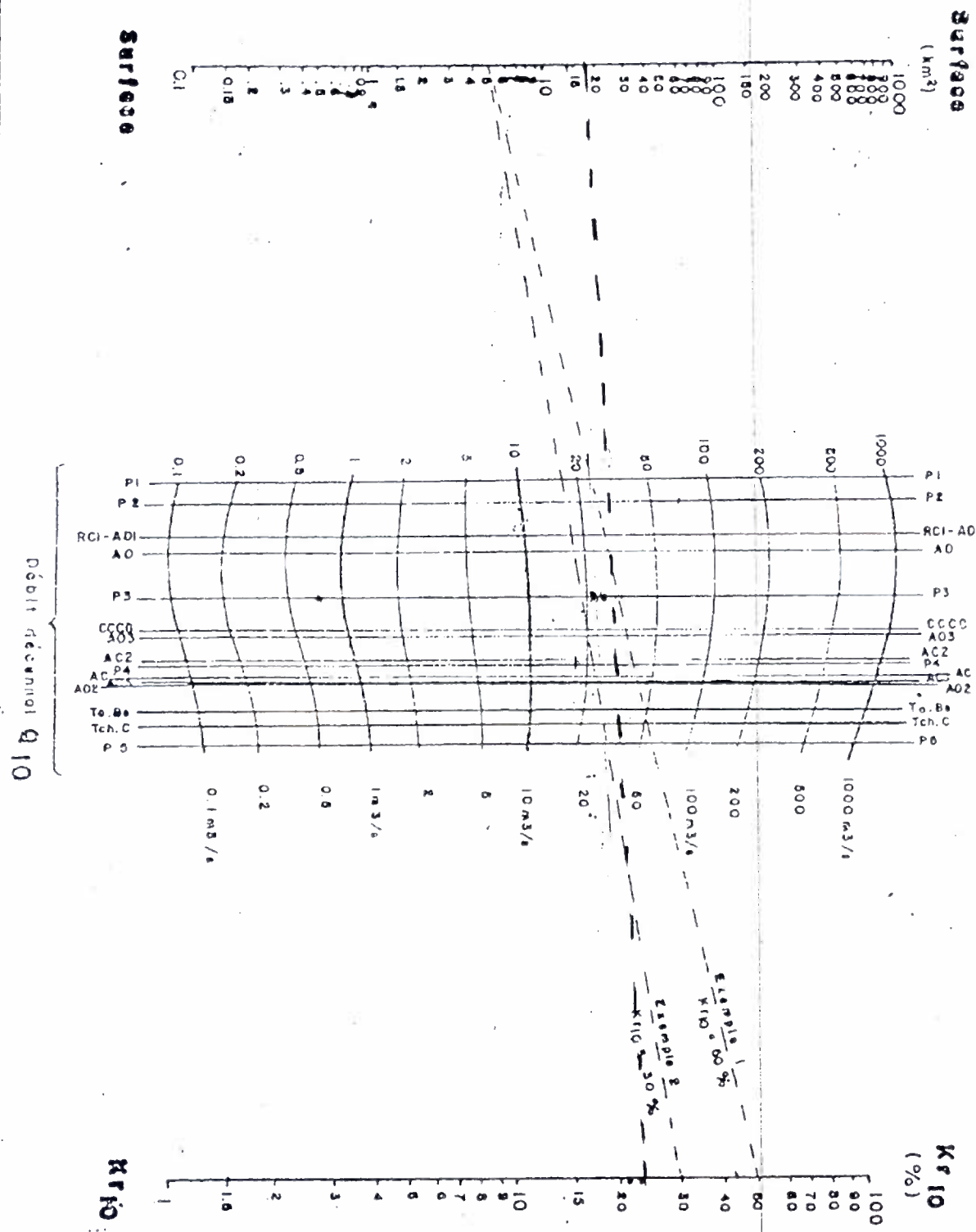


# GUMBEL

Ajustement des pluies maximales  
Journalières suivant la loi de Gumbel



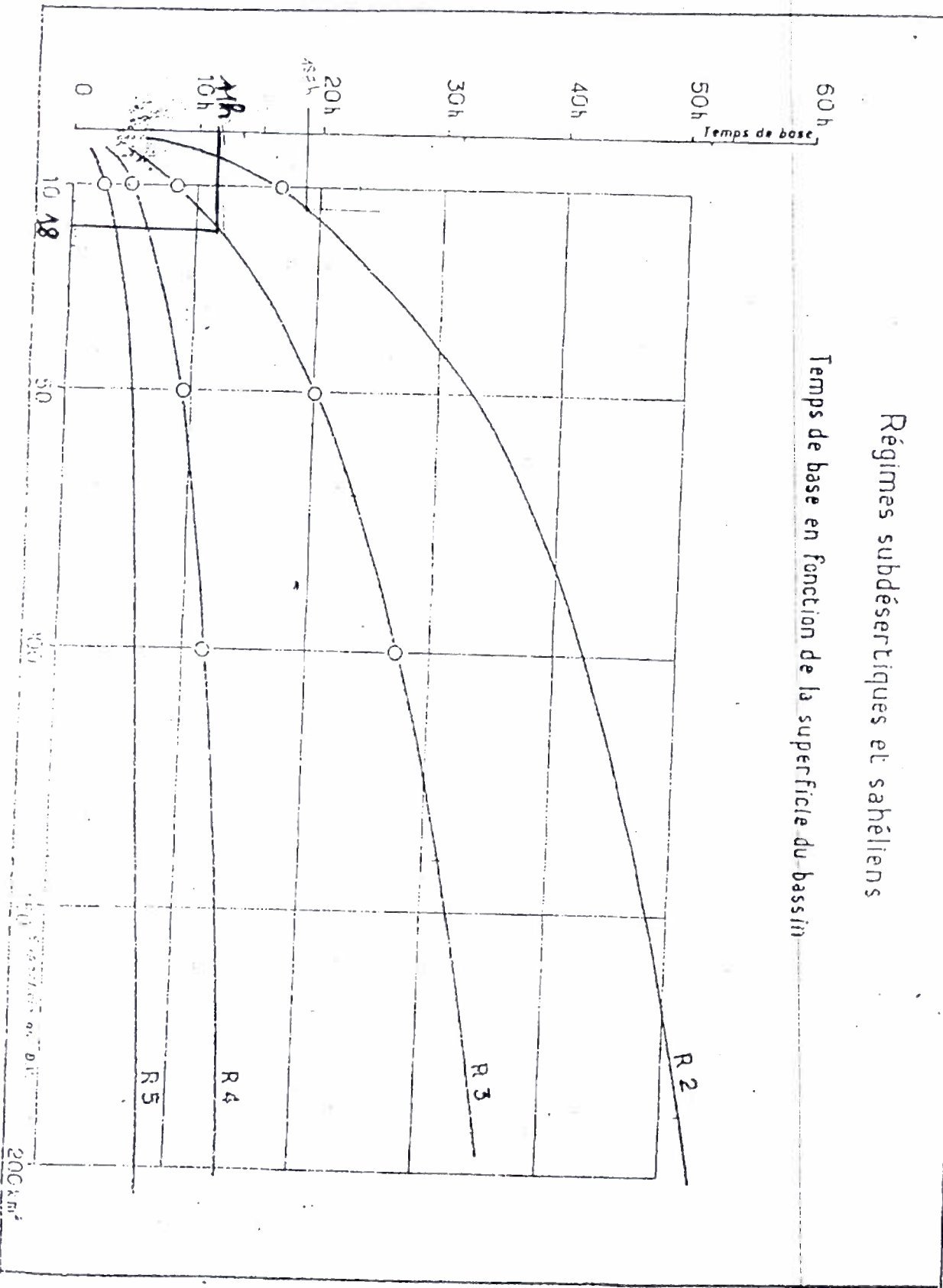




ABaque de calcul du débit de crue décennal C

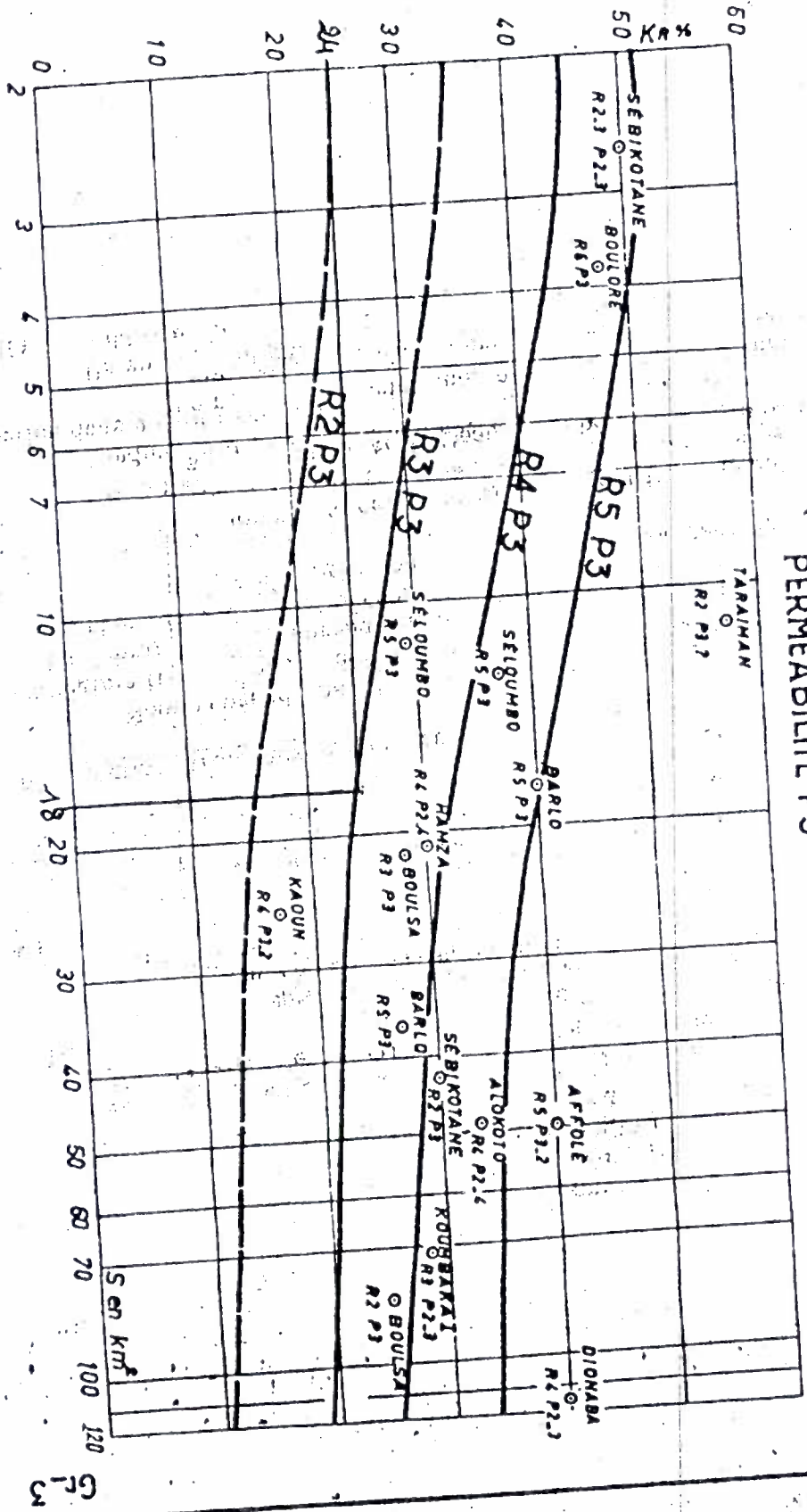
### Régimes subdésertiques et sahéliens

Temps de base en fonction de la superficie du bassin



# COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT

Régimes sahéliens et subdésertiques  
(P varie de 150 à 600 mm.)  
PERMEABILITE P3



G km



## SURF. TALUS AMONT

D=épais. de déca- 0,2  
M=fruit (H/V) 2

| N° Profil    | Côte TN<br>(m) | Côte Di<br>(m) | largeur Crête<br>(m) | di<br>(m) | H=<br>C-TN+D<br>(m) | l <sub>ti</sub> =<br>H*(M <sup>2</sup> +<br>1) <sup>.5</sup><br>(m) | St <sub>i</sub> =<br>(l <sub>i</sub> -1+l <sub>i</sub> )*di/2<br>(m <sup>2</sup> ) |
|--------------|----------------|----------------|----------------------|-----------|---------------------|---|--|
| 1            | 102            | 102            | 3                    |           | 0,2                 | 0,45  | 0  |
| 2            | 101,8          | 102            | 3                    | 40        | 0,4                 | 0,89  | 26,83  |
| 3            | 101,67         | 102            | 3                    | 72        | 0,5                 | 1,19  | 74,86  |
| 4            | 101,5          | 102            | 3                    | 26        | 0,7                 | 1,57  | 35,75  |
| 4'           | 101            | 102            | 3                    | 32,5      | 1,2                 | 2,68  | 69,04  |
| 5            | 100,57         | 102            | 3                    | 46,3      | 1,6                 | 3,64  | 146,49   |
| 5'           | 100,3          | 102            | 3                    | 9,4       | 1,9                 | 4,25  | 37,10  |
| 6            | 100            | 102            | 3                    | 11,2      | 2,2                 | 4,92  | 47,96  |
| 7            | 99,4           | 102            | 3                    | 14,6      | 2,8                 | 6,26  | 81,62  |
| 8            | 98,89          | 102            | 3                    | 10,2      | 3,3                 | 7,40  | 69,68  |
| 9            | 97,97          | 102            | 3                    | 41,2      | 4,2                 | 9,46  | 347,32   |
| 10           | 97,19          | 102            | 3                    | 4,8       | 5,0                 | 11,20   | 49,59  |
| 10'          | 98,01          | 102            | 3                    | 3,9       | 4,2                 | 9,37  | 40,12  |
| 10"          | 97,91          | 102            | 3                    | 24,3      | 4,3                 | 9,59  | 230,39   |
| 11           | 98,01          | 102            | 3                    | 39,2      | 4,2                 | 9,37  | 371,65   |
| 11'          | 97,93          | 102            | 3                    | 53,6      | 4,3                 | 9,55  | 506,98   |
| 11"          | 98,5           | 102            | 3                    | 28,2      | 3,7                 | 8,27  | 251,28   |
| 12           | 99,07          | 102            | 3                    | 19,2      | 3,1                 | 7,00  | 146,61   |
| 13           | 100,15         | 102            | 3                    | 36        | 2,0                 | 4,58  | 208,49   |
| 13'          | 100,4          | 102            | 3                    | 12,3      | 1,8                 | 4,02  | 52,94  |
| 14           | 101,19         | 102            | 3                    | 50        | 1,0                 | 2,26  | 231,43   |
| 14'          | 101,67         | 102            | 3                    | 36,5      | 0,5                 | 1,19  | 105,29   |
| 15           | 101,8          | 102            | 3                    | 36        | 0,4                 | 0,89  | 88,55  |
| <b>TOTAL</b> |                |                |                      |           |                     |   | <b>3 219,97</b>  |

## PROF. TRANCHEE

|          |       |      |                  |                 |
|----------|-------|------|------------------|-----------------|
| P.E.N. = | 101   | C =  | Coef. Lane       |                 |
| P.H.E. = | 101,5 | d =  | Déca page        | 0,15            |
|          |       | CD = | Côte digue       |                 |
| M2 =     | 3     | H =  | CD-TN+ d         |                 |
| M1 =     | 1     | CE = | PHE-TN           |                 |
|          |       | Lc = | Largeur en crête | 3,5             |
|          |       | LH = | Lc+ 2*M*H        |                 |
|          |       | Pt = | Prof. tranchée   | $(C*CE-LH/3)/2$ |

| N°<br>PROFIL<br>L | C   | TN<br>(m) | CD<br>(m) | H<br>(m) | CE<br>(m) | LH<br>(m) | Pt<br>(m) |
|-------------------|-----|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1                 | 2,5 | 102       | 102       | 0,15     | -0,50     | 3,6       | 0,50      |
| 2                 | 2,5 | 101,8     | 102       | 0,35     | -0,30     | 3,73      | 0,50      |
| 3                 | 2,5 | 101,67    | 102       | 0,48     | -0,17     | 3,82      | 0,50      |
| 4                 | 2,5 | 101,5     | 102       | 0,65     | 0,00      | 3,93      | 0,50      |
| 4'                | 2,5 | 101       | 102       | 1,15     | 0,50      | 4,27      | 0,50      |
| 5                 | 2,5 | 100,57    | 102       | 1,58     | 0,93      | 4,55      | 0,50      |
| 5'                | 2,5 | 100,3     | 102       | 1,85     | 1,20      | 4,73      | 0,71      |
| 6                 | 2,5 | 100       | 102       | 2,15     | 1,50      | 4,93      | 1,05      |
| 7                 | 2,5 | 99,4      | 102       | 2,75     | 2,10      | 5,33      | 1,74      |
| 8                 | 2,5 | 98,89     | 102       | 3,26     | 2,61      | 5,67      | 2,32      |
| 9                 | 2,5 | 97,97     | 102       | 4,18     | 3,53      | 6,29      | 3,36      |
| 10                | 2,5 | 97,19     | 102       | 4,96     | 4,31      | 6,81      | 4,25      |
| 10'               | 2,5 | 98,01     | 102       | 4,14     | 3,49      | 6,26      | 3,32      |
| 10''              | 2,5 | 97,91     | 102       | 4,24     | 3,59      | 6,33      | 3,43      |
| 11                | 2,5 | 98,01     | 102       | 4,14     | 3,49      | 6,26      | 3,32      |
| 11'               | 2,5 | 97,93     | 102       | 4,22     | 3,57      | 6,31      | 3,41      |
| 11''              | 2,5 | 98,5      | 102       | 3,65     | 3,00      | 5,93      | 2,76      |
| 12                | 2,5 | 99,07     | 102       | 3,08     | 2,43      | 5,55      | 2,11      |
| 13                | 3,5 | 100,15    | 102       | 2        | 1,35      | 4,83      | 1,56      |
| 13'               | 3,5 | 100,4     | 102       | 1,75     | 1,10      | 4,67      | 1,15      |
| 14                | 3,5 | 101,19    | 102       | 0,96     | 0,31      | 4,14      | 0,50      |
| 14'               | 3,5 | 101,67    | 102       | 0,48     | -0,17     | 3,82      | 0,50      |
| 15                | 3,5 | 101,8     | 102       | 0,35     | -0,30     | 3,73      | 0,50      |

## VOLUME DIGUE

## SURF. DECAPAGE

M1= 2                      CM= 1,046  
M2= 2                      d= 0,2  
M1+M2= 4

| N° Profil        | Côte TN (m) | Côte CD (m) | largeur Crête (m) | di (m) | H= C-TN+d (m) | Ei = (M1+M2)H+L (m) | Eim (Ei-1+Ei)/2 (m) | Sdi Eim*di*CM (m <sup>2</sup> ) |
|------------------|-------------|-------------|-------------------|--------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|
| 1                | 102         | 102         | 3                 |        | 0,20          | 3,80                | 1,9                 | 0,00                            |
| 2                | 101,8       | 102         | 3                 | 40     | 0,40          | 4,60                | 4,2                 | 175,73                          |
| 3                | 101,67      | 102         | 3                 | 72     | 0,53          | 5,12                | 4,86                | 366,02                          |
| 4                | 101,5       | 102         | 3                 | 26     | 0,70          | 5,80                | 5,46                | 148,49                          |
| 4'               | 101         | 102         | 3                 | 32,5   | 1,20          | 7,80                | 6,8                 | 231,17                          |
| 5                | 100,57      | 102         | 3                 | 46,3   | 1,63          | 9,52                | 8,66                | 419,40                          |
| 5'               | 100,3       | 102         | 3                 | 9,4    | 1,90          | 10,60               | 10,06               | 98,91                           |
| 6                | 100         | 102         | 3                 | 11,2   | 2,20          | 11,80               | 11,2                | 131,21                          |
| 7                | 99,4        | 102         | 3                 | 14,6   | 2,80          | 14,20               | 13                  | 198,53                          |
| 8                | 98,89       | 102         | 3                 | 10,2   | 3,31          | 16,24               | 10,42               | 111,17                          |
| 9                | 97,97       | 102         | 3                 | 41,2   | 4,23          | 19,92               | 18,08               | 779,16                          |
| 10               | 97,19       | 102         | 3                 | 4,8    | 5,01          | 23,04               | 21,48               | 107,85                          |
| 10'              | 98,01       | 102         | 3                 | 3,9    | 4,19          | 19,76               | 21,4                | 87,30                           |
| 10"              | 97,91       | 102         | 3                 | 24,3   | 4,29          | 20,16               | 19,96               | 507,34                          |
| 11               | 98,01       | 102         | 3                 | 39,2   | 4,19          | 19,76               | 19,96               | 818,42                          |
| 11'              | 97,93       | 102         | 3                 | 53,6   | 4,27          | 20,08               | 19,92               | 1116,83                         |
| 11"              | 98,5        | 102         | 3                 | 28,2   | 3,70          | 17,80               | 18,94               | 558,68                          |
| 12               | 99,07       | 102         | 3                 | 19,2   | 3,13          | 15,52               | 16,66               | 334,59                          |
| 13               | 100,15      | 102         | 3                 | 36     | 2,05          | 11,20               | 13,36               | 503,08                          |
| 13'              | 100,4       | 102         | 3                 | 12,3   | 1,80          | 10,20               | 10,7                | 137,66                          |
| 14               | 101,19      | 102         | 3                 | 50     | 1,01          | 7,04                | 8,62                | 450,83                          |
| 14'              | 101,67      | 102         | 3                 | 36,5   | 0,53          | 5,12                | 6,08                | 232,13                          |
| 15               | 101,8       | 102         | 3                 | 36     | 0,40          | 4,60                | 4,86                | 183,01                          |
| <b>T O T A L</b> |             |             |                   |        |               |                     |                     | <b>7697,50</b>                  |

## VOLUME TRANCHEE

Lt= 3,5  
M= 0,33

Lt= Largeur du fond de tranchée  
M= Fruit des talus (H/V)  
Pi= Prof. tranchée au profil i  
di= Dist. partielle  
Ei= Largeur de la tranchée au plafond  
Si= Surface au profil i  
Vi= Volume partiel

| N°<br>Profil     | Pi<br>(m) | di<br>(m) | Ei=<br>2*Pi*M+Lt<br>(m) | Si=<br>(Ei+Lt)*Pi/2<br>(m2) | Sim=<br>(Si-1+Si)/2<br>(m2) | Vi =<br>Sim*di<br>(m3) |
|------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1                | 0,5       |           | 3,83                    | 1,83                        | 0,92                        | 0                      |
| 2                | 0,5       | 40        | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 73,30                  |
| 3                | 0,5       | 72        | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 131,94                 |
| 4                | 0,5       | 26        | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 47,65                  |
| 4'               | 0,5       | 32,5      | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 59,56                  |
| 5                | 0,5       | 46,3      | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 84,84                  |
| 5'               | 0,71      | 9,4       | 3,9686                  | 2,65                        | 2,24                        | 21,07                  |
| 6                | 1,05      | 11,2      | 4,193                   | 4,04                        | 3,35                        | 37,46                  |
| 7                | 1,74      | 14,6      | 4,6484                  | 7,09                        | 5,56                        | 81,23                  |
| 8                | 2,32      | 10,2      | 5,0312                  | 9,90                        | 8,49                        | 86,63                  |
| 9                | 3,36      | 41,2      | 5,72                    | 15,49                       | 12,69                       | 522,86                 |
| 10               | 4,25      | 4,8       | 6,31                    | 20,84                       | 18,16                       | 87,17                  |
| 10'              | 3,32      | 3,9       | 5,69                    | 15,26                       | 18,05                       | 70,38                  |
| 10''             | 3,43      | 24,3      | 5,76                    | 15,89                       | 15,57                       | 378,41                 |
| 11               | 3,32      | 39,2      | 5,69                    | 15,26                       | 15,57                       | 610,44                 |
| 11'              | 3,41      | 53,6      | 5,75                    | 15,77                       | 15,51                       | 831,60                 |
| 11''             | 2,76      | 28,2      | 5,32                    | 12,17                       | 13,97                       | 394,04                 |
| 12               | 2,11      | 19,2      | 4,89                    | 8,85                        | 10,51                       | 201,87                 |
| 13               | 1,56      | 36        | 4,53                    | 6,26                        | 7,56                        | 272,11                 |
| 13'              | 1,15      | 12,3      | 4,26                    | 4,46                        | 5,36                        | 65,96                  |
| 14               | 0,5       | 50        | 3,83                    | 1,83                        | 3,15                        | 157,35                 |
| 14'              | 0,5       | 36,5      | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 66,89                  |
| 15               | 0,5       | 36        | 3,83                    | 1,83                        | 1,83                        | 65,97                  |
| <b>T O T A L</b> |           |           |                         |                             |                             | <b>4348,72</b>         |

## FILTRE

## HORI

### Z.

PEN = 101  
 PHE = 101,50  
 CD= C.digue 102  
 R= revanch 0,5  
 d= décap. 0,2  
 di= dist. partiel.  
 Ei= CD - + d  
 TN  
 H= CD - TN  
 Li= 4/3\* (H+R)  
 Ef i= '2\*((Q\* Li/Kf)^ 0,5)  
 Si= (Li-1+Li )/2\*di  
 D= 4\*Ei+I- 0,7\*M \*H- 4/3\*Ei  
 Q= Km\* (-D+ (H^2 D^2)^,5)  
 +  
 Qt= (Qi-1+ Qi)\*di/2

E= épais. filtre adoptée 0,4  
 Km= Coef. perméa. matériau 1E-07  
 Kf= Coef. perméa. filtre 1E-05  
 M= Fruit amont 2  
 CD= Côte digue  
 I= Larg. crête 3,5  
 Ei= Haut. digue au profil i  
 H= Charge d'eau au PHE  
 Li= Long. filtre au profil i  
 Ef i= Epais. filtre au profil i  
 Si= Surf. filtre au profil i  
 D= Emba se  
 Q= Débit de fuite par ml  
 Vi= Volu. filtre au profil i = Si\*E

| N° Profil    | Côte TN (m) | CD (m) | di (m) | Ei (m) | H (m) | Li (m) | Si (m <sup>2</sup> ) | D (m) | Q (*10 <sup>-8</sup> m <sup>3</sup> /s/ml) | Qt (*10 <sup>-8</sup> m <sup>3</sup> /s) | Ef i (m) | Vi (m <sup>3</sup> ) |
|--------------|-------------|--------|--------|--------|-------|--------|----------------------|-------|--|--|----------|----------------------|
| 1            | 102         | 102    |        | 0,2    | -0,50 | 0      |                      | 4,73  | 0,26                                       |  | 0,00     | 0                    |
| 2            | 101,8       | 102    | 40     | 0,4    | -0,30 | 0      | 0                    | 4,99  | 0,09                                       | 7,07                                     | 0,00     | 0                    |
| 3            | 101,67      | 102    | 72     | 0,53   | -0,17 | 0      | 0                    | 5,15  | 0,03                                       | 4,26                                     | 0,00     | 0                    |
| 4            | 101,5       | 102    | 26     | 0,7    | 0,00  | 0      | 0                    | 5,37  | 0,00                                       | 0,36                                     | 0,00     | 0                    |
| 4'           | 101         | 102    | 32,5   | 1,2    | 0,50  | 0      | 0                    | 6,00  | 0,21                                       | 3,38                                     | 0,00     | 0                    |
| 5            | 100,57      | 102    | 46,3   | 1,63   | 0,93  | 0      | 0                    | 6,54  | 0,66                                       | 20,03                                    | 0,00     | 0                    |
| 5'           | 100,3       | 102    | 9,4    | 1,9    | 1,20  | 0      | 0                    | 6,89  | 1,04                                       | 7,97                                     | 0,00     | 0                    |
| 6            | 100         | 102    | 11,2   | 2,2    | 1,50  | 0      | 0                    | 7,27  | 1,53                                       | 14,39                                    | 0,00     | 0                    |
| 7            | 99,4        | 102    | 14,6   | 2,8    | 2,10  | 0      | 0                    | 8,03  | 2,70                                       | 30,91                                    | 0,00     | 0                    |
| 8            | 98,89       | 102    | 10,2   | 3,31   | 2,61  | 5,3    | 27,1                 | 8,67  | 3,84                                       | 33,37                                    | 0,29     | 10,8                 |
| 9            | 97,97       | 102    | 41,2   | 4,23   | 3,53  | 6,5    | 244,2                | 9,84  | 6,14                                       | 205,66                                   | 0,40     | 97,7                 |
| 10           | 97,19       | 102    | 4,8    | 5,01   | 4,31  | 7,6    | 33,89                | 10,83 | 8,26                                       | 34,57                                    | 0,50     | 13,6                 |
| 10'          | 98,01       | 102    | 3,9    | 4,19   | 3,49  | 6,5    | 27,43                | 9,79  | 6,04                                       | 27,89                                    | 0,40     | 11                   |
| 10''         | 97,91       | 102    | 24,3   | 4,29   | 3,59  | 6,6    | 159,2                | 9,91  | 6,30                                       | 149,88                                   | 0,41     | 63,7                 |
| 11           | 98,01       | 102    | 39,2   | 4,19   | 3,49  | 6,5    | 256,89               | 9,79  | 6,04                                       | 241,79                                   | 0,40     | 103                  |
| 11'          | 97,93       | 102    | 53,6   | 4,27   | 3,57  | 6,6    | 350,54               | 9,89  | 6,25                                       | 329,19                                   | 0,41     | 140                  |
| 11''         | 98,5        | 102    | 28,2   | 3,7    | 3,00  | 5,8    | 175,22               | 9,17  | 4,78                                       | 155,54                                   | 0,33     | 70,1                 |
| 12           | 99,07       | 102    | 19,2   | 3,13   | 2,43  | 5,1    | 104,70               | 8,44  | 3,43                                       | 78,83                                    | 0,26     | 41,9                 |
| 13           | 100,15      | 102    | 36     | 2,05   | 1,35  | 0      | 91,32                | 7,08  | 1,28                                       | 84,65                                    | 0,00     | 36,5                 |
| 13'          | 100,4       | 102    | 12,3   | 1,8    | 1,10  | 0      | 0,00                 | 6,76  | 0,89                                       | 13,32                                    | 0,00     | 0                    |
| 14           | 101,19      | 102    | 50     | 1,01   | 0,31  | 0      | 0,00                 | 5,76  | 0,08                                       | 24,31                                    | 0,00     | 0                    |
| 14'          | 101,67      | 102    | 36,5   | 0,53   | -0,17 | 0      | 0                    | 5,15  | 0,03                                       | 2,03                                     | 0,00     | 0                    |
| 15           | 101,8       | 102    | 36     | 0,4    | -0,30 | 0      | 0                    | 4,99  | 0,09                                       | 2,13                                     | 0,00     | 0                    |
| <b>TOTAL</b> |             |        |        |        |       |        |                      |       |  |  |          | 588                  |

## VOLUME DIGUE

D=épais. de déca- 0,2

M1=

2 M2=

2 (M1+M2)/2=

2

| N°<br>Profil     | Côte<br>TN<br>(m) | Côte<br>Di<br>(m) | largeur<br>Crête<br>(m) | di<br>(m) | H=<br>C-TN+D<br>(m) | Si =<br>$l \cdot H + 2 \cdot H^2$<br>(m2) | Vi =<br>$(Si - 1 + Si) \cdot di / 2$<br>(m2) |
|------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------|---------------------|---|--|
| 1                | 102               | 102               | 3,5                     |           | 0,2                 | 0,78                                      | 0  |
| 2                | 101,8             | 102               | 3,5                     | 40        | 0,4                 | 1,72                                      | 50,0   |
| 3                | 101,67            | 102               | 3,5                     | 72        | 0,5                 | 2,42                                      | 148,9  |
| 4                | 101,5             | 102               | 3,5                     | 26        | 0,7                 | 3,43                                      | 76,0   |
| 4'               | 101               | 102               | 3,5                     | 32,5      | 1,2                 | 7,08                                      | 170,8  |
| 5                | 100,57            | 102               | 3,5                     | 46,3      | 1,6                 | 11,02                                     | 419,0  |
| 5'               | 100,3             | 102               | 3,5                     | 9,4       | 1,9                 | 13,87                                     | 117,0  |
| 6                | 100               | 102               | 3,5                     | 11,2      | 2,2                 | 17,38                                     | 175,0  |
| 7                | 99,4              | 102               | 3,5                     | 14,6      | 2,8                 | 25,48                                     | 312,9  |
| 8                | 98,89             | 102               | 3,5                     | 10,2      | 3,3                 | 33,50                                     | 300,8  |
| 9                | 97,97             | 102               | 3,5                     | 41,2      | 4,2                 | 50,59                                     | 1732,2                                       |
| 10               | 97,19             | 102               | 3,5                     | 4,8       | 5,0                 | 66,56                                     | 281,2  |
| 10'              | 98,01             | 102               | 3,5                     | 3,9       | 4,2                 | 49,78                                     | 226,9  |
| 10''             | 97,91             | 102               | 3,5                     | 24,3      | 4,3                 | 51,82                                     | 1234,4                                       |
| 11               | 98,01             | 102               | 3,5                     | 39,2      | 4,2                 | 49,78                                     | 1951,5                                       |
| 11'              | 97,93             | 102               | 3,5                     | 53,6      | 4,3                 | 51,41                                     | 2711,8                                       |
| 11''             | 98,5              | 102               | 3,5                     | 28,2      | 3,7                 | 40,33                                     | 1293,5                                       |
| 12               | 99,07             | 102               | 3,5                     | 19,2      | 3,1                 | 30,55                                     | 680,4  |
| 13               | 100,15            | 102               | 3,5                     | 36        | 2,0                 | 15,58                                     | 830,3  |
| 13'              | 100,4             | 102               | 3,5                     | 12,3      | 1,8                 | 12,78                                     | 174,4  |
| 14               | 101,19            | 102               | 3,5                     | 50        | 1,0                 | 5,58                                      | 458,9  |
| 14'              | 101,67            | 102               | 3,5                     | 36,5      | 0,5                 | 2,42                                      | 145,9  |
| 15               | 101,8             | 102               | 3,5                     | 36        | 0,4                 | 1,72                                      | 74,5   |
| <b>T O T A L</b> |                   |                   |                         |           |                     |   | <b>13 566,25</b>                             |