

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

21/85

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

وزارة التعليم والبحث العلمي

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

107
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

*Etude de faisabilité d'un barrage
sur l'Oued Sbisseb au site
de fakra (Wilaya de Bouira)*

13 PLANS

Proposé par :

Mr LEANG L. HENG

Etudié par :

T. CHILA

M. BELHOCINE

Dirigé par :

Mr LEANG L. HENG

PROMOTION : JANVIER 1985

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

«O» المدرسة الوطنية للعلوم التطبيقية

المكنة

Ministère de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

»O« ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

BIBLIOTHÈQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

»O«

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

»O«

PROJET DE FIN D'ETUDES

(en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état)

THEME

*Etude de faisabilité d'un barrage
sur l'Oued Sbisseb au site
de fakra (Wilaya de Bouira)*

Proposé par :

Mr LEANG L. HENG

Etudié par :

T. CHILA

M. BELHOCINE

Dirigé par :

Mr LEANG L. HENG

DEDICACES .

A mes parents.

A mes amis

M. BELHOCINE.

A mon père pour son aide matérielle et morale.

A ma mère qui a tant attendu ce jour.

A mes frères qui m'ont beaucoup encouragé.

A mes soeurs et mes belles-soeurs.

A mes neveux et nièces, en particulier LYNDA.

A la mémoire de mon oncle.

A la mémoire de mon beau-frère.

A toute ma famille.

A tous mes amis

T. CHILA.

S O M M A I R E .

INTRODUCTION :

CHAPITRE. I. HYDROLOGIE.

1. Introduction :
2. Situation géographique :
3. Situation climatique :
4. Pluviométrie :
5. Apports :
6. Etude des crues :
7. Apports solides :
8. Evaporation :
9. Laminage des crues :

CHAPITRE .II. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE .

1. Introduction :
2. Géologie du site :
3. Propriétés physico-mécaniques des roches :
4. Perméabilité des roches :
5. Choix des fondations et excavations :
6. Zone d'emprunt :

CHAPITRE . III. BARRAGE .

1. Choix du site :
2. Choix du type de barrage :
3. Généralités des difficultés à résoudre :
4. Dimensionnement du barrage :
5. Pentes des talus :
6. Protection des talus :
7. Tapis filtrant :
8. Prisme de drainage :

CHAPITRE .IV. INFILTRATIONS :

1. Position de la ligne phréatique :
2. Estimation du débit de fuite :

CHAPITRE. V. Etude de stabilité .

1. Description du glissement :
2. Principe :
3. Méthodes utilisées :
4. Méthode des tranches :
5. Calcul de stabilité du talus amont :
6. Calcul de stabilité du talus aval :

CHAPITRE . OUVRAGES ANNEXES .

1. Dérivation provisoire :
2. Digue du col :
3. Evacuateur de crue :
 - 3.1. Conception de l'évacuation de crue :
 - 3.2. Choix de l'évacuateur de crue :
 - 3.3. Profil du déversoir :
 - 3.4. Etude de l'écoulement dans le canal :
4. Vidange de fond :
5. Prise d'eau :

INTRODUCTION.

L'eau est un élément indispensable à la vie et un facteur décisif pour la solution des problèmes sociaux du citoyen d'une part et le développement de l'économie nationale d'autre part.

Les ressources en eau dans notre pays, notamment dans les zones côtières où les pluies sont très abondantes, constituent une véritable richesse. Cependant, on enregistre un énorme déficit. En effet, sur les grandes quantités de pluies qui tombent chaque année, seule une partie infime de celles-ci est récupérée, ce qui provoque une distorsion importante entre les besoins nationaux en eau et les ressources mobilisées.

Cette situation est d'autant plus alarmante, que la croissance démographique est considérable et le développement économique rapide.

L'Algérie, consciente de ces problèmes, s'est engagée à réaliser d'importantes infrastructures qui permettront la récupération et l'exploitation de ces eaux.

C'est dans ce contexte qu'est projeté le barrage de FAKRA. Celui-ci est destiné, notamment, à satisfaire les besoins en eau de la future zone industrielle de BOUIRA.

PARAMETRES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN ETUDIE.

Superficie (Km ²)	104
Périmètre (Km).....	42
Longueur du talweg (Km).....	15
Longueur du rectangle équivalent (Km).....	13
Largeur du rectangle équivalent (Km).....	8
Indice de compacité	1,15
Altitude min (m).....	620
Altitude moyenne (m).....	761
Densité de drainage (Km/Km ²)	3,25
Coefficient de torrentialité	13,11

CHAPITRE . I. HYDROLOGIE .

1. Introduction :

Le but de cette étude est la détermination des caractéristiques hydrologiques du bassin de FAKRA. Vu le manque de données hydrologiques sur le bassin prévu, certaines valeurs recherchées seront estimées par rapport aux bassins versants voisins.

2. Situation géographique :

Le bassin de FAKRA se trouve au Sud-Est d'Aïn Bessen, limité à l'Ouest par le bassin de Oued LAKHAL. Les deux bassins représentent la partie Sud du bassin de TELEZDIT qui est situé dans la partie Sud-Ouest du grand bassin de la SOUMAM.

3. Situation climatique :

La région de BOUIRA est caractérisée par un climat semi-aride, avec un été chaud et sec et un hiver humide et froid.

4. Pluviométrie :

a) Pluie moyenne annuelle :

Les stations pluviométriques qui existent aux environs du site de

FAKRA sont : EL HACHIMIA - AIN BESSEM - HAMAM KSANA et SOUR EL-GHOZLANE.

Tableau récapitulatif des stations environnantes

Nom de la Station	Altitude	Nombre d'années complètes	Pluie moyenne annuelle
EL-HACHIMIA	719	8	448
AIN BESSEM	682	29	550
HAMAM KSANA	600	3	-
SOUR EL-GHOZLANE	705	23	506

Vu la limitation des années d'observation sur la station la plus proche (EL-HACHIMIA), on utilisera la carte CHAUMONT qui indique la pluie moyenne annuelle sur les bassins algériens pendant la période 1920-1963. On obtient :

pluie moyenne annuelle sur le bassin versant :

$$\bar{P}_1 = 500 \text{ mm}$$

pluie annuelle sur la cuvette du barrage :

$$\bar{P}_2 = 450 \text{ mm}$$

b) Pluie de courte durée et pluie maximum probable (PMP):

L'étude hydrologique de Oued LAKHAL, EDDOUS et SBISSEB a permis de déterminer la pluie maximum probable et la pluie de courte durée :

$$\text{PMP} = 310 \text{ mm}$$

pluie de courte durée

Fréquence	Période de retour	Pluie journalière(en mm)
10%	10ans	66
1%	100 ans	95
0,1%	1000 ans	125
0,02%	5000 ans	145
0,01%	10 000 ans	155

5. Apports :

Par manque de données hydrométriques au site du barrage prévu, on considère les données des bassins de la région.

Par analogie, l'apport moyen annuel sera de : $7,1 \text{ hm}^3$.

6. Etude des crues :

Cette étude consiste à déterminer le débit de pointe des crues. Les résultats sont portés dans le tableau suivant :

Fréquence (%)	Période de retour (ans)	Q_{max} (m^3/s)
10	10	124
1	100	213
0,1	1000	307
0,02	5000	369
0,01	10 000	402

crue maximum probable :

C M P : $886 \text{ m}^3/\text{s}$

7. Apports solides :

Il n'existe pas de mesures de prélèvement des apports solides au site du barrage prévu , une estimation a été faite par analogie avec l'oued Lakhel.

Taux d'abrasion :

$$T = 1452 \text{ t /Km}^2 \text{ / an.}$$

Apport solide

$$As = T.S.$$

T : Taux d'abrasion = 1452 t/Km² / an.

S : Superficie du bassin versant = 104 Km²

$$As = 151008 \text{ t/an}$$

Taux d'envasement par an

$$E = \frac{T.S.}{\gamma_s}$$

E : envasement

γ_s : poids spécifique des apports solides : 1,2 t/m³

$$E = 125840,00 \text{ m}^3\text{/an}$$

Taux d'envasement dans 30 ans

$$E_{30} = 3,8 \text{ hm}^3$$

8. Evaporation.

Ne disposant pas de mesures d'évaporation au site de FAKRA, on utilise la relation liant l'altitude et les données d'observation annuelles converties sur les nappes libres situées sur les bassins versants voisins.

Stations	Altitudes (m)	Evaporation annuelle (mm)	
		Observée	sur nappe
BOUGHZOUL	643	1780	1460
BAKKADA	606	1920	1574
SETIF	1000	1400	1148
KERRATA	489	1570	1413
Douar Zarza	320	1490	1685

D'après ces valeurs, on aura une évaporation moyenne annuelle :

$$E_a = 1450 \text{ mm}$$

9. Laminage des crues.

Cette étude a été faite sur ordinateur par la D.G.I.H. Nous

retiendrons les résultats suivants :

crue maximum probable :

$$C M P = 800 \text{ m}^3/\text{S}$$

Côte : 640,00 .

CHAPITRE. II. ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE.

1. Introduction :

Afin de déterminer la structure géologique du terrain, les propriétés physico-mécaniques et de perméabilité des roches et des sols, les travaux suivants ont été effectués :

- 9 sondages au site du barrage profonds de :

- | | |
|------------------------|------------------------|
| $S_1 = 40,0 \text{ m}$ | $S_6 = 15,0 \text{ m}$ |
| $S_2 = 30,0 \text{ m}$ | $S_7 = 15,0 \text{ m}$ |
| $S_3 = 30,2 \text{ m}$ | $S_8 = 15,0 \text{ m}$ |
| $S_4 = 30,8 \text{ m}$ | $S_9 = 60,0 \text{ m}$ |
| $S_5 = 50,0 \text{ m}$ | |

- 64 essais Lugeon dans les sondages $S_1 ; S_2 ; S_3 ; S_4 ; S_5 ; S_9$ (tous les 3 m), pour déterminer la perméabilité des terrains rocheux.

- 12 sondages dans la cuvette afin d'établir la profondeur du bed rock, l'épaisseur des formations argileuses quaternaires et enfin les propriétés physico-mécaniques de ces terrains. L'implantation de ces sondages est radiale.

Les profondeurs sont les suivantes :

$S_{10} = 4,5 \text{ m}$	$S_{16} = 4,5 \text{ m}$
$S_{11} = 4,8 \text{ m}$	$S_{17} = 1,2 \text{ m}$
$S_{12} = 4,5 \text{ m}$	$S_{18} = 10,0 \text{ m}$
$S_{13} = 4,3 \text{ m}$	$S_{19} = 4,3 \text{ m}$
$S_{14} = 2,0 \text{ m}$	$S_{20} = 4,5 \text{ m}$
$S_{15} = 2,4 \text{ m}$	$S_{21} = 4,0 \text{ m}$

De ces sondages, des échantillons ont été prélevés et les essais de laboratoire ont permis de déterminer les paramètres des propriétés physico-mécaniques suivants :

Pour les formations quaternaires :

- teneur en eau
- poids spécifique apparent humide

- poids spécifique apparent sec
- poids spécifique des grains solides
- porosité
- degré de saturation
- limite d'Atterberg
- essais à l'oedomètre
- résistance aux contraintes tangentiellles
- teneur en sels solubles
- teneur en matière organiques
- teneur en CaCO_3
- teneur en sulfate

Ainsi que les propriétés physico-mécaniques des sols pour la teneur en eau optimum et la densité sèche maximum.

Pour les terrains rocheux

- teneur en eau
- poids spécifique apparent sec
- poids spécifique apparent humide
- poids spécifique des grains solides
- porosité

- résistance à la compression simple
- teneur en CaCO_3
- teneur en sulfate.

2. Geologie du Site :

Dans la zone du site du barrage projeté, on reconnaît les séries géologiques et génétiques suivantes :

CRETAACE :

Cénomaniens

- calcaires (couche 11)
- calcaires marno-sableux bréchiques (couche 12)
- calcaires marno-sableux (couche 13)
- calcaires marno-schisteux (couche 14)

ALBIENS

- marnes schisteuses (couche 15)
- marnes argilo-schisteuses (couche 16)

QUATERNAIRE

quaternaire actuel

- alluvions du lit majeur de l'Oued, représentés par deux formations :

- a- galets et graviers avec des sables (couche 1)
- b- limons sableux avec des galets et graviers (couche 2)

- Terrasses supérieures représentées par 3 types de sols :

- a- galets et graviers (couche 3)
- b- galets et graviers avec des agrégats limoneux (couche 4)
- c- limons avec des galets et graviers (couche 5)

- Colluvions représentés par 4 types de sols :

- a- éléments anguleux et graviers avec des limons sableux
(couche 6)
- b- limons avec des éléments anguleux (couche 7)
- c- éléments anguleux et graviers avec des limons (couche 8)
- d- blocs de calcaires détritiques (couche 9)

Quaternaire ancien .

- terrasses d'accumulation représentées par des limons argileux contenant des éléments anguleux et graviers (couche 10)

3. Propriétés physico-mécaniques des roches calcaires (couche 11):

- poids spécifique des grains : $2,75\text{g/cm}^3$
- poids spécifique apparent sec : $2,67\text{g/cm}^3$
- résistance à la compression simple : 750Kg/cm^2
- teneur en sulfate : traces
- absorption d'eau : 45 U.L.

Calcaires marno-schisteux (couche 14)

- poids spécifique des grains solides : $2,76\text{g/cm}^3$
- poids spécifique apparent sec : $2,63\text{g/cm}^3$
- résistance à la compression simple : 450Kg/cm^2
- teneur en CaCO_3 : 80%
- teneur en sulfate : traces
- absorption d'eau : 50. U.L.

Calcaires marno-sableux bréchiques (couche 12) et calcaires marno-sableux (couche 13).

- poids spécifique des grains solides : $2,79\text{g/cm}^3$
- poids spécifique apparent sec : $2,61\text{g/cm}^3$.

-résistance à la compression simple : $500\text{Kg}/\text{cm}^2$

- teneur en CaCO_3 : 75%
- teneur en sulfate : traces
- absorption d'eau : 50 U.L.

Marnes schisteuses et marnes argilo-^{schisteuses}

- poids spécifique des grains solides : $2,77\text{g}/\text{cm}^3$
- poids spécifique apparent sec : $2,60\text{g}/\text{cm}^3$
- résistance à la compression simple : $315\text{Kg}/\text{cm}^2$

Terrasses supérieures (couches 3, 4, 5)

- teneur en eau : 17%
- poids spécifique des grains solides : $2,75\text{g}/\text{cm}^3$
- poids spécifique apparent sec : $1,72\text{g}/\text{cm}^3$
- indice des vides : 0,599
- limite de liquidité : 42%
- limite de plasticité : 18%
- indice de plasticité : 24%
- indice de liquidité : 0,04

- teneur en eau optimum : 18%
- densité sèche maximum : $1,77 \text{g/cm}^3$
- coefficient de filtration : $0,003 \text{m/s}$
- coefficient de compressibilité : 0,018
- cohésion : $0,4 \text{Kg/cm}^2$
- angle de frottement : 20°
- teneur en sels solubles : 0,5%
- teneur en matière organique : 1%
- teneur en CaCO_3 : 20%
- teneur en sulfate : traces

Les paramètres pour la teneur en eau optimum et la densité sèche maximum sont les suivants :

- coefficient de compressibilité : 0,02
- cohésion : $0,4 \text{Kg/cm}^2$
- angle de frottement : 20°

Terrasses d'accumulation

- teneur en eau : 18%

- poids spécifique apparent sec : $1,67\text{g/cm}^3$
- poids spécifique des grains solides : $2,65\text{g/cm}^3$
- poids spécifique apparent humide : $2,04\text{g/cm}^3$
- porosité : 37%
- indice du vide : 0,59
- limite de liquidité : 40%
- limite de plasticité : 18%
- indice de liquidité : 0,09
- indice de plasticité : 22%
- coefficient de filtration : 0,001m/j
- cohésion : $0,40\text{Kg/cm}^2$
- angle de frottement interne : 23°
- teneur en eau optimum : 20%
- densité sèche maximum : $1,7\text{g/cm}^3$

Pour la teneur en eau optimum et la densité sèche maximum .

- poids spécifique apparent sec : $1,69\text{g/cm}^3$
- poids spécifique apparent humide : $2,06\text{g/cm}^3$
- cohésion : $0,35\text{Kg/cm}^2$
- angle de frottement interne : 23°

Pour la densité sèche à l'état saturé :

- poids spécifique apparent sec : $1,71 \text{ g/cm}^3$
- poids spécifique apparent humide : $2,08 \text{ g/cm}^3$
- cohésion : $0,30 \text{ Kg/cm}^2$
- angle de frottement interne : 23°

4. Perméabilité des roches :

- Les roches cénomaniennes ont une perméabilité importante, elle atteint 45 unités Lugeon.
- Les roches albiennes sont pratiquement imperméables.
- Les formations quaternaires sont en général imperméables.
- La zone de l'accident tectonique est perméable bien que la faille soit remplie d'argile.

5. Choix des fondations et excavations :

Partant des propriétés physico-mécaniques des roches, on peut dire que les terrains rocheux du site du barrage peuvent servir de bonne

fondation pour le barrage. Sont à enlever :

- la couche supérieure altérée épaisse de 0,5m.
- tous les types de formation quaternaire (alluvions, formation de terrasses, colluvions).
- dans la zone des marnes, la couche supérieure altérée, épaisse de 1m.

6. Zone d'emprunt :

Les matériaux pour le corps du barrage peuvent être extraits des terrasses d'accumulation. Ces matériaux sont largement disponibles dans la cuvette, ils la recouvrent quasi-totalement d'une épaisseur de 3 à 4m. Ce gisement se trouve à environ 200m du site.

Pour la protection des talus et le prisme de drainage, on utilisera les calcaires résistants.

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BARRAGE.

R E T E N U E :	
Superficie du bassin versant	104 Km ²
Apport annuel moyen	7,1 Hm ³
Volume total	26,8 Hm ³
Volume mort	3,8 Hm ³
B A R A G E :	
Type : en terre homogène	
Côte de la crête	641,00 m
Longueur de la crête	173,00 m
Largeur de la crête	7,00 m
Hauteur	31,00 m
Volume des remblais	203 000 m ³
D I G U E D E C O L	
Longueur de la crête	296,00 m
Largeur de la crête	7,00 m
Hauteur	10,00 m
Volume des remblais	58 400 m ³

CHAPITRE. III. BARRAGE.

1. Choix du site :

L'emplacement du barrage est fixé d'après les conditions topographiques, géologiques et hydrogéologiques.

On le dispose dans la partie la plus étroite de l'Oued, ayant un élargissement en amont. Dans ce cas, le barrage a un volume minimum et crée un plus grand volume de retenue.

Notre site a été choisi du fait qu'il satisfait à ces conditions.

Le plan topographique rend bien compte du choix de ce site.

En outre, il se présente comme étant l'endroit le plus avantageux du point de vue économique.

Toutefois, il existe un accident technique au niveau du site. Pour éviter les infiltrations à travers la taille, on préconise un tapis d'argile le long de celle-ci et aux endroits où les calcaires sont en contact avec l'eau.

2. Choix du type de barrage :

Le barrage FAKRA est en terre. Ce choix nous est dicté par le fait que les matériaux nécessaires à sa construction sont largement disponibles au niveau du site-même. Ceci nous permettra de réaliser des économies appréciables, notamment sur le transport qui est un facteur économique important dans toute réalisation d'ouvrage. De plus, la construction de ce type de barrage a l'avantage d'être rapide comparativement aux autres types.

3. Généralités des difficultés à résoudre :

Un barrage en terre doit être :

- a- garanti de tout danger de submersion.
- b- tel que :
 - la ligne de saturation se trouve entièrement à l'intérieur du massif.
 - sa face amont résiste à une vidange brusque, totale ou partielle de la retenue.
 - les pentes des faces amont et aval assurent la stabilité du massif en fonction des matériaux utilisés et laissent une marge de sécurité acceptable, en égard aux méthodes de calcul utilisées et aux hypothèses faites.

- les efforts et charges diverses n'introduisent que des contraintes susceptibles d'être encaissées par les terrains de fondation.
- il n'existe dans le massif ou dans les terrains d'assise aucun passage préférentiel permettant aux eaux de cheminer de l'amont vers l'aval.
- l'eau qui arrive à s'infiltrer à travers le massif ou les terrains d'assise réurgit à l'aval à des vitesses aussi faibles que possible, de manière qu'en aucun cas, les matériaux les plus fins ne puissent être entraînés.
- la face amont soit protégée contre l'action des vagues et la face aval contre l'érosion des eaux de pluie.

Ces conditions serviront comme point de départ pour notre étude.

4. Dimensionnement du barrage :

4.1. Niveau normal de la retenue (NNR)

Sur le flan gauche, il existe une dépression sous forme d'un seuil déversant se prolongeant en forme de canal à ciel ouvert pour aboutir à l'aval du barrage.

On prévoit à cet endroit là un évacuateur de crue dont le seuil est à la cote 638. Le niveau normal de la retenue sera fixé à cette cote-là.

$$\text{NNR} = 638,00$$

4.2. Côte de la crête du barrage (C.C.B.) :

Le point culminant du versant rive gauche, dans le prolongement de l'axe du barrage est à la côte 641,00. La crête du barrage sera à ce niveau.

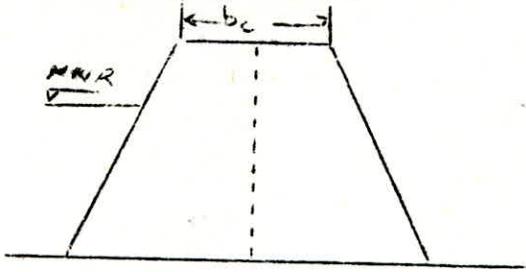
$$C.C.B. = 641,00$$

4.3. Hauteur du barrage :

Le lit de l'Oued se trouve à la côte 610,00. Pour enlever les marnes altérées, un décapage d'environ 1m est nécessaire. La hauteur du barrage sera alors :

$$H = 31 \text{ m}$$

4.4. Largeur de la crête du barrage :



La largeur de la crête doit assurer une sécurité suffisante contre tout risque de submersion par les vagues. Elle dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment la route d'exploitation sur le barrage.

Elle est déterminée à partir de formules empiriques .

Formule de KNAPPEN

$$b_c = 1,65 \cdot \sqrt{H}$$

où H : hauteur du barrage

b_c : largeur de la crête

Formule de PREECE

$$b_c = 1,1 \sqrt{H + 1}$$

Application numérique

Formule de KNAPPEN

$$b_c = 9,12 \text{ m}$$

Formule de PREECE

$$b_c = 7,12 \text{ m}$$

Etant donné qu'il n'existe aucune route sur le barrage, on prend :

$$b_c = 7 \text{ m}$$

4.5. Longueur de la crête du barrage :

Elle est mesurée directement sur la vue en plan

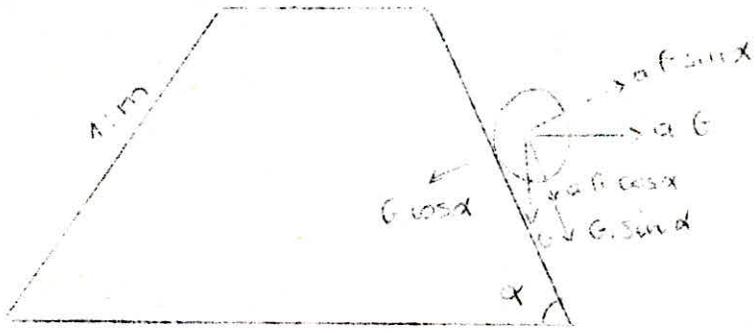
$$L = 175 \text{ m}$$

5 - Pentes des talus

Dans le cas des barrages en terre ou en enrochements, il n'existe pas de formules théoriques ou empiriques précises qui permettent de calculer les pentes des talus.

En pratique, on se donne des pentes qui paraissent optimales, compte tenu de la nature des matériaux et on vérifie par une étude de stabilité, que le barrage présente une sécurité suffisante avec ces pentes.

Pour avoir une idée de la grandeur des fruits, on procède à un calcul de stabilité d'une pierre reposant sur le talus, celle-ci étant soumise aux forces dues au séisme et à son poids propre.



G : poids propre de la pierre

a : accélération du séisme

Pour que le glissement de la pierre n'ait pas lieu, on doit avoir :

$$\sum F_p > \sum F_a$$

où :

F_p : forces passives = $(G \cdot \cos\alpha - a \cdot G \sin\alpha) \operatorname{tg} \phi$

F_a : forces ^{actives} = $a \cdot G \cdot \cos\alpha + G \cdot \sin\alpha$

α : angle du talus

ϕ : angle de frottement interne de la pierre sur le talus.

Pour que la stabilité de la pierre soit assurée, il est impératif que le rapport $\frac{F_p}{F_a}$ soit au moins égal au nombre " K " qui représente le coefficient de sécurité. En cas de séisme, la valeur admise en Algérie est :

$$K = 1,05$$

$$K = \frac{(G \cdot \cos\alpha - a G \sin\alpha) \operatorname{tg} \phi}{a G \cos\alpha + G \sin\alpha}$$

Application numérique

$$a = 0,12$$

$$\phi = 35^\circ$$

$$K = 1,05$$

$$1,05 = \frac{(1 - 0,12 \operatorname{tg} \alpha) \operatorname{tg} 35^\circ}{0,12 + \operatorname{tg} \alpha}$$

d'où $\operatorname{tg} \alpha = 0,506$

$$m = \operatorname{Cotg} \alpha = \operatorname{Cotg} 0,506$$

$$m = 2$$

En général, pour les barrages en terre, le fruit du parement amont est compris entre 2 et 3,5 et celui du parement aval entre 2 et 3. Le tableau suivant donne encore une idée sur la grandeur des fruits. Ces pentes empiriques sont généralement déterminées à travers les expériences des barrages antérieurs.

Hauteur de la digue	Type de digue	Pentes des parements	
		amont	aval
3-5 m	1) homogène	2,5/1	2,0/1
	2) à zones	2,0/1	2,0/1
5-10m	1) homogène à granulométrie étendue	2,0/1	2,0/1
	2) homogène à fort pourcentage d'argile	2,5/1	2,0/1
	3) à zones	2,0/1	2,0/1
10-20m	1) homogène à granulométrie étendue	2,5/1	2,0/1
	2) homogène à fort pourcentage d'argile	3,0/1	2,5/1
	3) à zones	2,5/1	2,5/1
20 m et plus	1) homogène à granulométrie étendue	3,0/1	2,5/1
	2) homogène à fort pourcentage d'argile	3,5/1	2,5/1
	3) à zones	3,0/1	3,0/1

Pour notre barrage on prend :

Talus aval

m = 1 : 2 avec un risberme de 3m à la côte 625.

Talus amont

m = 1 : 3,5 de la côte 610 à 625

m = 1 : 3 de la côte 625 à 641

6. Protection des talus.

Les talus doivent être protégés contre les dangers d'érosion provoqués par les vagues de la retenue ou le ruissèlement des eaux de pluie.

6.1. Talus amont.

Il est en général protégé contre le battillage par des enrochements qui reposent sur une couche drainante. Cette protection est destinée à éviter que les matériaux terreux qui constituent le talus ne soient érodés par les vagues qui se forment dans la partie supérieure de la retenue sous l'action du vent.

Il existe des formules empiriques pour déterminer l'épaisseur minimale de protection des pierres.

Formule de CHANKIN

Selon CHANKIN, l'épaisseur minimale de protection est donnée par la relation suivante :

$$t = 1,7 h \frac{\gamma}{\gamma_p - \gamma} \frac{\sqrt{1 - m^2}}{m (2 + m)}$$

t : épaisseur de protection en m

h : hauteur des vagues en m

γ : poids volumique de l'eau = 1 t/m^3

γ_p : poids volumique des pierres = $2 \div 2,2 \text{ t/m}^3$

$$\gamma_p = 2 \text{ t/m}^3$$

$$m = 3$$

$$h = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \sqrt{L}$$

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

d'où $h = 1,17 \text{ m}$

$$t = 0,35 \text{ m}$$

Pour $m = 3,5$, on aura : $t = 0,40 \text{ m}$

Formule de PICKIN

$$t = \frac{n \cdot 0,178 h}{\gamma_p - \gamma} \sqrt{\frac{1 + m^2}{m^2}}$$

$$n = 1,2 \div 1,5$$

on prend $n = 1,5$

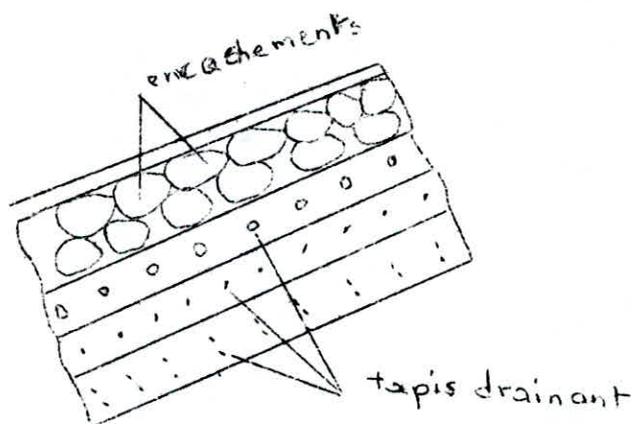
On aura : $t = 0,34 \text{ m}$

Pour $m = 3,5$; $t = 0,39 \text{ m}$.

Donc les 2 formules donnent une valeur de $t \approx 0,40 \text{ m}$ qui est une valeur minimale.

On prend $t = 0,60$ m.

Après la réalisation de la couche drainante, les enrochements seront mis en place, puis tassés, vibrés, humectés de manière à assurer un bon arrangement des blocs tout en prenant soin de ne pas détériorer la couche drainante. La finition doit se faire à la main afin de boucher les trous éventuels, laissés lors de la mise en place des enrochements.

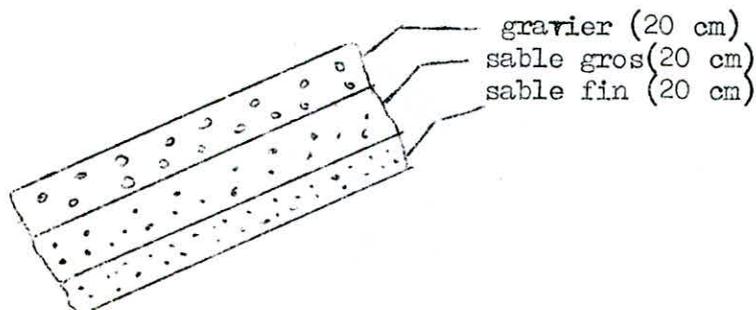


La couche drainante sera disposée sous les enrochements. Elle sera composée de trois couches de granulométrie de plus en plus fine. Ces couches seront disposées de la manière suivante :

une couche de graviers d'épaisseur : 20 cm.

une couche de sable gros d'épaisseur : 20 cm.

une couche de sable fin d'épaisseur : 20 cm.



6.2. Talus aval.

L'exécution de la protection du talus aval consistera à reprendre la terre de décapage du terrain, à l'étendre en couche régulière sur le parement et à l'enherber.

7. Tapis filtrant.

Notre barrage étant homogène, la solution à employer pour obtenir un massif stable, c'est à dire pour que la ligne de saturation ne traverse pas le parement aval, consiste à placer vers son extrémité et sur une certaine longueur un tapis filtrant.

Le tapis filtrant ne réduit pas les infiltrations, il a même pour effet de les augmenter, puisque les cheminements des eaux à travers le massif sont réduits, mais son but est de rabattre vers l'intérieur du massif, la ligne de saturation et d'éviter que ne soient entraînées hors de l'ouvrage, les plus fines particules de matériaux.

- dimensionnement du tapis filtrant.

En pratique, pour les couches filtrantes, on adopte généralement des épaisseurs supérieures à 30 cm, pour avoir la certitude que pendant la construction du massif, aucun désordre ne se produise dans la répartition et la continuité de chaque bande filtrante.

Dans notre cas, on prend les épaisseurs suivantes :

première couche (sable fin)	: 50 cm
deuxième couche (sable gros)	: 50 cm
troisième couche (gravier)	: 50 cm.

La longueur du filtre est déterminée d'après la position que l'on veut donner à la ligne de saturation à l'intérieur du massif.

Il est évident que la sécurité du talus aval sera d'autant plus grande que l'on en écartera cette ligne.

Pour notre projet, la longueur du tapis filtrant est prise égale à 15 m. L'extrémité aval de ce filtre sera arrêtée par un prisme de drainage.

8. Prisme de drainage.

Il sera constitué d'enrochements et aura pour rôle de collecter les eaux d'infiltration ayant cheminé dans le massif et prévenir l'ouvrage contre tout risque de renard provoquant la destruction du talus aval par érosion régressive .

CHAPITRE IV. INFILTRATIONS.

Les infiltrations susceptibles de se produire à travers le barrage peuvent mettre en jeu la sécurité de l'ouvrage et compromettre sa stabilité si certaines précautions ne sont pas prises contre les risques qu'entraînent les renards et les pressions de filtration.

1. Position de la ligne phréatique :

On appelle ligne phréatique à travers le barrage, la ligne de pression hydrostatique nulle.

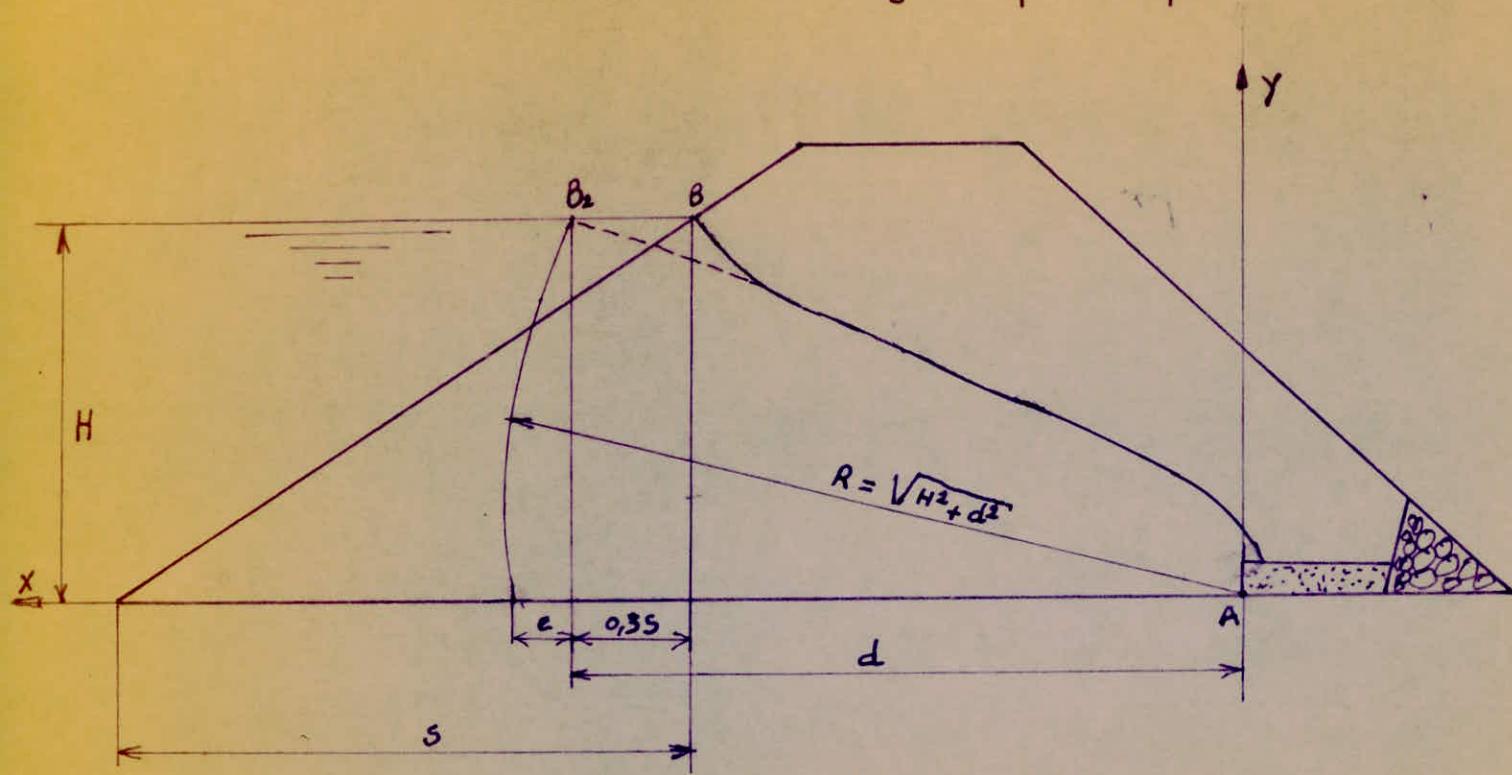
La détermination de la position de la ligne de saturation dans le cas d'une digue composée d'un massif homogène se détermine d'après la méthode de Kozeny.

Le barrage est muni à la partie aval du massif d'un tapis drainant qui permet de rabattre la ligne phréatique à l'intérieur de celui-ci.

La ligne phréatique serait une parabole de foyer A, d'axe Ax et d'équation:

$$(X + e)^2 = X^2 + Y^2$$

Position de la ligne phréatique



Parabole de KOZENY de foyer A et d'axe Ax

$$(x + e)^2 = x^2 + y^2$$

avec $e = \sqrt{H^2 + d^2} - d$

Pour des valeurs données de e , les paraboles coupent la ligne délimitant le plan d'eau dans la retenue en des points tels que B_2 de coordonnées $Y = h$ et $X = d$.

En supposant que l'infiltration dans le massif en terre se comporte comme l'écoulement d'un fluide incompressible en mouvement plan permanent dans un milieu homogène et obéisse à la loi de Darcy qui met en relief la proportionnalité des pertes de charge aux vitesses d'écoulement, CASAGRANDE a montré que celle des paraboles passant par B_2 telle que BB_2 soit égale au $3/10$ de la projection horizontale de S de la portion de la face amont en contact avec l'eau de la retenue, se confond sensiblement avec la ligne phréatique dans le massif.

2. Estimation du débit de fuite :

On calcule le débit de fuite à travers le barrage par l'application de la loi de Darcy.

$$q = KiA$$

K : coefficient de perméabilité

i : gradient hydraulique

A : aire soumise à l'infiltration

$$A = Y \cdot 1 = Y$$

$$i = \frac{dY}{dX}$$

$$q = KY \frac{dY}{dX} = K \cdot e = K (\sqrt{h^2 + d^2} - d)$$

$$q = K (\sqrt{h^2 + d^2} - d)$$

Application numérique

$$h = 28\text{m}$$

$$d = 77\text{m}$$

$$K = 10^{-7} \text{m/s}$$

$$q = 5 \cdot 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$$

CHAPITRE V. ETUDE DE STABILITE.

Un barrage en terre est un massif aussi étendu, qu'il n'y a pas de raison de vérifier sa stabilité contre le déplacement, ni celle contre le renversement. Cependant, en se basant sur des études approfondies des matériaux à utiliser et du sol de fondation, il est important de vérifier, pour chaque digue de retenue, la stabilité contre le glissement des talus.

1. Description du glissement.

Le glissement du terrain se produit d'une manière très variée. Il affecte des ouvrages construits par l'homme ou des pentes naturelles. Il peut se produire soudainement ou il peut durer plusieurs mois, voire plusieurs années.

La rupture affecte une forme vaguement circulaire ou bien au contraire ne présente aucune caractéristique géométrique particulière. La cause évidente de ce glissement est l'action hydrodynamique de l'eau souterraine.

2. Principe.

Un talus est stable lorsque les forces qui tendent à produire un

mouvement sont inférieure aux forces passives qui sont essentiellement les forces de résistance au cisaillement. La valeur du coefficient de sécurité est définie par le rapport de ces forces.

La résistance au cisaillement d'un matériau vérifie l'équation de Coulomb :

$$\tau = c + n \cdot \text{tg } \varphi$$

τ : résistance au cisaillement

c : cohésion du matériau à l'état initial

n : pression normale à la surface de rupture appliquée aux particules solides.

φ : angle de frottement interne du matériau.

Il est nécessaire de préciser que pour un sol donné, c et φ ne sont pas des constantes, mais dépendent de l'état du sol, en particulier de la teneur en eau, de la charge normale et de la préconsolidation.

Pour une argile dont la faible perméabilité s'oppose au drainage de l'eau qu'elle renferme, il y a lieu de tenir compte de la pression hydrostatique interne P .

$$\tau = c + (n-p) \text{tg } \varphi$$

Les différentes méthodes de calcul de la stabilité des barrages en terre doués de cohésion sont fondées sur un certain nombre d'hypothèses relatives aux caractères de rupture, notamment sur la forme de la surface de rupture.

Les hypothèses formulées sont :

- rupture instantanée et simultanément le long de toute la surface de rupture.
- problème traité à deux dimensions.
- surface de glissement en forme de cylindre.

Il s'agit de déterminer le cercle critique qui correspond au coefficient de sécurité minimum.

3. Méthodes utilisées :

Il existe diverses méthodes qui sont basées sur le même principe, mais en introduisant des hypothèses visant à simplifier les calculs. Parmi ces méthodes, on peut citer la méthode de TAYLOR et celle basée sur la résolution graphique Courtney.

Pour notre projet, nous avons choisi la méthode Suédoise dite méthode des tranches, due à Petterson en 1916, développée pour les ruptures circulaires par Fellenius en 1927 et perfectionnée plus récemment par Bishop en 1954.

4. Méthode des tranches :

Dans cette méthode, on admet que la rupture se fait suivant une surface cylindrique à axe horizontal dont il faut déterminer le centre O et le rayon R. Le glissement se produit instantanément et simultanément le long de toute la surface de rupture.

On trace sur une coupe transversale de la digue plusieurs cercles de glissement et on cherche le cercle critique qui est celui qui présente le plus faible coefficient de sécurité.

Considérons une tranche d'ordre n et soit :

d1 : la portion de cercle de glissement interceptée par la tranche.

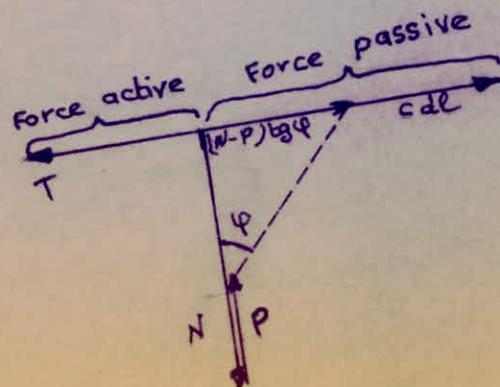
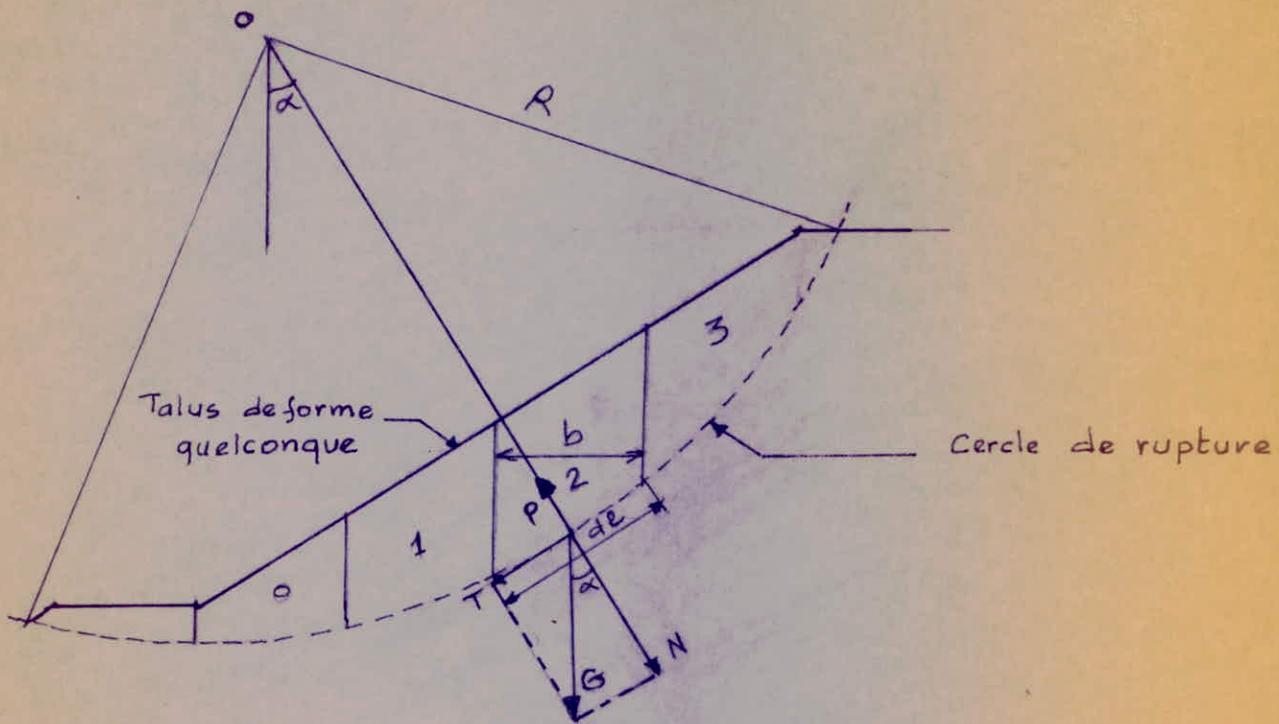
Gn : le poids de la tranche

Nn : la composante normale du poids Gn

Tn : la composante tangentielle du poids Gn

Xn et Zn : les composantes de l'action de la tranche n-1 sur la tranche n .

DECOMPOSITION DES FORCES POUR LE CALCUL DE STABILITE



X_{n+1} Z_{n+1} : les composantes de l'action de la tranche $n+1$ sur la tranche n .

Pour faciliter les calculs, Felleni s'admet les hypothèses suivantes :

- au niveau de chaque tranche :

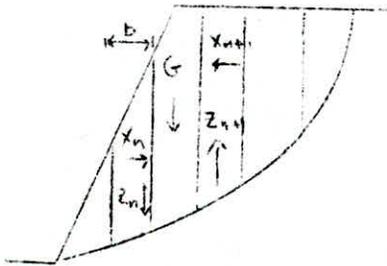
$$X_{n+1} - X_n = 0$$

$$Z_{n+1} - Z_n = 0$$

C'est à dire que l'interaction entre les tranches est nulle.

- La force tangentielle T a tendance à entraîner le mouvement, elle est motrice.

- La force N est stabilisatrice car elle s'oppose au glissement en mobilisant le frottement interne, elle crée une force tangentielle $N \operatorname{tg} \phi$, opposée à T . A ceci, s'ajoute la force due à la cohésion du matériau sur la surface de la tranche : cdl ; en tenant compte de la pression intersticielle, la force N sera diminuée.



Donc, les forces stabilisatrices sont :

La force de frottement : $(N - pdl) \operatorname{tg} \phi$

La force de cohésion : Cdl

Avec R , le rayon du cercle de glissement, le moment des forces résistantes s'écrira :

$$\sum (N - pdl) \operatorname{tg} \psi \cdot R + \sum (C \cdot dl) R = R [\sum (N - pdl) \operatorname{tg} \psi + \sum C \cdot dl]$$

Le moment des forces motrices sera :

$$\sum TR = R \cdot \sum T$$

Le coefficient de sécurité est défini comme étant le moment des forces résistantes sur le moment des forces motrices :

$$C_s = \frac{R [\sum (N - pdl) \operatorname{tg} \psi + \sum C \cdot L]}{R \cdot \sum T}$$

Après simplification on aura :

$$C_s = \frac{\sum (N - pdl) \operatorname{tg} \psi + \sum C \cdot l}{\sum T}$$

Le découpage de la partie du massif limité, par le cercle de glissement se fait en tranches d'égale épaisseur :

$$b = \frac{R}{n_t}$$

R : rayon du cercle de glissement.

n_t : nombre de tranches.

On numérote les différentes tranches à partir d'une tranche repère désignée par le chiffre zéro, cette dernière étant celle qui est partagée en deux parties égales par la ligne verticale abaissée du centre de glissement 0.

Par convention, les tranches se trouvant à gauche de celle désignée par zéro, sont affectées de chiffres négatifs et celles se trouvant à droite, de chiffres positifs; ceci étant valable pour le talus aval. Pour le talus amont, les signes sont inversés. Le poids G_n de la tranche d'ordre n est égal à :

$$G_n = \gamma_1 h'_n + \gamma_2 h''_n$$

γ_1 : densité humide de la zone du massif, située au-dessus de la ligne de saturation.

γ_2 : densité saturée du massif du barrage, situé sous la ligne de saturation.

h'_n : hauteur moyenne de la partie de la tranche située au-dessus de la ligne de saturation.

h''_n : hauteur moyenne de la partie de la tranche située entre la ligne de saturation et le cercle de glissement.

la composante normale N_n est :

$$N_n = G_n \cdot \cos \alpha_n$$

La composante tangentielle :

$$T = G_n \cdot \sin \alpha_n$$

$\sin \alpha_n$ est déterminé comme suit :

$$\sin \alpha_n = \frac{n \cdot b}{R}$$

où n est le numéro de la tranche

comme $b = \frac{R}{n_t}$ on aura :

$$\sin \alpha_n = \frac{n}{R} \cdot \frac{R}{n_t}$$

$$\text{d'où : } \sin \alpha_n = \frac{n}{n_t}$$

On détermine alors $\cos \alpha_n$

$$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n} = \sqrt{1 - \frac{(n)^2}{(n_t)^2}}$$

La pression de l'eau d'infiltration est appliquée normalement à la surface de glissement

$$P = \gamma \cdot hp$$

où :

γ : poids spécifique de l'eau

h_p : hauteur piezométrique de la tranche considérée .

Dans notre cas, nous avons $h_p = h''_n$

La force de la pression d'infiltration sera :

$$p. dl = \gamma. h''_n. dl$$

En pratique , on prend $dl = \frac{b}{\cos \alpha_n}$, c'est à dire qu'on l'assimile à la portion de la tangente à la courbe de glissement délimitée par la tranche. Le coefficient de sécurité sera alors :

$$C_s = \frac{\sum [G_n \sqrt{1 - (n/n_t)^2} - \gamma h''_n \cdot b / \cos \alpha_n] \operatorname{tg} \varphi + \sum c. b / \cos \alpha_n}{\sum G_n \cdot n / n_t}$$

5. Calcul de stabilité du talus amont :

Nous considérons deux cas :

- le réservoir est vide (fin de construction)
- lors de la vidange rapide

Le cas le plus défavorable est celui effectué lors d'une vidange rapide. Toute vidange effectuée durant moins d'un mois est considérée comme rapide (en Algérie, le délai adopté par la DGIH est de 21 jours).

La vidange rapide se fait en un temps court, tel que le volume de la digue imbibée d'eau reste pratiquement dans cet état, le niveau d'eau étant descendu partiellement ou ramené au pied du talus amont. Le calcul de la pression intersticielle est délicat; dans ces conditions, on utilise l'approximation suivante :

Juste après la vidange, l'eau qui est dans le barrage n'a pas eu le temps de s'écouler et cette eau supporte par sa pression une partie du poids du massif mouillé. Cette pression n'est pas génératrice de frottement.

Nous admettons que la composante normale à multiplier par $\text{tg } \varphi$, est égale au produit de la densité immergée ($\gamma_{\text{sat}} - 1$) par la composante normale n de la hauteur moyenne h_m et par la largeur b de la tranche :

$$N - Pd1 = (\gamma_{\text{sat}} - 1) n \cdot b$$

avec :

$$n = h_n \cdot \text{Cos} \alpha_n$$

donc : $N - Pd1 = (\gamma_{\text{sat}} - 1) b \cdot h_n \cdot \text{Cos} \alpha_n$

Par contre, le poids de l'eau emmagasinée dans le massif est générateur d'une force d'entraînement; dans le calcul de la composante tangentielle T , nous devons prendre la densité saturée γ_{sat} .

Si t est la composante tangentielle de h_m , nous avons :

$$T = \gamma_{\text{sat}} \cdot t \cdot b$$

$$\text{avec : } t = h_n \cdot \text{Sin} \alpha_n$$

$$\text{donc } T = \gamma_{\text{sat}} \cdot h_n \cdot b \cdot \text{Sin} \alpha_n$$

6. Calcul de stabilité du talus aval.

Pour le talus aval, nous considérons deux cas :

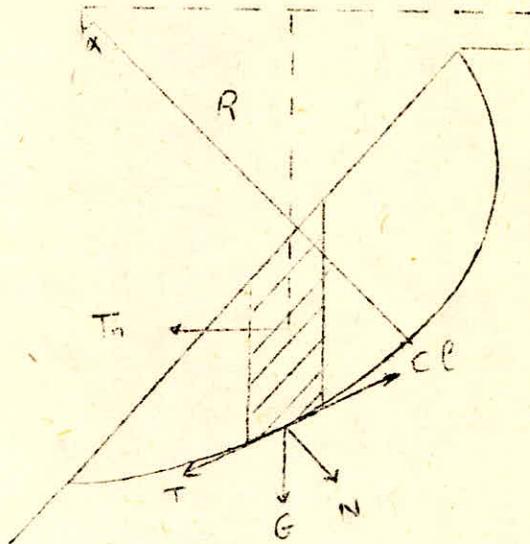
- fin de construction (retenue vide)
- fonctionnement normal (retenue pleine).

Dans le calcul de stabilité du talus aval, le cas le plus défavorable est celui du fonctionnement normal, car il y a une infiltration continue la digue ; c'est un écoulement permanent vers l'aval.

Sollicitations dues au séisme.

Il est prévu dans l'étude de stabilité de tenir compte de l'effet statique du séisme. On applique à la zone susceptible de glisser, plus exactement au centre de gravité de la tranche, une force horizontale due à l'accélération

$$X = a.g.$$



L'expression du coefficient de sécurité C'_s devient :

$$C'_s = \frac{\sum (N - pdl) \operatorname{tg} \varphi + \sum C \quad dl}{\sum T_h + \frac{1}{R} \sum T_{tn} \quad dn}$$

dn : bras de levier

T_{tn} : a.Gn : forces dues au séisme.

Nous considérons pour chaque cas, Trois cercles de glissement . Les calculs sont menés dans les tableaux suivants.

Retenue vide (fin de construction) Talus amont

R=124m

N° des tranches	calcul du coeff de sécurité													
	b (m)	h' (m)	γ_1 (t/m ³)	$G_n = \gamma_1 h' b$ (t)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{n_t}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{n_t}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$dl = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	$\tan \varphi$	$G_n \cos \alpha_n \tan \varphi$	c dl	$T_{E_n} = a G_n$	$T_{E_n} \cdot dn$
-2	6,0	2,0	1,7	20,40	-0,182	0,983	-3,73	20,05	6,10	0,42	8,51	18,30	2,45	298,90
-1	10,0	4,0	1,7	68,00	-0,091	0,996	-6,19	67,73	10,04	0,42	28,75	30,12	8,16	987,36
0	10,0	7,5	1,7	127,50	0,000	1,000	0,00	127,50	10,00	0,42	54,12	30,00	15,30	1836,00
1	10,0	10,0	1,7	170,00	0,091	0,996	15,47	169,32	10,04	0,42	71,87	30,12	20,40	2427,60
2	10,0	11,0	1,7	187,00	0,182	0,983	34,03	183,82	10,17	0,42	78,02	30,51	22,44	2625,48
3	10,0	12,0	1,7	204,00	0,273	0,962	55,69	196,25	10,39	0,42	83,30	31,17	24,48	2818,20
4	10,0	12,0	1,7	204,00	0,364	0,931	74,26	189,92	10,74	0,42	80,61	32,22	24,48	2741,76
5	10,0	11,5	1,7	195,50	0,454	0,891	88,76	174,19	11,22	0,42	73,94	33,66	23,46	2510,22
6	10,0	10,0	1,7	170,00	0,545	0,838	92,65	142,46	11,93	0,42	60,47	35,79	20,40	2121,60
7	10,0	7,0	1,7	119,00	0,636	0,772	75,68	91,87	12,95	0,42	38,99	38,85	14,28	1399,44
8	8,0	4,0	1,7	54,40	0,727	0,687	39,55	37,37	11,64	0,42	15,86	34,92	6,53	613,82
Σ							466,17				594,44	345,66		20377,38

$$c_s = \frac{594,44 + 345,66}{466,17}$$

$$c'_s = \frac{594,44 + 345,66}{466,17 + 1 \cdot 20377,38}$$

$c_s = 2,01$

$c'_s = 1,14$

N° des tranches	Retenue vide (fin de construction) Talus amont														R = 128m	
	b (m)	h' (m)	$\gamma_1 (t/m^3)$	$G_n = \gamma_1 h' b$ (t)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{nt}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nt}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$dL = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	$\tan \varphi$	$G_n \cos \alpha_n \tan \varphi$	c dl	$T_n = a G_n$	$T_n \cdot dn$	Calcul du Coeff de Sécurité	
-1	10,0	3,0	1,7	51,00	-0,1	0,995	-5,10	50,75	10,05	0,42	21,54	30,15	6,12	771,12	$C_s = \frac{492,99 + 349,20}{462,40}$	$C'_s = \frac{492,99 + 349,20}{462,40 + \frac{1}{128} \cdot 18102,96}$
0	10,0	5,0	1,7	85,00	0,0	1,000	0,00	85,00	10,00	0,42	36,08	30,00	10,20	1275,00		
1	10,0	8,0	1,7	136,00	0,1	0,995	13,60	135,32	10,05	0,42	57,44	30,15	16,32	2007,36		
2	10,0	10,0	1,7	170,00	0,2	0,980	34,00	166,60	10,20	0,42	70,72	30,60	20,40	2488,80		
3	10,0	11,0	1,7	187,00	0,3	0,954	56,10	178,40	10,48	0,42	75,73	31,44	22,44	2692,80		
4	10,0	11,0	1,7	187,00	0,4	0,916	74,80	171,29	10,92	0,42	72,70	32,76	22,44	2625,48		
5	10,0	10,0	1,7	170,00	0,5	0,866	85,00	147,22	11,54	0,42	62,49	34,32	20,40	2325,60		
6	10,0	9,0	1,7	153,00	0,6	0,800	91,80	122,40	12,50	0,42	51,96	37,50	18,36	2019,60		
7	10,0	6,0	1,7	102,00	0,7	0,714	71,40	73,83	14,00	0,42	31,34	42,20	12,24	1285,20	$C_s = 1,82$	$C'_s = 1,39$
8	10,0	3,0	1,7	51,00	0,8	0,600	40,80	30,60	16,66	0,42	12,99	49,98	6,12	612,00		
Σ							462,40				492,99	349,20		18102,95		

Retenue vide (fin de construction) Talus amont

R=131m

N° des tranches	b (m)	h' (m)	γ_1 (t/m ³)	$G_n = \gamma_1 h' b$ (t)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{nt}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nt}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$dl = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	$\text{tg } \varphi$	$G_n \cos \alpha_n \text{ tg } \varphi$	Cdl	$T_{tn} = a G_n$	$T_{tn} \cdot dl_n$
-1	8,0	2,0	1,7	27,20	-0,1	0,995	-2,72	27,06	8,04	0,42	11,49	24,12	3,26	420,54
0	10,0	4,0	1,7	68,00	0,0	1,000	0,00	68,00	10,00	0,42	28,86	30,00	8,16	1044,48
1	10,0	6,5	1,7	110,50	0,1	0,995	11,05	109,95	10,05	0,42	46,67	30,15	13,26	1684,02
2	10,0	8,5	1,7	144,50	0,2	0,980	28,90	141,61	10,20	0,42	60,11	30,60	17,34	2167,50
3	10,0	9,0	1,7	153,00	0,3	0,954	45,90	145,96	10,48	0,42	61,96	31,44	18,36	2258,28
4	10,0	9,0	1,7	153,00	0,4	0,916	61,20	140,15	10,92	0,42	59,49	32,96	18,36	2203,20
5	10,0	9,0	1,7	153,00	0,5	0,866	76,50	132,50	11,54	0,42	56,24	34,62	18,36	2166,48
6	10,0	7,0	1,7	119,00	0,6	0,800	71,40	95,20	12,50	0,42	40,41	37,50	14,28	1613,64
7	10,0	5,0	1,7	85,00	0,7	0,714	59,50	60,69	14,00	0,42	25,76	42,00	10,20	1101,60
8	8,0	4,0	1,7	54,40	0,8	0,600	43,52	32,64	13,33	0,42	13,85	39,99	6,53	679,12
Σ							395,25				404,84	333,18		15338,86

calcul du coeff de Sécurité

$$C_s = \frac{404,84 + 333,18}{395,25}$$

$$C'_s = \frac{404,84 + 333,18}{395,25 + \frac{1}{131} \cdot 15338,86}$$

$C_s = 1,86$

$C'_s = 1,44$

Retenue Vide (fin de construction) Talus aval

R = 68 m

N° des tranches	Calcul du coefficient de sécurité													
	b(m)	h'(m)	α_1 (t/m ³)	$G_n = \gamma_1 h' b$ [t]	$\sin \alpha_n = \frac{h}{hc}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{hc}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$d\ell = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	$\tan \varphi$	$G_n \cos \alpha_n \tan \varphi$	$c d\ell$	$T_{en} = a G_n$	$T_{en} \cdot dn$
-2	4,5	2,0	1,7	15,30	-0,143	0,990	-2,19	15,15	4,54	0,42	6,43	13,62	1,84	121,44
-1	5,0	4,0	1,7	34,00	-0,071	0,997	-2,41	33,90	5,01	0,42	14,39	15,03	4,08	265,20
0	5,0	6,5	1,7	55,25	0,000	1,000	0,000	55,25	5,00	0,42	23,45	15,00	6,63	424,32
1	5,0	9,0	1,7	76,50	0,071	0,997	5,43	76,27	5,01	0,42	32,37	15,03	9,18	578,34
2	5,0	10,5	1,7	89,25	0,143	0,990	12,76	88,36	5,05	0,42	37,50	15,15	10,71	653,31
3	5,0	12,0	1,7	102,00	0,214	0,977	21,83	99,65	5,12	0,42	42,30	15,36	12,24	722,16
4	5,0	12,0	1,7	102,00	0,286	0,958	29,17	97,72	5,22	0,42	41,48	15,66	12,24	709,92
5	5,0	12,5	1,7	106,25	0,357	0,934	37,95	99,24	5,35	0,42	42,12	16,05	12,75	714,00
6	5,0	12,5	1,7	106,25	0,428	0,904	45,47	96,05	5,53	0,42	40,77	16,59	12,75	688,50
7	5,0	12,5	1,7	106,25	0,500	0,866	53,12	92,01	5,77	0,42	39,05	17,31	12,75	650,25
8	5,0	11,5	1,7	97,75	0,571	0,821	55,81	80,25	6,09	0,42	34,06	18,27	11,73	574,77
9	5,0	10,0	1,7	85,00	0,643	0,766	54,65	65,11	6,52	0,42	27,64	19,56	10,20	459,00
10	5,0	8,0	1,7	68,00	0,714	0,700	48,55	47,60	7,14	0,42	20,20	21,42	8,16	334,56
11	4,5	4,0	1,7	36,60	0,786	0,618	24,05	18,91	7,28	0,42	8,02	21,84	3,67	139,46
Σ							384,17				409,78	235,89		7035,23

$$C_s = \frac{409,78 + 235,89}{384,17}$$

$$C'_s = \frac{409,78 + 235,89}{384,17 + \frac{1}{68} \cdot 7035,23}$$

$C_s = 1,68$

$C'_s = 1,32$

Retenue vide (fin de construction)

Talus aval

R = 71m

N° des tranches	Calcul du coefficient de sécurité														
	b (m)	h' (m)	γ_1 (t/m ³)	$G_n = \gamma_1 h' b$ (t)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{nc}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nc}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$dL = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	$\tan \varphi$	$G_n \cos \alpha_n \tan \varphi$	CdL	$T_{en} = a G_n$	$T_{th} d_n$	
-1	4,5	2,0	1,7	15,30	-0,077	0,997	-1,18	15,25	4,51	0,42	6,47	13,53	1,84	128,80	
0	5,0	4,0	1,7	34,00	0,000	1,000	0,00	34,00	5,00	0,42	14,43	15,00	4,08	281,52	
1	5,0	6,5	1,7	55,25	0,077	0,997	4,25	55,08	5,01	0,42	23,38	15,03	6,63	450,84	
2	5,0	8,0	1,7	68,00	0,154	0,988	10,47	67,18	5,06	0,42	28,52	15,18	8,16	546,72	
3	5,0	10,0	1,7	85,00	0,230	0,973	19,55	82,70	5,14	0,42	35,10	15,42	10,20	663,00	
4	5,0	10,5	1,7	89,25	0,307	0,952	27,40	84,96	5,25	0,42	36,06	15,75	10,71	664,02	
5	5,0	10,5	1,7	89,25	0,384	0,923	34,27	82,38	5,42	0,42	34,97	16,26	10,71	653,31	
6	5,0	10,5	1,7	89,25	0,461	0,877	41,14	78,27	5,70	0,42	33,22	17,10	10,71	631,89	
7	5,0	10,5	1,7	89,25	0,538	0,843	48,01	75,24	5,93	0,42	31,94	17,79	10,71	599,76	
8	5,0	10,5	1,7	89,25	0,615	0,788	54,89	70,33	6,34	0,42	29,85	19,02	10,71	578,34	
9	5,0	8,5	1,7	72,25	0,692	0,722	50,00	52,16	6,92	0,42	22,14	20,76	8,67	442,17	
10	5,0	6,5	1,7	55,25	0,769	0,639	42,49	35,30	7,82	0,42	14,98	23,46	6,63	311,61	
11	3,5	3,5	1,7	20,83	0,846	0,533	17,62	11,10	6,57	0,42	4,71	19,71	2,50	105,00	
Σ							348,91				315,77	224,01		6056,98	

$$C_s = \frac{315,77 + 224,01}{348,91}$$

$$C'_s = \frac{315,77 + 224,01}{348,91 + \frac{1}{71} \cdot 6056,98}$$

$C_s = 1,54$

$C'_s = 1,24$

Retenue Vide (fin de construction) Talus aval

R = 73 m

No des tranches	Calcul du coefficient de sécurité														
	b (m)	h' (m)	$\gamma_1 (t/m^3)$	$G_n = \gamma_1 h' b [t]$	$\sin \alpha_n = \frac{h}{nL}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{nL}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$dl = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	$t g \varphi$	$G_n \cos \alpha_n t g \varphi$	C dl	$T_{en} = a G_n$	$T_{en} d_n$	
-1	2,0	2,0	1,7	6,80	-0,077	0,997	-0,52	6,78	2,00	0,42	2,88	6,00	0,82	59,04	
0	5,0	4,0	1,7	34,00	0,000	1,000	0,00	34,00	5,00	0,42	14,43	15,00	4,08	289,68	
1	5,0	6,0	1,7	51,00	0,077	0,997	3,93	50,85	5,01	0,42	21,58	15,03	6,12	428,40	
2	5,0	8,0	1,7	68,00	0,154	0,988	10,47	67,18	5,06	0,42	28,51	15,18	8,16	563,04	
3	5,0	9,0	1,7	76,50	0,230	0,973	17,59	74,43	5,14	0,42	31,59	15,42	9,18	615,06	
4	5,0	10,0	1,7	85,00	0,307	0,952	26,09	80,92	5,25	0,42	34,35	15,75	10,20	663,00	
5	5,0	11,0	1,7	93,50	0,384	0,923	35,90	86,30	5,42	0,42	36,63	16,26	11,22	718,08	
6	5,0	10,0	1,7	85,00	0,461	0,877	39,18	74,54	5,70	0,42	31,64	17,10	10,20	632,40	
7	5,0	10,0	1,7	85,00	0,538	0,843	45,73	71,65	5,93	0,42	30,41	17,19	10,20	601,80	
8	5,0	9,0	1,7	76,50	0,615	0,788	47,05	60,28	6,34	0,42	25,59	19,02	9,18	514,08	
9	5,0	8,0	1,7	68,00	0,692	0,722	47,06	49,09	6,92	0,42	20,84	20,76	8,16	432,48	
10	5,0	6,5	1,7	55,25	0,769	0,639	42,49	35,30	7,82	0,42	14,98	23,46	6,63	331,50	
11	7,0	4,0	1,7	47,60	0,846	0,533	40,27	25,37	13,13	0,42	10,77	39,39	5,71	262,66	
Σ							355,24				304,20	236,16		6111,22	

$$C_s = \frac{304,20 + 236,16}{355,24}$$

$$C'_s = \frac{304,20 + 236,16}{355,24 + \frac{1}{73} \cdot 6111,22}$$

$C_s = 1,52$

$C'_s = 1,23$

N° des tranches	Vidange Rapide											R = 124m
	b (m)	h'' (m)	γ_2 (t/m ³)	$\sin \alpha_n = \frac{r}{Rt}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{Rt}\right)^2}$	$T_n = \gamma_2 h'' b \sin \alpha_n$	$N - Pdl = (\gamma_2 - 1) h'' b \cos \alpha_n$	tg φ	(N - Pdl) tg φ	$dl = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	Cdl	calcul du coeff de sécurité
-2	6,0	2,0	2,08	-0,182	0,983	-4,54	12,74	0,42	5,40	6,10	18,30	
-1	10,0	4,0	2,08	-0,091	0,996	-7,57	43,03	0,42	18,26	10,04	30,12	
0	10,0	7,5	2,08	0,000	1,000	0,00	81,00	0,42	34,38	10,00	30,00	
1	10,0	10,0	2,08	0,091	0,996	18,93	107,57	0,42	45,66	10,04	30,12	
2	10,0	11,0	2,08	0,182	0,983	44,64	116,78	0,42	49,57	10,17	30,51	
3	10,0	12,0	2,08	0,273	0,962	68,14	124,67	0,42	52,92	10,39	31,17	
4	10,0	12,0	2,08	0,364	0,931	90,85	120,66	0,42	51,22	10,74	32,22	
5	10,0	11,5	2,08	0,454	0,891	108,60	110,66	0,42	46,97	11,22	33,66	
6	10,0	10,0	2,08	0,545	0,838	113,36	90,50	0,42	38,41	11,93	35,79	
7	10,0	7,0	2,08	0,636	0,772	92,60	58,36	0,42	24,77	12,95	38,85	
8	8,0	4,0	2,08	0,727	0,687	48,39	23,74	0,42	10,08	11,64	34,92	$C_s = 1,27$
Σ						570,40			377,64		345,66	

N° des tranches	Vidange Rapide											R = 128 m
	b (m)	h'' (m)	γ_e (t/m ³)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{R}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{R}\right)^2}$	$T_n = \gamma_e h'' b \sin \alpha_n$	$N - PdL = (\gamma_e - 1) h'' b \cos \alpha_n$	$\tan \varphi$	$(N - PdL) \tan \varphi$	$dL = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	c dL	calcul du coeff de sécurité
-1	10,0	3,0	2,08	-0,1	0,995	-6,24	32,24	0,42	13,68	10,05	30,15	
0	10,0	5,0	2,08	0,0	1,000	0,00	54,00	0,42	22,92	10,00	30,00	
1	10,0	8,0	2,08	0,1	0,995	16,64	85,97	0,42	36,49	10,05	30,15	
2	10,0	10,0	2,08	0,2	0,980	41,60	105,84	0,42	44,92	10,20	30,60	
3	10,0	11,0	2,08	0,3	0,954	68,64	113,33	0,42	48,10	10,48	31,44	
4	10,0	11,0	2,08	0,4	0,916	91,52	108,82	0,42	46,19	10,92	32,76	
5	10,0	10,0	2,08	0,5	0,866	104,00	93,53	0,42	39,70	11,54	34,62	
6	10,0	9,0	2,08	0,6	0,800	112,32	77,76	0,42	33,00	12,50	37,50	$c_s = 1,17$
7	10,0	6,0	2,08	0,7	0,714	87,36	46,27	0,42	19,64	14,00	42,00	
8	10,0	3,0	2,08	0,8	0,600	49,92	19,44	0,42	8,25	16,66	49,98	
Σ						565,76			312,89		349,20	

N° des tranches	Vidange Rapide											R = 131m
	b (m)	h" (m)	γ_2 (t/m ³)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{nc}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nc}\right)^2}$	$T_n = \gamma_2 h'' b \sin \alpha_n$	$N - PdL = (\gamma_2 - 1) h'' b \cos \alpha_n$	tg φ	(N - PdL) / tg φ	$dL = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	Cdl	Calcul du coeff de sécurité
-1	8,0	2,0	2,08	-0,1	0,995	-3,33	17,19	0,42	7,30	8,04	24,12	$C_s = \frac{280,27 + 333,18}{500,45}$
0	10,0	4,0	2,08	0,0	0,000	0,00	43,20	0,42	18,34	10,00	30,00	
1	10,0	6,5	2,08	0,1	0,995	27,04	69,85	0,42	29,65	10,05	30,15	
2	10,0	8,5	2,08	0,2	0,980	35,36	89,96	0,42	38,19	10,20	30,60	
3	10,0	9,0	2,08	0,3	0,954	56,16	92,73	0,42	39,36	10,48	31,44	
4	10,0	9,0	2,08	0,4	0,916	74,88	89,03	0,42	37,79	10,92	32,76	
5	10,0	9,0	2,08	0,5	0,868	93,60	84,34	0,42	58,81	11,54	34,62	
6	10,0	7,0	2,08	0,6	0,800	87,36	60,48	0,42	25,67	12,50	37,50	$C_s = 1,22$
7	10,0	5,0	2,08	0,7	0,714	72,80	38,56	0,42	16,36	14,00	42,00	
8	8,0	4,0	2,08	0,8	0,600	53,25	20,73	0,42	8,30	13,33	39,99	
Σ						500,45			280,27		333,18	

Fonctionnement

Normal

Talus avel

R = 68 m

b (m)	h' (m)	h'' (m)	γ_1 (t/m ³)	γ_2 (t/m ³)	$G_n = [\gamma_1 h' + \gamma_2 h''] b$ (t)	$\sin \alpha_n = \frac{n}{nt}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nt}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$P = \gamma_{eau} \cdot h''$	$d_l = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	Pdl	tg φ	$(N - Pdl) \text{tg } \varphi$	Cdl	$T_{en} = a G_n$	$T_{en} \cdot d_n$
4,5	2,0	-	1,7	-	15,30	-0,143	0,990	-2,19	15,15	-	4,54	-	0,42	6,43	13,62	1,84	121,44
5,0	4,0	-	1,7	-	34,00	-0,071	0,997	-2,41	33,90	-	5,01	-	0,42	14,39	15,03	4,08	265,20
5,0	6,5	-	1,7	-	55,25	0,000	1,000	0,00	55,25	-	5,00	-	0,42	23,45	15,00	6,63	424,32
5,0	9,0	-	1,7	-	76,50	0,071	0,997	5,43	76,27	-	5,01	-	0,42	32,37	15,03	9,18	578,34
5,0	10,5	-	1,7	-	89,25	0,143	0,990	12,76	88,36	-	5,05	-	0,42	37,50	15,15	10,71	653,31
5,0	12,0	-	1,7	-	102,00	0,214	0,977	21,83	99,65	-	5,12	-	0,42	42,30	15,36	12,24	722,16
5,0	10,0	2,0	1,7	2,08	105,80	0,286	0,958	30,26	101,35	2,0	5,22	10,44	0,42	38,59	15,66	12,69	736,02
5,0	8,5	4,0	1,7	2,08	113,85	0,357	0,934	40,64	106,34	4,0	5,35	21,40	0,42	36,05	16,05	13,66	764,96
5,0	8,0	4,5	1,7	2,08	114,80	0,428	0,904	49,13	113,78	4,5	5,53	24,88	0,42	37,73	16,50	13,77	743,58
5,0	8,5	4,0	1,7	2,08	113,85	0,500	0,866	56,92	98,59	4,0	5,77	23,08	0,42	32,05	17,31	13,66	696,66
5,0	9,5	2,0	1,7	2,08	101,55	0,571	0,821	57,98	83,37	2,0	6,09	12,18	0,42	30,22	18,27	12,18	596,82
5,0	10,0	-	1,7	-	85,00	0,643	0,766	54,65	66,11	-	6,52	-	0,42	27,64	19,56	10,20	459,00
5,0	8,0	-	1,7	-	68,00	0,714	0,700	48,55	47,60	-	7,14	-	0,42	20,20	21,42	8,16	334,56
4,5	4,0	-	1,7	-	30,60	0,786	0,618	24,05	18,91	-	7,28	-	0,42	8,02	21,84	3,67	139,46

Cs = 386,84 + 235,89 = 397,60

C's = 386,84 + 235,89 = 397,60 + 7235,83 = 7235,83

Cs = 1,56

C's = 1,23

397,60

386,94 235,89

7235,83

Fonctionnement Normal talus aval

R = 71 m

	b (m)	h' (m)	h'' (m)	α_1 (t/m ³)	α_2 (t/m ³)	$G_n = [\gamma_1 h' + \gamma_2 h''] b$	$\text{Sin} \alpha_n = \frac{n}{nc}$	$\text{Cos} \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nc}\right)^2}$	$T_n = G_n \text{Sin} \alpha_n$	$N_n = G_n \text{Cos} \alpha_n$	$P = \gamma_{eau} \cdot h''$	$dl = \frac{b}{\text{Cos} \alpha_n}$	Pdl	tg p	(N-Pdl)tg p	Cdl	$T_{en} = \alpha G_n$	$T_{en} \cdot dn$	calcul du coeff. de sécurité
1	4,5	2,0	-	1,7	-	15,30	-0,077	0,997	-1,18	15,25	-	4,51	-	0,42	6,47	13,53	1,84	128,8	$C_s = \frac{299,17 + 224,01}{355,63}$ $C'_s = \frac{299,17 + 224,01}{355,63 + 6148,20}$
2	5,0	4,0	-	1,7	-	34,00	0,000	1,000	0,00	34,00	-	5,00	-	0,42	14,43	15,00	4,08	281,52	
1	5,0	6,5	-	1,7	-	55,25	0,077	0,997	4,25	55,08	-	5,01	-	0,42	23,38	15,03	6,63	450,84	
2	5,0	8,0	-	1,7	-	68,00	0,154	0,988	10,47	67,18	-	5,06	-	0,42	28,52	15,18	8,16	546,72	
3	5,0	10,0	-	1,7	-	85,00	0,230	0,973	19,55	82,70	-	5,14	-	0,42	35,10	15,42	10,20	663,00	
4	5,0	10,5	-	1,7	-	89,25	0,307	0,952	27,40	84,96	-	5,25	-	0,42	36,06	15,75	10,71	664,02	
5	5,0	9,5	1,0	1,7	2,08	91,45	0,387	0,923	35,00	84,13	1,0	5,42	5,42	0,42	33,41	16,26	10,94	667,34	
6	5,0	8,0	2,5	1,7	2,08	94,00	0,461	0,877	43,33	82,44	2,5	5,70	14,25	0,42	28,94	17,10	11,28	665,52	
7	5,0	8,5	2,0	1,7	2,08	93,05	0,538	0,843	50,06	78,44	2,0	5,93	11,86	0,42	28,26	17,79	11,16	624,96	
8	5,0	9,0	1,5	1,7	2,08	92,10	0,615	0,788	56,64	72,57	1,5	6,34	9,51	0,42	26,77	19,02	11,05	596,70	
9	5,0	8,5	-	1,7	-	72,25	0,692	0,722	50,00	52,16	-	6,92	-	0,42	22,14	20,76	8,67	442,17	
10	5,0	6,5	-	1,7	-	55,25	0,769	0,639	49,49	35,30	-	7,82	-	0,42	14,98	23,46	6,63	311,61	
11	3,5	3,5	-	1,7	-	20,83	0,846	0,533	17,62	11,10	-	6,57	-	0,42	4,71	19,71	2,50	105,00	
Σ									355,63						299,17	224,01		6148,20	$C_s = 1,47$ $C'_s = 1,18$

N. des crânes

Fonctionnement

Normal

Talus aval

R = 73 m

	b (m)	h' (m)	h'' (m)	γ_1 (t/m ³)	γ_2 (t/m ³)	$G_n = [\gamma_1 h' + \gamma_2 h''] b$	$\sin \alpha_n = \frac{n}{nt}$	$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nt}\right)^2}$	$T_n = G_n \sin \alpha_n$	$N_n = G_n \cos \alpha_n$	$P = \gamma_{eau} h''$	$dL = \frac{b}{\cos \alpha_n}$	Pdl	$\text{tg } \varphi$	$(N - Pdl) \text{tg } \varphi$	c dl	$T_{cn} = a G_n$	$T_{cn} \cdot d_n$	calcul du coeff. de Sécurité
1	2,0	2,0	-	1,7	-	6,80	-0,077	0,997	-0,52	6,78	-	2,00	-	0,42	2,88	6,00	0,82	59,04	$C_s = \frac{296,54 + 236,16}{359,26}$ $C'_s = \frac{296,54 + 236,16}{359,26 + \frac{1}{4} \cdot 6165,24}$
0	5,0	4,0	-	1,7	-	34,00	0,000	1,000	0,00	34,00	-	5,00	-	0,42	14,43	15,00	4,08	289,68	
1	5,0	6,0	-	1,7	-	51,00	0,077	0,997	3,93	50,85	-	5,01	-	0,42	21,58	15,03	6,12	428,40	
2	5,0	8,0	-	1,7	-	68,00	0,154	0,988	10,47	67,18	-	5,06	-	0,42	28,51	15,18	8,16	563,04	
3	5,0	9,0	-	1,7	-	76,50	0,230	0,973	17,59	74,43	-	5,14	-	0,42	31,59	15,42	9,18	615,06	
4	5,0	10,0	-	1,7	-	85,00	0,307	0,952	26,09	80,92	-	5,25	-	0,42	34,35	15,75	10,20	663,00	
5	5,0	11,0	-	1,7	-	93,50	0,384	0,923	35,90	86,30	-	5,42	-	0,42	36,63	16,26	11,22	718,08	
6	5,0	8,5	1,5	1,7	2,08	87,85	0,461	0,877	40,50	77,04	1,5	5,70	9,69	0,42	28,59	17,10	10,54	653,48	
7	5,0	8,5	1,5	1,7	2,08	87,85	0,538	0,843	47,26	74,06	1,5	5,93	8,89	0,42	27,66	17,79	10,54	621,86	
8	5,0	8,5	1,0	1,7	2,08	78,40	0,615	0,788	48,22	61,78	1,0	6,34	6,34	0,42	23,53	19,02	9,41	526,96	
9	5,0	8,5	-	1,7	-	68,00	0,692	0,722	47,06	49,09	-	6,92	-	0,42	20,84	20,76	8,16	432,48	
10	5,0	6,5	-	1,7	-	55,25	0,769	0,639	42,49	35,30	-	7,82	-	0,42	14,98	23,46	6,63	331,50	
11	7,0	4,0	-	1,7	-	47,60	0,846	0,533	40,27	25,37	-	13,13	-	0,42	10,77	39,39	5,71	262,66	
Σ									359,26						296,54	236,16		6165,24	$C_s = 1,48$ $C'_s = 1,20$

CHAPITRE .V.I. OUVRAGES ANNEXES .

1. Dérivation provisoire :

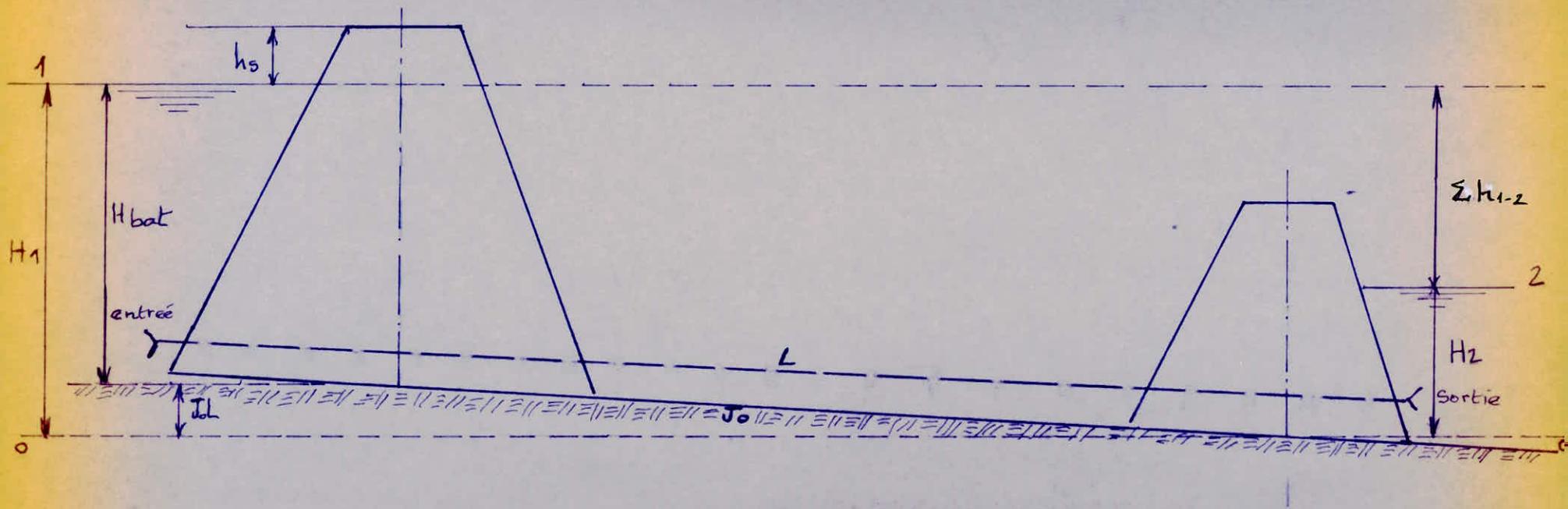
Pour faciliter les travaux de construction du barrage et éviter la submersion du chantier, il est nécessaire de prévoir la dérivation des eaux de l'Oued.

Dans notre cas, le barrage est alimenté par deux Oueds différents. Le creusement de deux galeries de dérivation s'avère onéreux. Donc pour des raisons économiques, nous optons pour la conception d'une seule galerie qui évacuera les eaux de l'Oued situé à droite après y avoir dérivé les eaux de l'Oued situé à gauche.

Cette galerie, de 4m de diamètre, servira à la fin de la construction du barrage pour la prise d'eau et la vidange de fond.

En outre, elle sera équipée d'un batardeau de 8m de hauteur à l'amont et d'un autre moins important à l'aval qui seront détruits après la construction du barrage .

Calcul du débit évacué par la galerie; on calcule le coefficient de résistance dans les coudes par la formule de WEISBACH:



$$\gamma_{\text{coude}} = \frac{\alpha}{90} \left[0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2r} \right)^{3,5} \right]$$

avec :

α : angle intérieur

r : rayon

Dans notre cas, nous avons :

$$\alpha_1 = 22^\circ$$

$$r_1 = 87\text{m}$$

$$\text{d'où : } \gamma_{\text{coude}_1} = 0,032$$

$$\alpha_2 = 25^\circ$$

$$r_2 = 78\text{m}$$

$$\text{d'où } \gamma_{\text{coude}_2} = 0,036$$

A l'entrée, le coefficient de résistance est égal à 0,05.

En négligeant les pertes de charge linéaires, on aura :

$$\Delta H = (\gamma_{\text{coude}_1} + \gamma_{\text{coude}_2} + \gamma_{\text{entrée}} + \gamma_{\text{sortie}}) \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta H = (0,032 + 0,036 + 0,05 + 1) \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta H = 1,118 \frac{V^2}{2g}$$

A la sortie de la galerie, la hauteur d'eau H_2 sera de 4m. La hauteur dans le lit de l'Oued correspond à un débit décennal de $124m^3/s$.

Les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- L'écoulement dans la galerie est permanent.
- Galerie en charge, l'écoulement se fait à pleine section.

Appliquons l'équation de BERNOULLI aux sections (1) et (2).

$$H_1 + \frac{P_1}{\bar{w}} + \frac{V_1^2}{2g} = H_2 + \frac{P_2}{\bar{w}} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_{1-2} \quad (I)$$

avec :

H_1 et H_2 : hauteur de l'eau aux sections (1) et (2)

P_1 et P_2 : pressions relatives aux sections (1) et (2)

\bar{w} : poids volumique de l'eau : $\bar{w} = \rho \cdot g$

g : accélération de la pesanteur.

$\sum h_{1-2}$: somme des pertes de charge totales.

Considérant la surface de l'eau à l'air libre, l'expression (I)

devient :

$$H_1 = H_2 + \sum h_{1-2} \quad (II)$$

car :

$P_1 = P_2 = 0$: pression atmosphérique

$V_1 = V_2 = 0$: la surface de l'eau supposée infiniment grande par rapport au diamètre de la galerie d'où une variation très lente du niveau d'eau.

$$H_1 = H_2 + \sum h_{1-2} = H_{bat} + JL - h_s \quad (III)$$

où :

h_s : revanche du batardeau

L : longueur développée dans l'axe de l'Oued

$J = 0,01$: pente géométrique dans l'axe de l'Oued.

$$H_{bat} = H_2 + 1 + \sum h_{1-2} - JL$$

$$\sum h_{1-2} = \Delta H + \frac{f \cdot l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

En supposant le régime turbulent rugueux, on applique la formule de NIKURADZE .

$$f = \left(1,14 - 0,86 \ln \frac{\varepsilon}{D_h} \right)^{-2}$$

$D_h = 4m$: diamètre hydraulique

$\xi = 1mm$: rugosité absolue

$$f = \left(1,14 - 0,86 \ln \frac{0,001}{4} \right)^{-2}$$

$$f = 0,0146112$$

L'expression (III) devient :

$$H_{bat} = H_2 - JL + 1 + \frac{V^2}{2g} \left(1,118 + \frac{f \cdot l}{D} \right)$$

$$H_{bat} - 1 + JL - H_2 = \frac{V^2}{2g} \left(1,118 + \frac{f \cdot l}{D} \right)$$

$$H_{bat} - 1 + JL - H_2 = \frac{Q^2}{2g \cdot A^2} \left(1,118 + \frac{f \cdot l}{D} \right)$$

$$H_{bat} - 1 + JL - H_2 = \frac{16 Q^2}{2g \pi^2 \cdot D^4} \left(1,118 + \frac{f \cdot l}{D} \right)$$

$$H_{bat} - 1 + JL - H_2 = \frac{8 Q^2}{g \pi^2 D^4} \left(1,118 + \frac{f \cdot l}{D} \right)$$

Application numérique :

$$8 - 1 + 0,01 \cdot 225 - 4 = \frac{8 \cdot Q^2}{9,8 (3,14)^2 \cdot 4^2} \left(1,118 + \frac{0,0146112 \times 244}{4} \right)$$

$$7,25 = 6,5 \cdot 10^{-4} \cdot Q^2$$

$$Q = \left(\sqrt{\frac{5,25}{6,5 \cdot 10^{-4}}} \right)$$

$$Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$$

Vérification du régime

$$\frac{\epsilon}{Dh} = \frac{0,001}{4} = 0,00025$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{Q}{A} \cdot \frac{D}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D \nu}$$

$$Re = \frac{4 \cdot 90}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re = 2,87 \cdot 10^7$$

D'après le diagramme de MOODY, le régime est turbulent rugueux.

2. Digue de col :

On remarque sur le plan topographique qu'à l'Est du site, il existe un col de faible hauteur, dont l'axe est à la côte 630,00. La longueur de ce col est d'environ 296 m.

La crête du barrage étant à la côte 641,00, une certaine quantité d'eau se déverserait à travers le col, d'où une diminution de la capacité de la retenue.

Pour pallier à cela, la construction d'une digue de col à cet endroit s'avère nécessaire.

dimensionnement de la digue :

hauteur : 10m

penne amont : 1 : 3

penne aval : 1 : 2,5

largeur de la crête : 7m

longueur en crête : 296 m

Les matériaux nécessaires à la construction de cette digue seront les mêmes que ceux du corps du barrage. Le talus amont sera protégé par des enrochements de 0,60m d'épaisseur. Ces enrochements reposeront sur une couche préparatoire constituée de trois couches de granulométrie continue :

première couche : sable fin d'épaisseur 15 cm

deuxième couche : sable gros d'épaisseur 15cm

troisième couche : gravier d'épaisseur 15cm

Par contre le talus aval sera enherbé, après avoir réparti sur celui-ci une couche de terre végétale.

En outre, cette digue sera équipée à l'aval du massif d'un prisme de drainage constitué d'enrochements.

3. Evacuateur de crue :

3.1. Conception de l'évacuateur de crue :

L'évacuateur de crue est destiné à permettre le passage des débits de crue sans que l'ouvrage ou ses fondations risquent d'être endommagés par submersion ou par affouillement et sans que le niveau du plan d'eau amont en période de crue, dépasse le niveau de retenue exceptionnelle.

Que ce soit un évacuateur de surface ou un évacuateur en charge, le but à atteindre est de conduire le débit de crue dans le lit de la rivière le plus économiquement et le plus sûrement possible.

3.2. Choix de l'évacuateur de crue :

Pour décider du choix de l'implantation de l'évacuateur, des études hydrologiques, topographiques et géologiques sont nécessaires.

L'existence d'un col sur le flanc gauche sous forme d'un seuil déversant se prolongeant en forme d'un canal pour aboutir à l'aval du barrage a fait prévaloir le choix d'un évacuateur latéral, d'autant plus que les conditions géologiques militent en sa faveur.

3.3. Profil du déversoir :

Le déversoir sera à profil pratique de type Greager-Offitserov. Ce profil est obtenu d'après le profil type qui correspond à une charge d'eau de 1m, en multipliant les coordonnées X et Y du profil type par la valeur de la charge .

Coordonnées de Greager pour la charge $H = 1$ m

X	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Y	0,126	0,036	0,007	0,00	0,006	0,027	0,060	0,100	0,146	0,198	0,256

Dans notre cas, la charge $H = 2$ m ; donc X et Y seront multipliées par 2.

Le profil de notre déviation aura pour coordonnées les valeurs suivantes:

X	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Y	0,252	0,072	0,014	0,00	0,012	0,054	0,120	0,200	0,292	0,396	0,512

L'évacuateur de crue sera à seuil libre et comprendra :

- un petit barrage déversoir en béton .

- un canal rapide trapézoïdal.
- un dissipateur d'énergie à l'aval.

Le canal sera linéairement convergent par tronçons, la pente étant constante pour chaque tronçon.

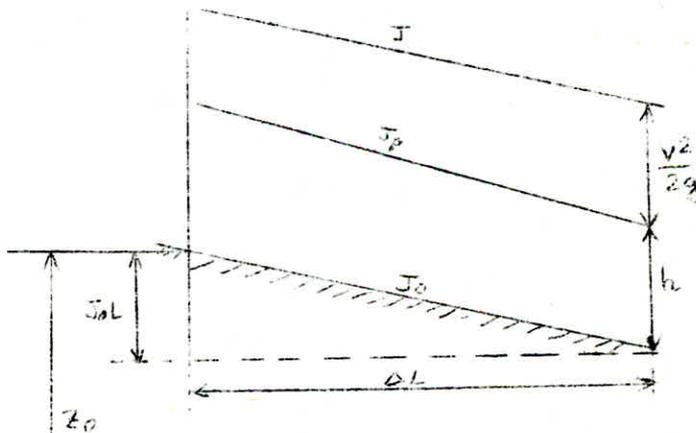
3.4. Etude de l'écoulement dans le canal :

Calcul de remous :

Un mouvement graduellement varié est caractérisé par une variation progressive des divers paramètres hydrauliques le long du canal. La ligne d'eau d'un tel mouvement est appelée courbe de remous.

Equation différentielle du mouvement:

L'équation est établie entre la longueur du tronçon et la hauteur h .



où :

- Jo : Pente géométrique
- h : Hauteur d'eau
- Zo : Côte où L = 0

En faisant tendre L vers zéro , la variation de la charge totale par unité de longueur se confond avec le gradient de la perte de charge .

$$j = \frac{d}{dL} \left(\frac{v^2}{2g} + Z_0 - J_0 L + h \right)$$

Après de cette équation et en application de l'équation de continuité , on aboutit à :

$$dl = \frac{1 - \frac{Q^2 \cdot e}{g \cdot A^3}}{J_0 - J} \quad d h$$

L'intégration de cette équation donne le tracé de la surface libre de l'Eau le long du canal.

Le calcul a été fait sur calculatrice Texas Instrument 59 , à l'aide d'un programme établi par Mr. GESA LAPRAY, maitre de conférence à l'école nationale polytechnique d'Alger.

Le calcul est basé sur les formules suivantes :

$$b = b_0 - \sum_{i=1}^n \frac{L_{i-1} + L_i}{2} (b_0 - b_n) : \text{largeur moyenne de chaque tronçon.}$$

$$A_i = \left(b_i + \frac{(h_i + \Delta h_i)}{2} \right) \left(\frac{(h_i + \Delta h_i)}{2} \right) : \text{section moyenne de chaque tronçon.}$$

$$P = b + \chi \left(\frac{h_i + \Delta h_i}{2} \right) : \text{périmètre mouillé}$$

$$f = \left(1,14 - 0,86 \ln \frac{\epsilon}{D_h} \right)^{-2} : \text{coefficient de frottement}$$

$$\chi = 2 \sqrt{1 + I^2} : \text{paramètre rapporté à un trapèze.}$$

ϵ : rugosité absolue

$$D_h : \text{diamètre hydraulique} = \frac{4A}{P}$$

$$\Delta L = \frac{1 - \frac{Q^2 \cdot e}{g \cdot A^3}}{J_u - \frac{f \cdot Q^2}{D_h \cdot A^2 \cdot 2g}} \Delta h$$

$$J = \frac{f \cdot Q^2}{D_h \cdot A^2 \cdot 2g} : \text{gradient de perte de charge .}$$

Calcul de l'épaisseur de la lame d'eau au pied aval du déversoir (h_t).

Les pertes de charge sur le parement aval sont négligées.

Au dessus du seuil, la hauteur critique K est calculé d'après la formule suivante :

$$K = \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2 \frac{1}{g}}$$

où

b ; longueur en crête du déversoir

$$b = 130 \text{ m}$$

g : accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m/s}^2$

$$Q = 800 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K = \sqrt[3]{\left(\frac{800}{130}\right)^2 \frac{1}{9,81}}$$

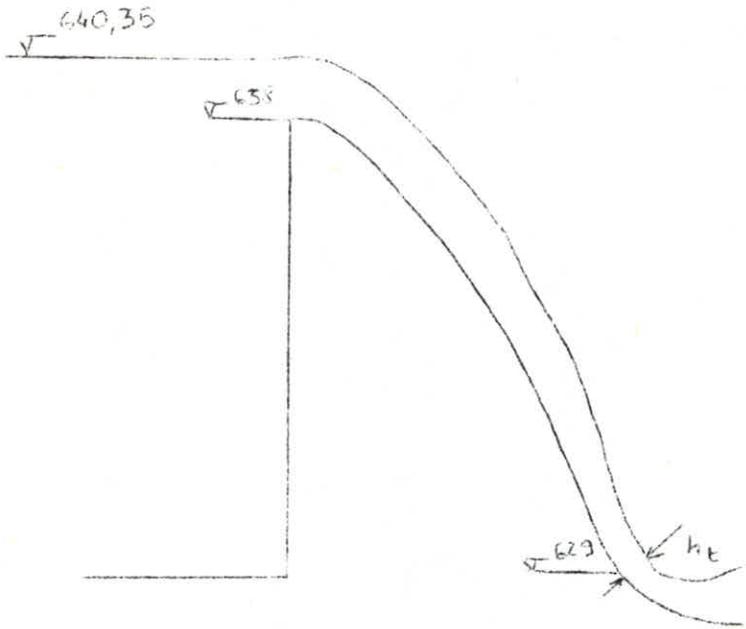
$$K = 1,57 \text{ m}$$

$$H_k = \frac{3}{2} K$$

$$H_k = \frac{3}{2} \cdot 1,57$$

$$H_k = 2,35 \text{ m}$$

charge au pied du déversoir : H



$$H = 638 - 629 + 2,35$$

$$H = 11,35 \text{ m}$$

Le paramètre dimensionnel H_+ sera :

$$H_+ = \frac{H}{K}$$

$$H_+ = \frac{11,35}{1,57}$$

$$H_+ = 7,23$$

On tire h_{t+} de l'abaque 18a

$$h_{t+} = 0,265$$

L'épaisseur de la lame d'eau à l'aval sera :

$$h_t = h_{t+} \cdot K$$

$$h_t = 0,265 \cdot 1,57$$

$$h_t = 0,416 \text{ m}$$

PROGRAMME DONNANT LE PROFIL EN LONG DE LA SURFACE LIBRE, Remous en canal trapezoidal linéairement convergent

LRN 2nd LBL A $RCL\ 05\ x^2 + 1 = \sqrt{x} \times 2 = STO\ 09 + RCL\ 17 \div 2 = STO\ 07\ R/S$

2nd LBL B $RCL\ 15\ STO\ 14 \div 2 + RCL\ 06 = \div RCL\ 20 \times RCL\ 16 = +/\div RCL\ 18$

$STO\ 04 + RCL\ 05 \times RCL\ 07 = STO\ 10 \times 4 \div (RCL\ 04 + RCL\ 09 \times RCL\ 07) = STO\ 11\ 1/x$

$\times RCL\ 02 = \ln x \times .86 - 1.14 = x^2\ 1/x\ STO\ 12\ 1 - RCL\ 01\ x^2 \times (RCL\ 04 + 2 \times RCL\ 05$

$\times RCL\ 07) \div 9.8 \div RCL\ 10\ y^x\ 3 = STO\ 13 \div (RCL\ 03 - RCL\ 12 \times (RCL\ 01 \div RCL\ 10) x^2$

$\div RCL\ 11 \div 19.6) \times RCL\ 17 = STO\ 15 - RCL\ 14 = 2^{nd}\ |x| 2^{nd}\ x \gg t\ B\ RCL\ 15\ Sum\ 06$

$RCL\ 17\ Sum\ 08\ RCL\ 18 - RCL\ 06 \div RCL\ 20 \times RCL\ 16 = STO\ 04\ RCL\ 01 \div RCL\ 10$

$\times RCL\ 11 \div RCL\ 00 = STO\ 21\ RCL\ 06\ R/S$

2nd LBL C $RCL\ 04 + 2 \times RCL\ 05 \times RCL\ 27 = STO\ 31\ RCL\ 04 + RCL\ 05 \times RCL\ 27 = \times RCL\ 27$

$= STO\ 30\ 1/x\ y^x\ 3 \times RCL\ 31 \times RCL\ 01\ x^2 \div 9.8 = STO\ 28\ y^x\ 3 \times RCL\ 27 = STO\ 29\ RCL\ 28 - 1$

$= 2^{nd}\ |x| 2^{nd}\ x \gg t\ C\ RCL\ 09 \times RCL\ 27 \div RCL\ 04 = STO\ 26\ 1/x \times RCL\ 30 \times 4$

$= STO\ 23\ 1/x \times RCL\ 02 = STO\ 24\ \ln x \times .86 - 1.14 = x^2\ 1/x\ STO\ 25 \div RCL\ 23 \times RCL\ 01\ x^2$

$\div RCL\ 30\ x^2 \div 19.6 = STO\ 22\ RCL\ 03 \div RCL\ 22 = STO\ 29\ RCL\ 27\ R/S$

2nd LBL D $RCL\ 04 + RCL\ 05 \times RCL\ 37 = \times RCL\ 37 = STO\ 40\ RCL\ 04 + RCL\ 37 \times RCL\ 09$

$= STO\ 36\ 1/x \times 4 \times RCL\ 40 = STO\ 33 \div RCL\ 02 = 1/x\ STO\ 39\ \ln x \times .86 - 1.14 =$

$x^2\ 1/x\ STO\ 35 \div RCL\ 33 \times RCL\ 01\ x^2 \div RCL\ 40\ x^2 \div 19.6 = STO\ 32 \div RCL\ 03 =$

$y^x\ 3 \times RCL\ 37 = STO\ 37\ RCL\ 32 - RCL\ 03 = 2^{nd}\ |x| 2^{nd}\ x \gg t$

$D\ RCL\ 01 \div RCL\ 40 = STO\ 34 \times RCL\ 33 \div RCL\ 00 = STO\ 38\ RCL\ 37\ R/S$

Exécution du programme

Données de calcul pour la première tranche

$$V = 10^{-6} \text{ STO } 00 ;$$

$$Q = 800 \text{ STO } 01$$

$$E = 0,001 \text{ STO } 02$$

$$J_u = 0,06 \text{ STO } 03$$

$$I = 2 \text{ STO } 05$$

$$L_0 = 0 \text{ STO } 06$$

$$h_0 = 0,416 \text{ STO } 08$$

$$L_{0x} = 2 \text{ STO } 15$$

$$\Delta b_{0x} = 80 \text{ STO } 16$$

$$\Delta h = 0,005 \text{ STO } 17$$

$$b_0 = 130 \text{ STO } 18$$

$$L_{0u} = 30 \text{ STO } 20$$

$$K = 1,57 \text{ STO } 27$$

$$h_u = 3,5 \text{ STO } 37$$

$$A \rightarrow \left(h_0 + \frac{\Delta h}{2} \right) \text{ RCL } 07 \text{ et } I \text{ RCL } 09$$

$$B \rightarrow L \text{ RCL } 06 \quad b \text{ RCL } 04 \quad h \text{ RCL } 08$$

$$C \rightarrow K \text{ RCL } 27$$

$$D \rightarrow h_u \text{ RCL } 37$$

Données de calcul pour la 1^{ère} tranche (pente 6%)

	D	Q	E	Ju	π	L ₀	h ₀	L _{0r}	Δb_{0r}	b ₀	L _{0n}	K	h _n
STO	00	01	02	03	05	06	08	15	16	18	20	27	37
	10 ⁻⁶	800	0,001	0,06	2	0	0,416	2	80	130	30	1,57	3,5

L	b	h	K	h _n
4,210	118,773	0,421	1,651	0,543
7,895	108,947	0,426	1,746	0,572
11,240	100,026	0,431	1,845	0,603
14,345	91,746	0,436	1,951	0,637
17,270	83,945	0,441	2,065	0,672
20,056	76,517	0,446	2,191	0,712
22,730	69,386	0,451	2,330	0,756
25,313	62,497	0,456	2,488	0,807
27,822	55,807	0,461	2,668	0,865
28,346	54,409	0,462	2,709	0,878
28,866	53,022	0,463	2,752	0,892
29,383	51,644	0,464	2,797	0,907
29,897	50,275	0,465	2,843	0,922

Données de calcul pour la 2^{ème} tranche (pente 7%)

	V	Q	E	Ju	α	L ₀	h ₀	L _{0r}	Δb_{0r}	b ₀	L _{0n}	K	h _u
STO	00	01	02	03	05	06	08	15	16	18	20	27	37
	10 ⁻⁶	800	0,001	0,07	2	0	0,465	2	20	50	50	2,843	0,922

L	b	h	K	h _u
2,620	48,951	0,470	2,888	0,893
5,225	47,909	0,475	2,926	0,905
7,815	46,874	0,480	2,964	0,917
10,390	45,843	0,485	3,004	0,930
12,952	44,819	0,490	3,044	0,943
15,500	43,800	0,495	3,086	0,956
18,034	42,786	0,500	3,128	0,970
20,556	41,777	0,505	3,172	0,984
23,066	40,773	0,510	3,217	0,999
25,564	39,774	0,515	3,263	1,014
28,051	38,779	0,520	3,311	1,030
30,526	37,789	0,525	3,360	1,046
32,991	36,803	0,530	3,410	1,063
35,446	35,821	0,535	3,463	1,080
37,891	34,843	0,540	3,516	1,098
40,326	33,869	0,545	3,572	1,117
42,752	32,899	0,550	3,629	1,137
45,168	31,932	0,555	3,689	1,158
47,576	30,969	0,560	3,750	1,179
49,975	30,009	0,565	3,813	1,202

Données de calcul pour la 3^{ème} tranche (pente 14%)

STO	V	Q	E	Ju	I	L ₀	h ₀	L ₀₂	Δb ₀₂	b ₀	L _{0n}	K	h _n
00	01	0	03	05	06	08	15	16	18	20	27	37	
10 ⁻⁶	800	0,001	0,14	2	0	0,565	2	10	30	60	3,813	1,202	

L	b	h	K	h _n
5,737	29,043	0,575	3,879	0,990
11,399	28,100	0,585	3,946	1,010
16,990	27,168	0,595	4,015	1,031
22,514	26,247	0,605	4,086	1,052
27,976	25,337	0,615	4,158	1,075
33,379	24,436	0,625	4,231	1,097
38,727	23,545	0,635	4,309	1,120
44,023	22,663	0,645	4,388	1,142
49,269	21,788	0,655	4,469	1,175
54,469	20,922	0,665	4,553	1,203
59,624	20,060	0,675	4,639	1,233
59,880	20,020	0,677	4,643	1,234

Données de calcul pour la 4^{ème} tranche (pente 11%)

ν	Q	E	J_a	I	L_0	h_0	L_{0r}	Δb_{0r}	b_0	L_{0n}	K	h_u	
570	00	02	02	03	05	06	08	15	16	18	20	27	37
10^{-6}	800	0,001	0,11	2	0	0,677	2	5	20	50	4,643	1,234	

L	b	h	K	h_u
2,740	19,723	0,682	4,674	1,339
5,472	19,453	0,687	4,702	1,350
8,193	19,180	0,692	4,731	1,361
10,905	19,909	0,697	4,760	1,372
13,607	18,639	0,702	4,789	1,383
16,300	18,370	0,707	4,812	1,395
18,985	18,101	0,712	4,848	1,406
21,660	17,834	0,717	4,878	1,418
24,327	17,567	0,722	4,909	1,430
26,986	17,301	0,727	4,939	1,442
29,636	17,036	0,732	4,970	1,456
32,278	16,776	0,737	5,001	1,468
34,912	16,509	0,742	5,033	1,481
37,537	16,246	0,747	5,065	1,494
40,155	15,984	0,752	5,097	1,507
42,766	15,723	0,757	5,129	1,521
45,369	15,463	0,762	5,162	1,535
47,964	15,203	0,767	5,194	1,549
49,000	15,100	0,769	5,208	1,555
49,517	15,048	0,770	5,214	1,558
50,030	14,996	0,771	5,221	1,561

4. Vidange de fond.

La vidange de fond a pour fonction de :

- vider rapidement la retenue en cas d'accident.
- abaisser le niveau du plan d'eau pour permettre l'entretien.
- évacuer une partie de l'apport solide.

Comme il a été souligné, la vidange de fond sera assurée par la galerie de dérivation provisoire à l'intérieur de laquelle une conduite de diamètre égal à 1m lui sera aménagée à cet effet.

Afin d'éviter l'obturation de la conduite, une grille lui sera aménagée à l'amont. Elle sera équipée de deux vannes à l'amont et à l'aval.

5- Prise d'Eau

L'ouvrage de prise d'eau a pour but de prélever dans un réservoir ou dans un cours d'eau le débit nécessaire à chaque instant à l'alimentation ou à l'irrigation.

Dans notre cas, elle servira à l'alimentation en eau de la future zone industrielle de BOUIRA.

La prise d'eau est prévue à l'amont de la galerie ayant servi de dérivation provisoire.

A cet endroit, sera construite une tour en béton, munie de quatre fenêtres **situées** à des niveaux différents. De chaque fenêtre, partira une petite conduite de **500 mm** de diamètre, pour rejoindre une conduite principale de même diamètre, située dans la tour, et qui rejoindra la galerie où elle sera accrochée au plafond de celle-ci .

En outre chaque fenêtre est munie d'une grille et d'une vanne glissant sur des rails. Le mécanisme sera assuré par un treuil situé au dessus de la tour. (voir planche N° 10) .

CALCUL DES VOLUMES : BARRAGE

N° du profil	distances entre les profils (m)	distances appliquées (m)	Couche de protection				recharges		déblai		prisme	
			enrochements		filtre		surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)	surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)	surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)
			Surfaces Partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)	Surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)						
1	25	25	22	550	16	400	62	1500	66	1650	-	-
	25		25	63	575	53	1325	764	19100	140	3500	-
2	25	25		68	1700	63	1575	1552	38800	144	3600	-
	25		25	72	1800	66	1650	2228	55700	164	4100	33
3	25	25		73	1825	66	1650	1700	42500	195	4875	58
	25		25	23	575	19	475	316	7900	94	2350	-
4	25	25		Σ =	8025	Σ =	7075	Σ =	165550	Σ =	20075	Σ =
	25											

CALCUL DES VOLUMES : DIGUE DE COL

N° du profil	distances entre les profils (m)	distances appliquées (m)	couche de protection				Recharges		déblai		Prisme	
			enrochements		filtre		surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)	surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)	surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)
			surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)	surfaces partielles (m ²)	Volumés partiels (m ³)						
1	26	28	14	392	8	224	67	1876	31	868	2	56
	30											
2	30	30	16	480	10	300	85	2550	37	1110	7	210
	30											
3	30	30	19	570	11	330	164	4920	55	1650	17	510
	30											
4	30	30	19	570	13	390	199	5970	47	1410	19	570
	30											
5	30	30	20	600	14	420	225	6750	60	1800	24	720
	30											
6	30	30	20	600	14	420	211	6330	62	18600	12	360
	30											
7	30	30	15	450	11	330	175	5250	48	1440	8	240
	30											
8	30	30	12	360	9	270	93	2790	36	1080	—	—
	30											
9	30	30	5	150	3	90	10	300	18	540	—	—
	30											
			Σ=	4172	Σ=	2774	Σ=	36736	Σ=	11758	Σ=	2666

C O N C L U S I O N .

Les matériaux nécessaires à la construction du barrage FAKRA sur l'Oued Sbisseb étant largement disponibles au niveau du site-même, sa réalisation s'en voit ainsi facilitée.

Ceci est d'autant plus avantageux, du point de vue économique, qu'on ne se heurtera pas aux dépenses et aux problèmes que pourrait constituer le transport.

De plus, le relief, peu accidenté permet l'installation du chantier et l'aménagement des routes d'accès de façon adéquate.

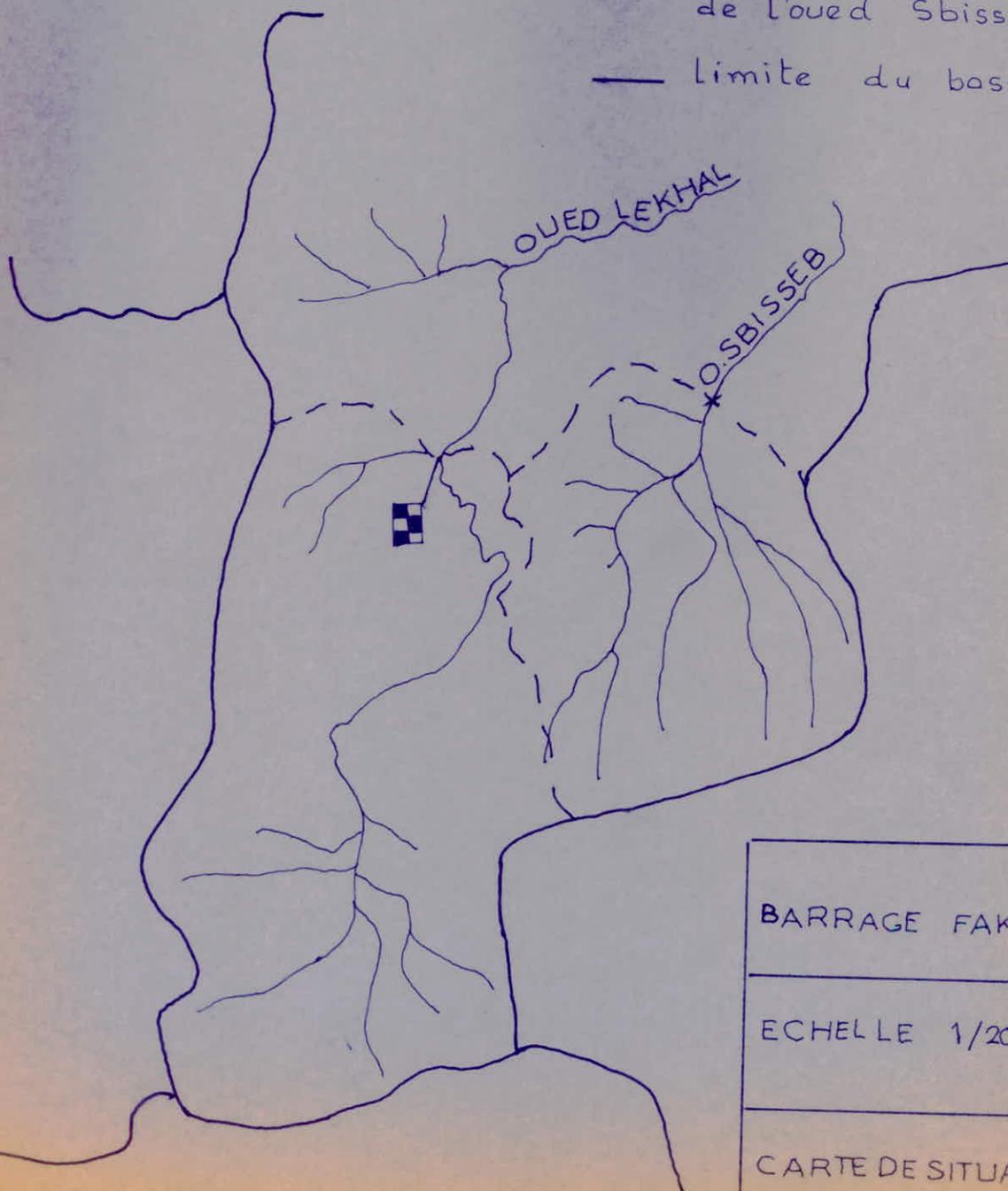
Toutefois, des études géologiques plus approfondies, notamment en ce qui concerne l'accident technique qui pourrait s'avérer comme étant un facteur négatif pour le barrage , sont nécessaires

CARTE DE SITUATION

échelle 1:200 000

légende

- station hydrométrique
- - - Limite du bassin versant de l'oued Sbisseb
- limite du bassin



BARRAGE FAKRA

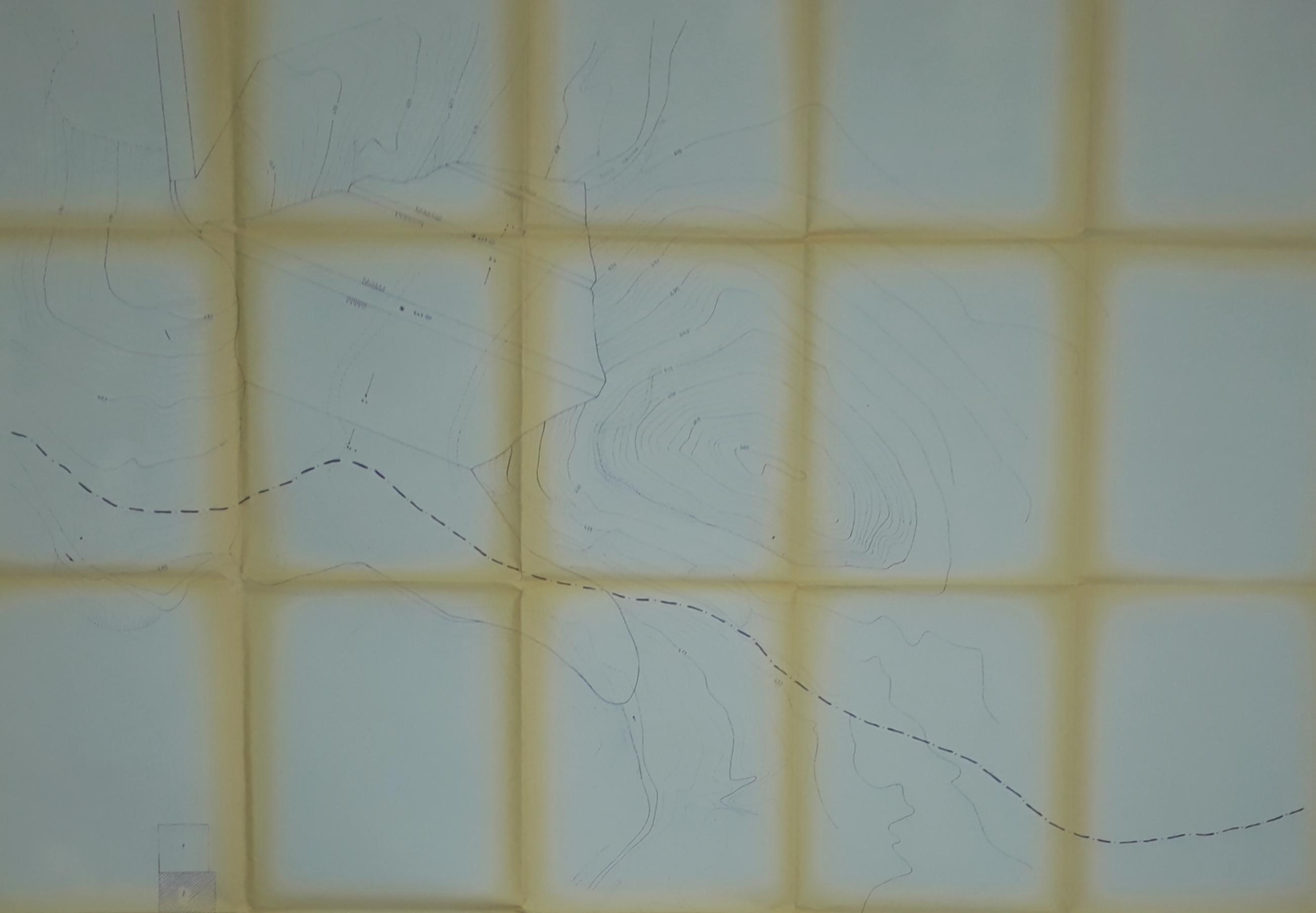
ECHELLE 1/200 000

CARTE DE SITUATION

E N P - JAN. 1985

B I B L I O G R A P H I E

- R. GINOCCHIO Energie hydraulique
- G. LARRAY Cours : FEN 199 (ENP)
-
- L.H. LEANG Cours FEN 201 (ENP)
- MALLET et PACQUANT Barrages en terre (Eyrolles)
- H. PRESS Barrages de vallées (Dunod)
- SCHEEBELI Hydraulique souterraine
(Eyrolles)
- H. VARLET Barrages réservoirs(Eyrolles)
- M. BELOKONEV Barrages en matériaux locaux
(polycopie IHB)
- Thèses de fin d'études(ENP)



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
PROJET DE FIN D'ETUDES
ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE
FAKRA SUR L'OUED SBISSEB
VUE EN PLAN DU BARRAGE
Fait par BELHACHEM M
CHAL T
Dessiné par M LEMUS T M 1984
PH021/85 PLANCHE N°1
A.

PH021/85

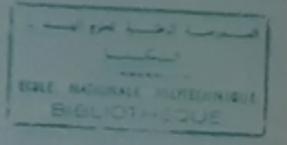
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

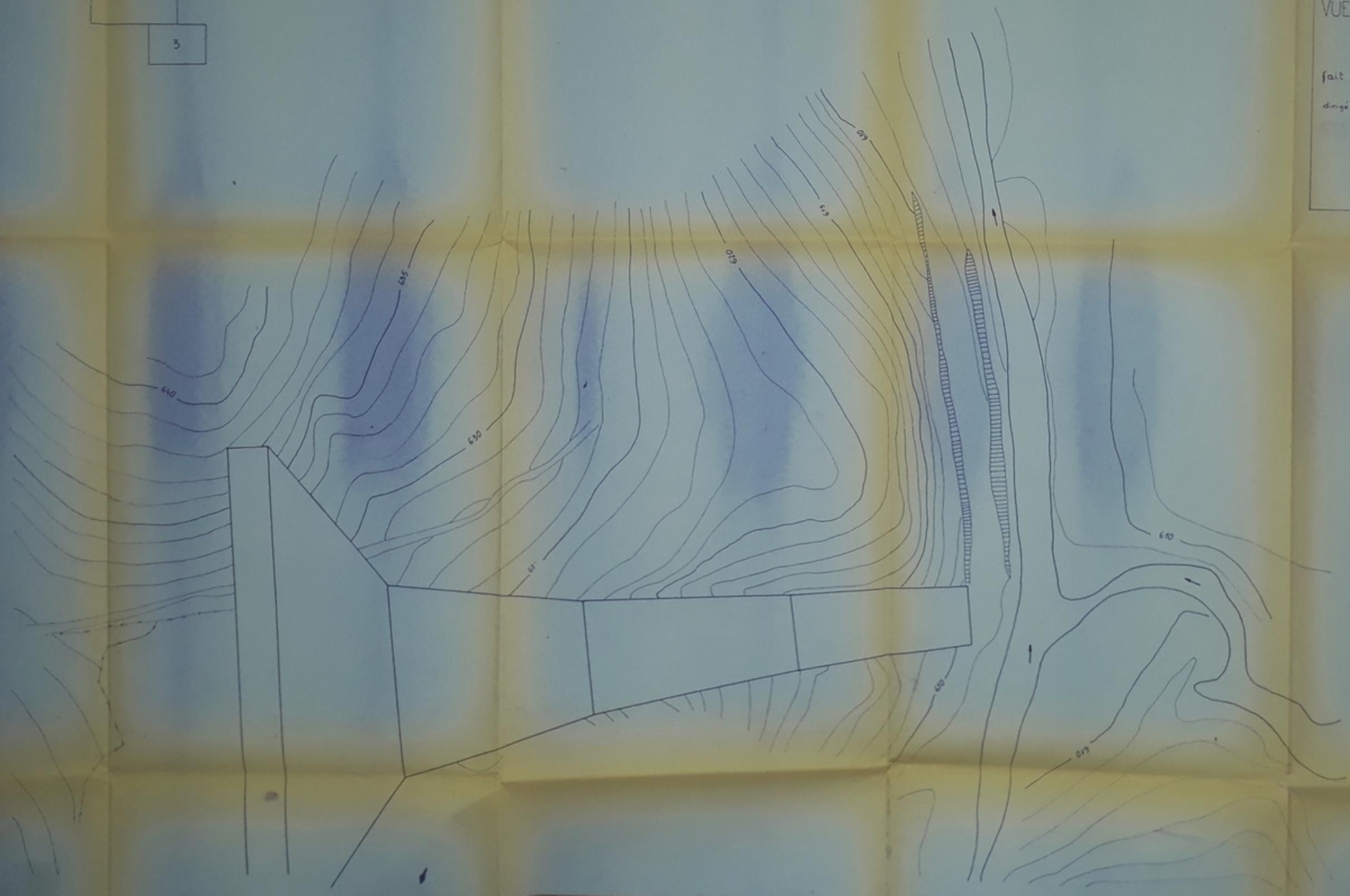
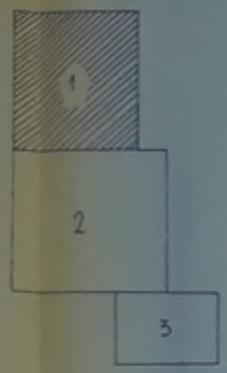
ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE
FAKRA SUR L'OUED SBISSEB

VUE EN PLAN DE L'EVACUATEUR DE
CRUE

fait par : Belhocine M.
Chila T.
dirigé par M^r Léang L.H.



Echelle : 1/500
planche N°2



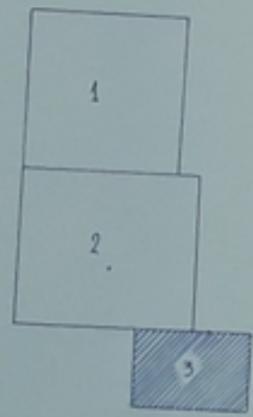
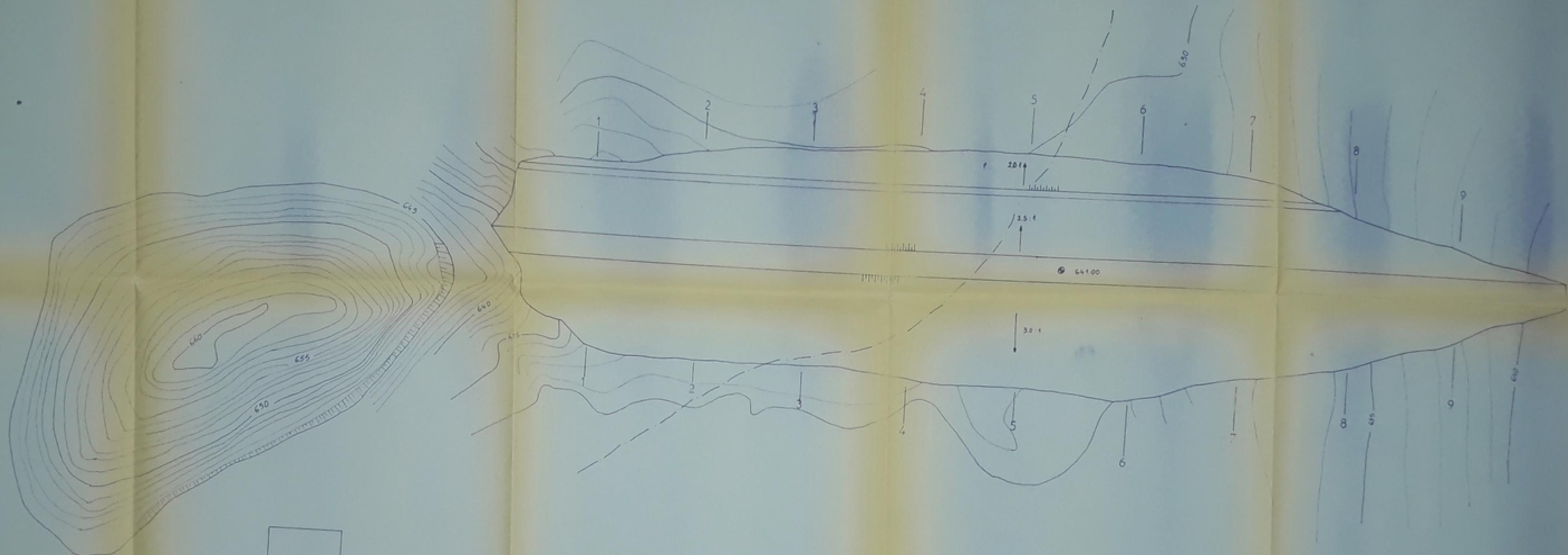


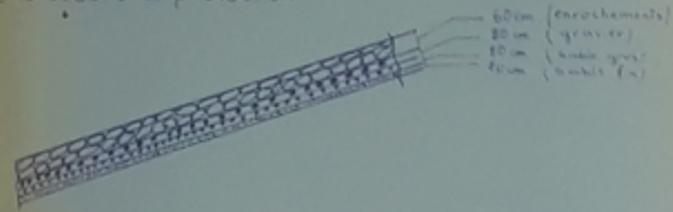
PLANCHE N° 3

BIBLIOTHÈQUE
 ÉTAT
 BUREAU NATIONAL DES
 BIBLIOTHÈQUES

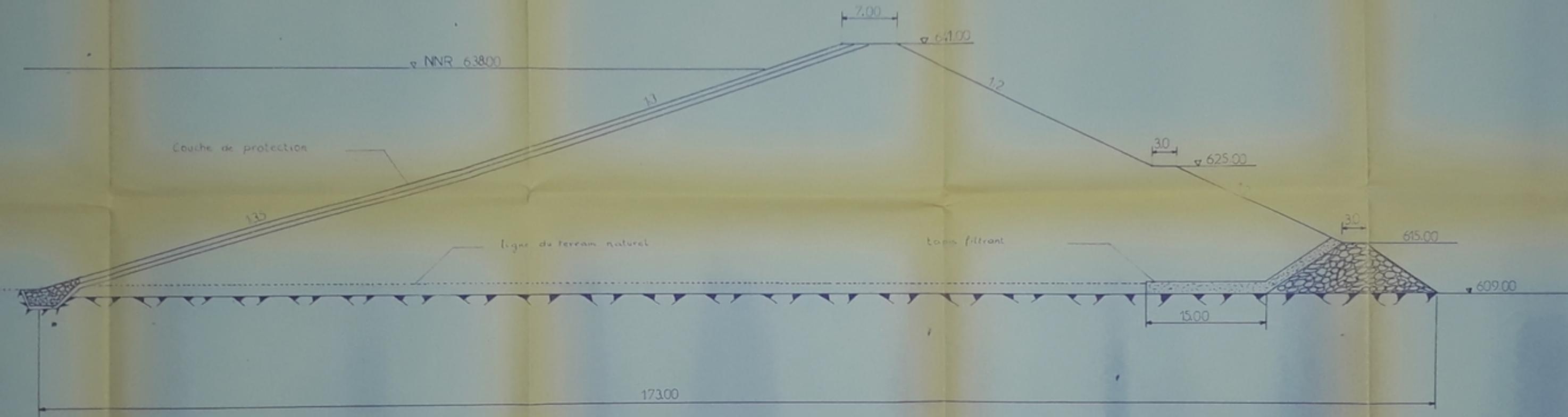
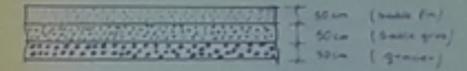
COUPE TYPE DU BARRAGE

échelle 1:250

détail de la couche de protection

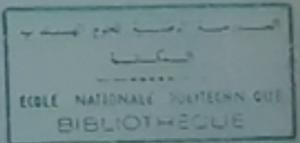


détail du tapis filtrant



PH021/25

-4-



Ecole Nationale Polytechnique

Etude de faisabilité du barrage Fakra
sur l'oued Sbisseb

Coupe type du barrage

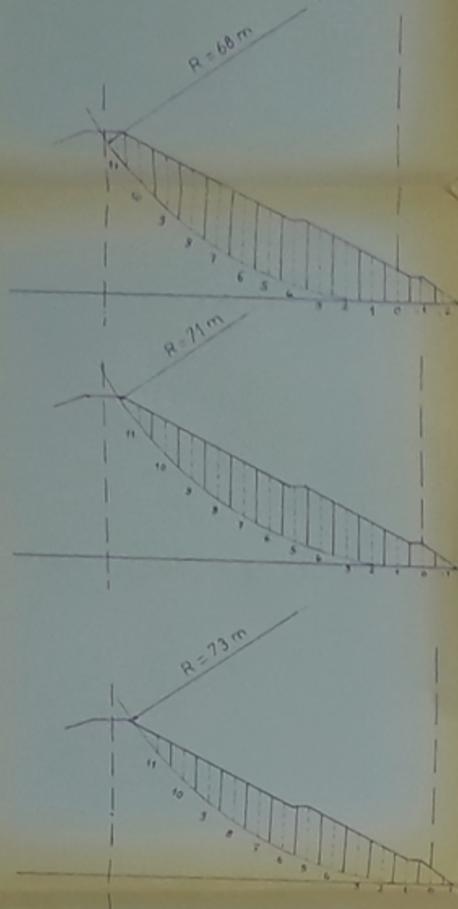
fait par : Belhocine M
chila T

dirigé par M. Léon L. H.

PLANCHE N° 4

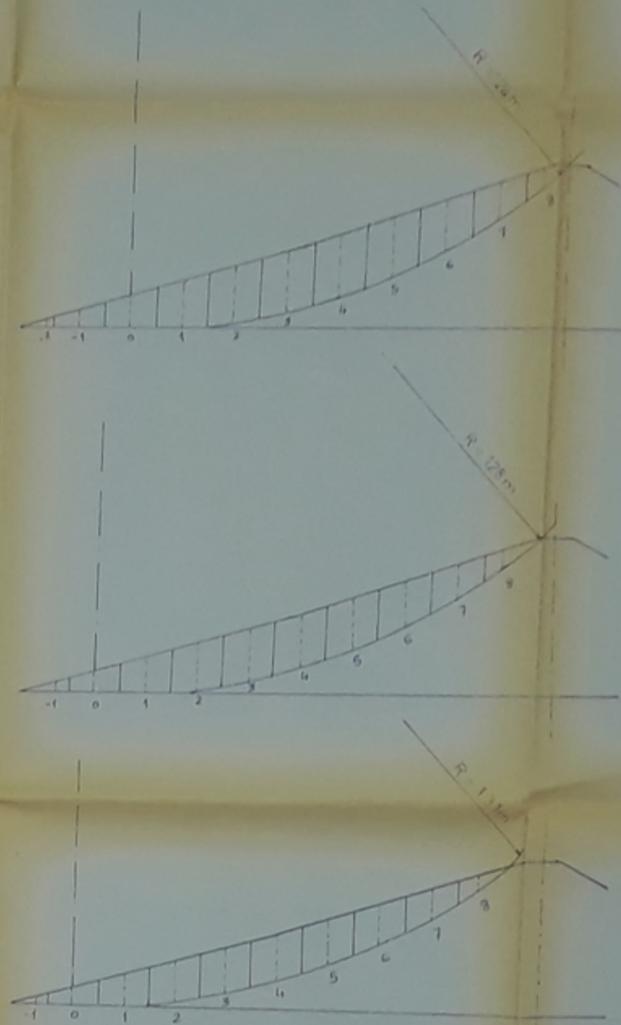
CERCLES DE GLISSEMENT
STABILITE DES TALUS

FIN DE CONSTRUCTION
talus aval



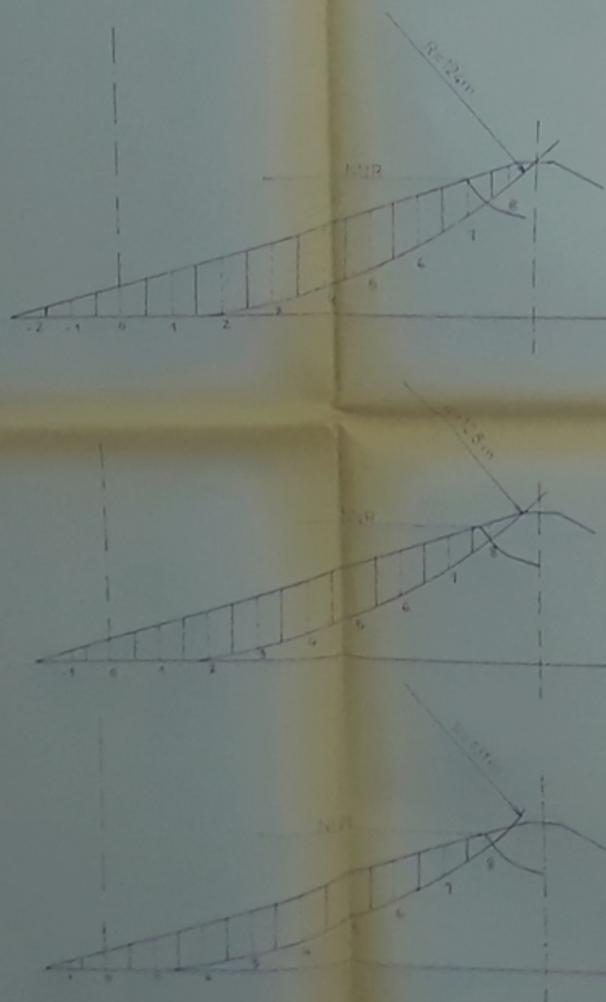
Rayon (m)	Coefficient de sécurité	
	avec sécheresse	sans sécheresse
68	1.68	1.32
71	1.54	1.24
73	1.52	1.23

FIN DE CONSTRUCTION
talus amont



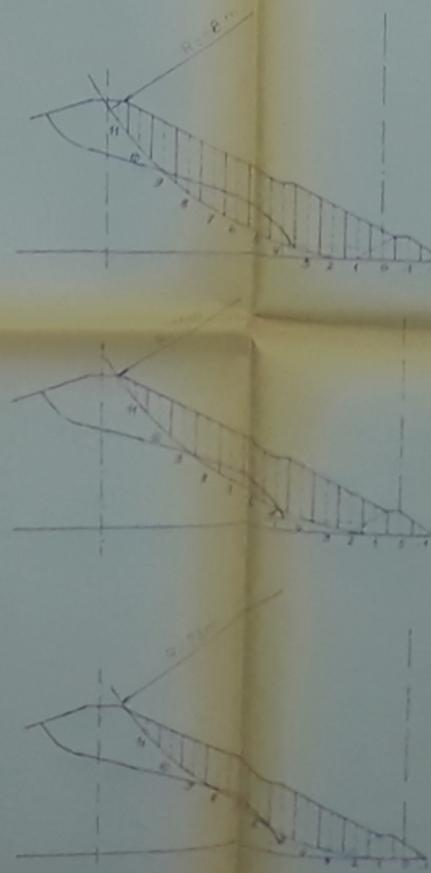
Rayon (m)	Coefficient de sécurité	
	avec sécheresse	sans sécheresse
124	2.01	1.49
128	1.82	1.39
131	1.86	1.44

VIDANGE RAPIDE



Rayon (m)	Coefficient de sécurité	
	avec sécheresse	sans sécheresse
124	1.27	1.11
128	1.11	1.00
131	1.00	1.00

FONCTIONNEMENT NORMAL



Rayon (m)	Coefficient de sécurité	
	avec sécheresse	sans sécheresse
124	1.11	1.00
128	1.00	1.00
131	1.00	1.00

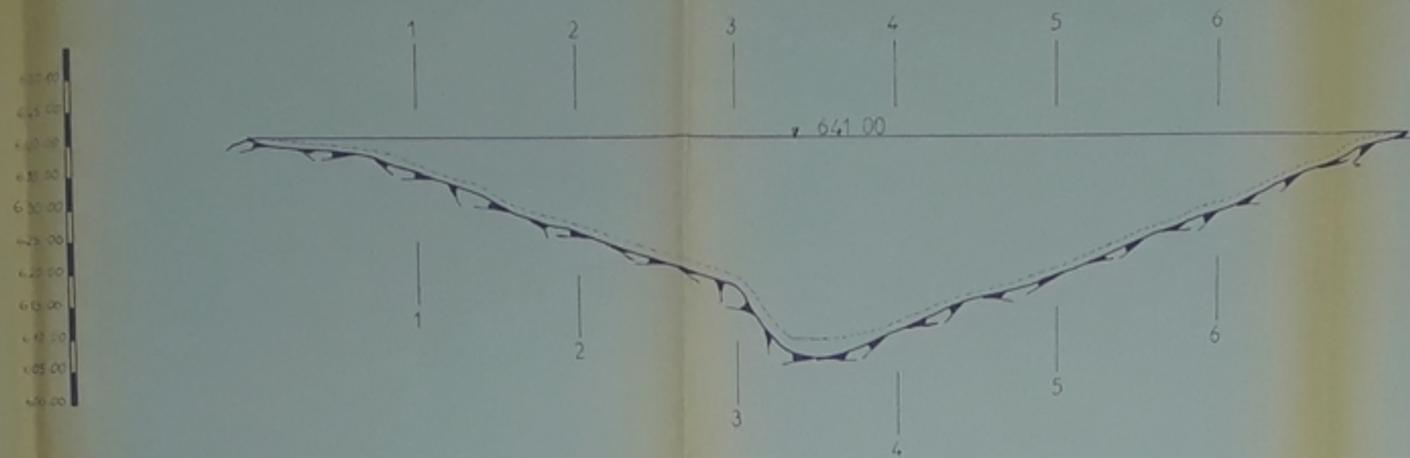
PH024/85
-5-

PLANCHE N° 6



COUPE PAR L'AXE DU BARRAGE

échelle 1:500



COUPES TRANSVERSALES

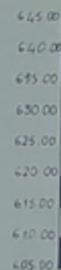
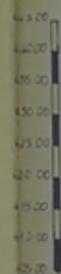
échelle 1:500

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 PROJET DE FIN D'ETUDES
 ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE
 FAKRA SUR L'OUED SBISSEB
 COUPE PAR L'AXE DU BARRAGE
 ET COUPES TRANSVERSALES
 Fait par : CHILA . T
 BELHOUCHE M
 Dirigé par : M^r LEANG LIM HENG
 PLANCHE N° 8

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 BIBLIOTHEQUE

PH 01 81
 -06-

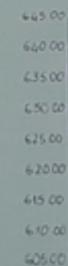
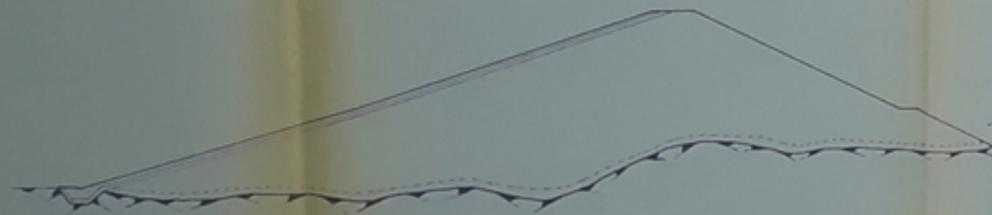
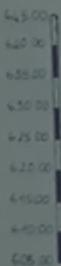
SECTION 1-1



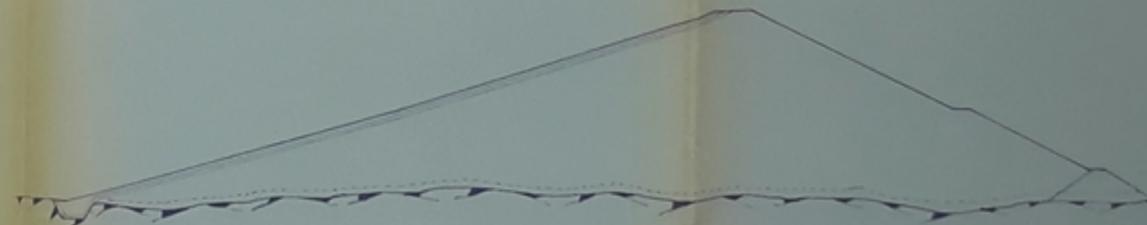
SECTION 2-2



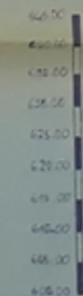
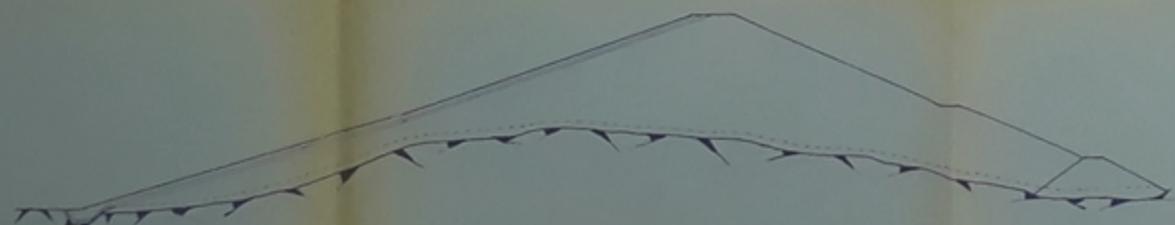
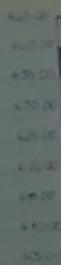
SECTION 3-3



SECTION 4-4



SECTION 5-5

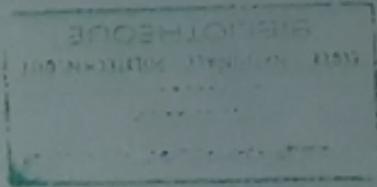


SECTION 6-6



TRACE DE LA LIGNE DE SATURATION PAR LA METHODE
DE KOZENY

échelle 1:250



équation de la parabole de Kozeny

$$(x + e)^2 = x^2 + y^2$$

avec

$$e = \sqrt{H + d} - d$$

-80-
PH 09/81

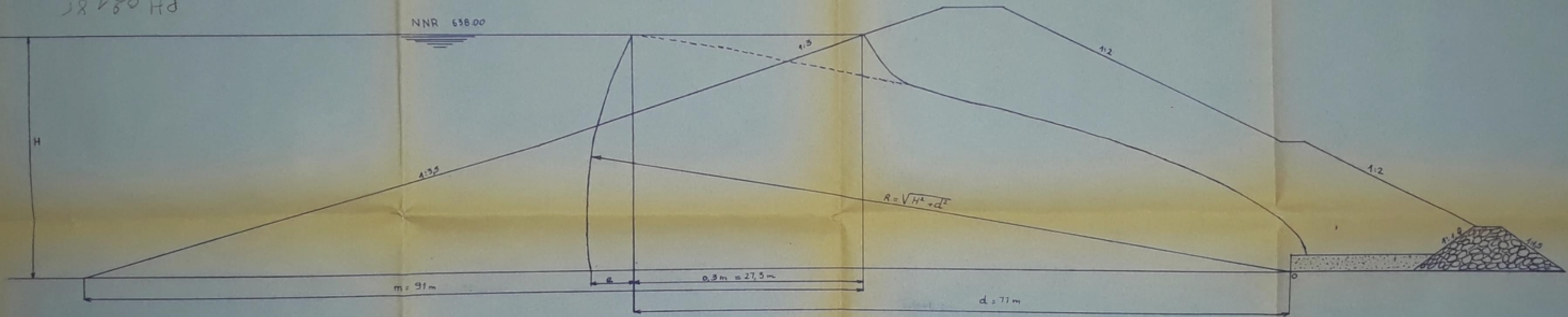
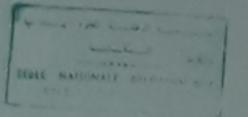


PLANCHE N° 5

AVANT-PROJET DETAILLE DU
BARRAGE FAKRA

CARTE GEOLOGIQUE

Echelle 1 / 500



PH 2185
 - 09 -

LEGENDE

QUATERNAIRE ACTUEL

- Sables, graviers avec des sables
- Limons sableux contenant des galets et graviers
- Sables et graviers
- Galets et graviers avec des agrégats limoneux
- Limons avec des galets et graviers
- Sédiments argileux digrassiers avec des limons sableux
- Limons avec des éléments anguleux
- Sédiments argileux et graviers avec des limons
- Blocs de calcaires détritiques

CENOMANIEN

- Calcaires
- Calcaires marneux-sables bréchiques
- Calcaires marneux schisteux

ALBIEN

- Marnes schisteuses
- Marnes argileuses schisteuses

$\frac{1}{100}$ / $\frac{1}{500}$ / $\frac{1}{1000}$ / $\frac{1}{2000}$ / $\frac{1}{5000}$ / $\frac{1}{10000}$
 Numérateur indique la profondeur de sondage, le dénominateur indique respectivement l'épaisseur de la direction du sondage, l'angle d'inclinaison, la cote de sondage

Axe d'axe tectonique

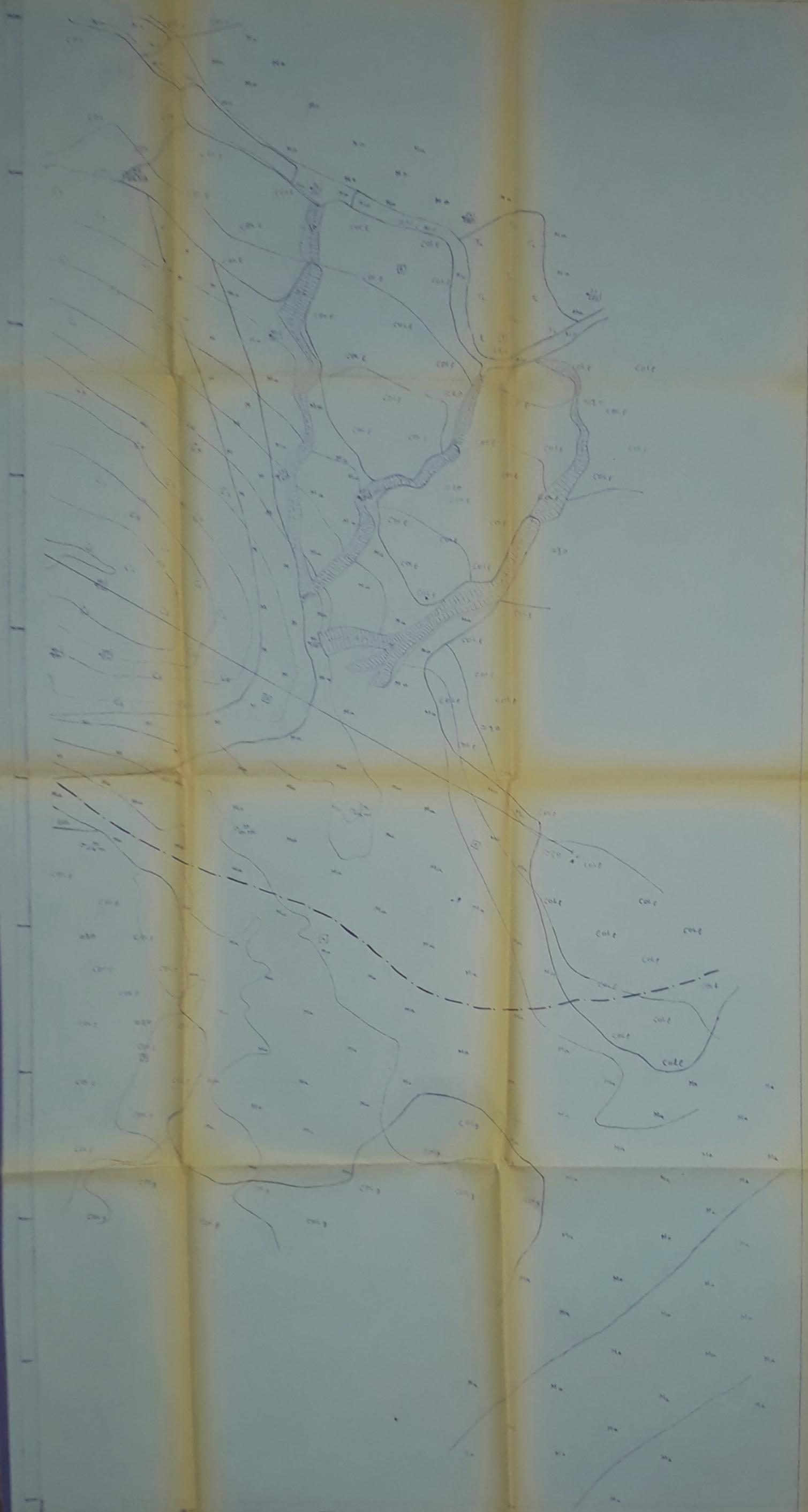
Numérateur indique l'angle de pendage de la coupe, le dénominateur - l'angle de pendage

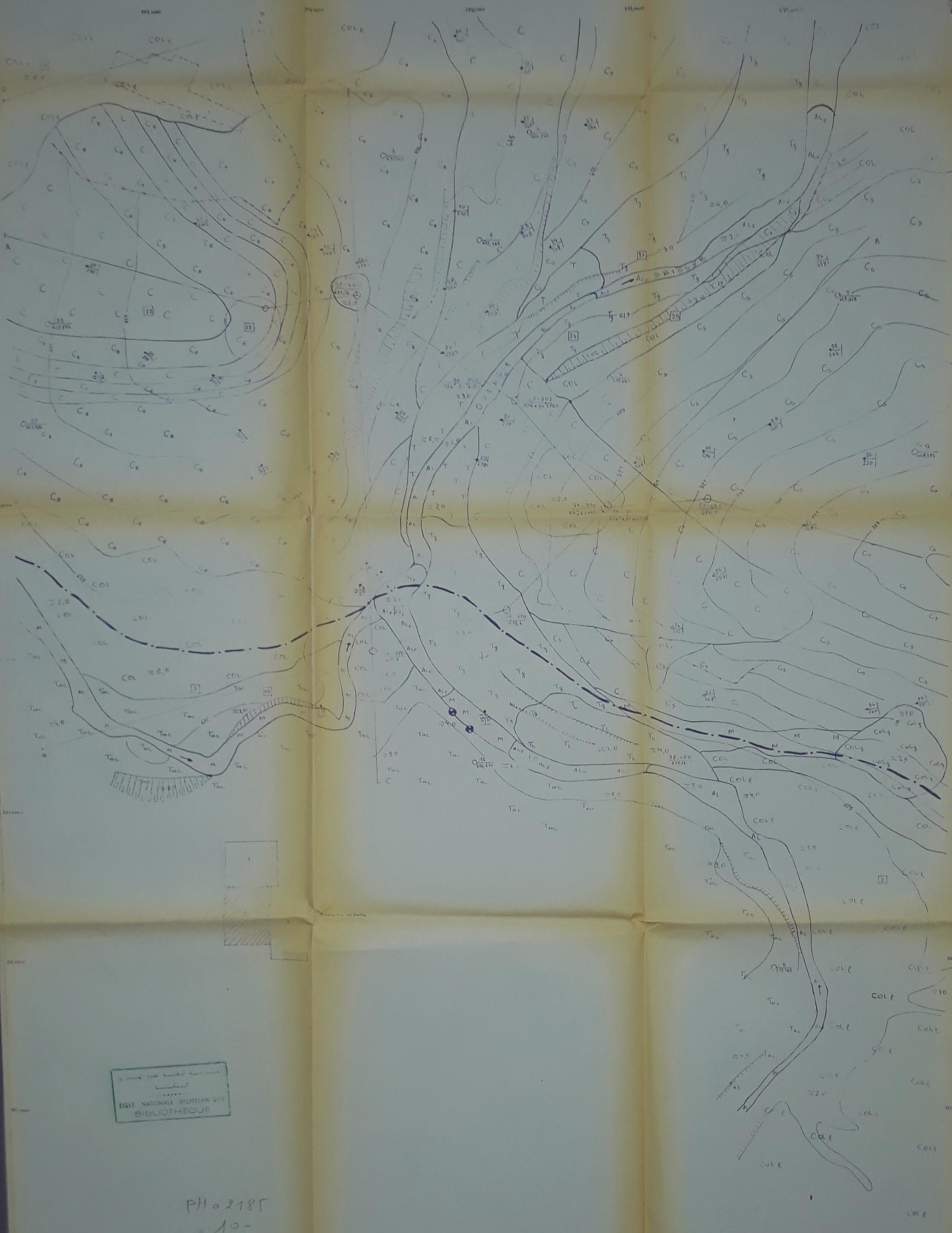
Epaisseur approximative des formations quaternaires

Puits

Contours des échantillons

Copie géologique





EGLE NATIONALE PROTECHN VIT
BIBLIOTHEQUE

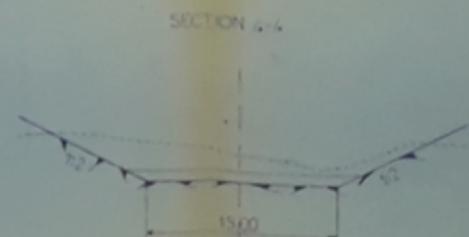
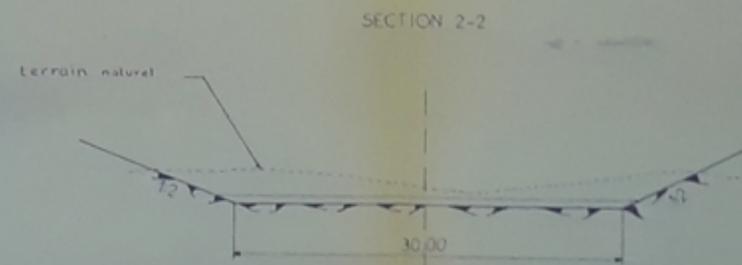
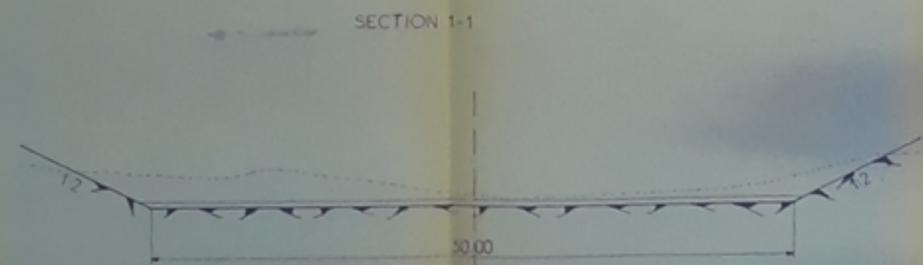
PH-2185
-10-

COUPE TYPE DE L'EVACUATEUR DE CRUE

échelle 1:200

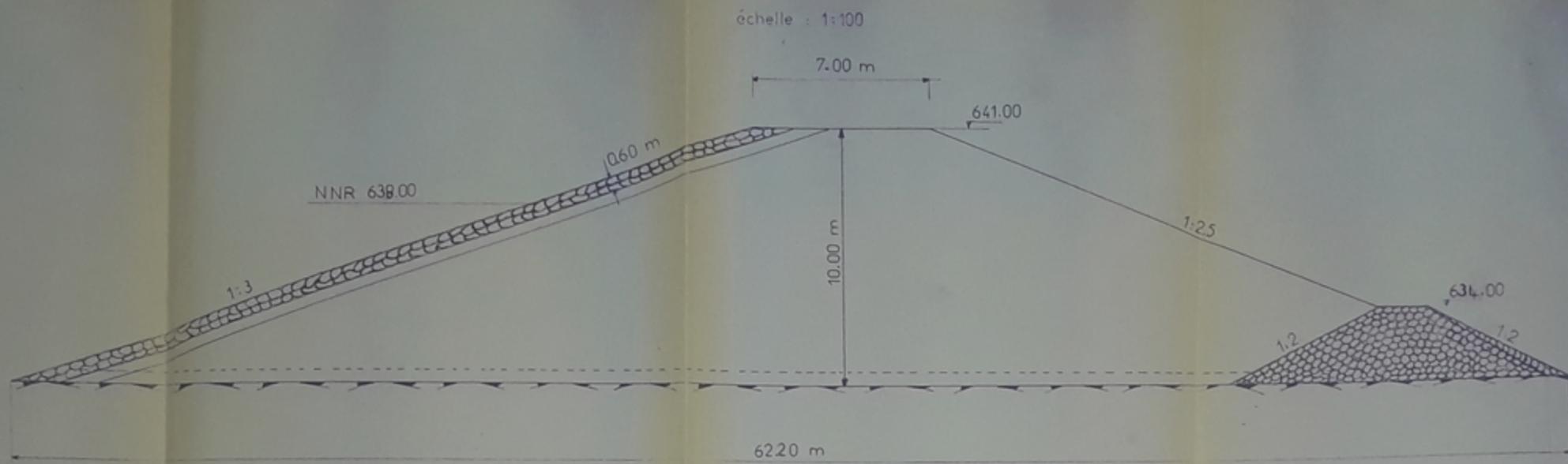


COUPES TRANSVERSALES SUR L'EVACUATEUR DE CRUE



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 PROJET DE FIN D'ETUDES
 ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE
 FARRA SUR L'OUED SBISSEB
 COUPE TYPE ET COUPES
 TRANSVERSALES DE L'EVACUATEUR
 DE CRUE
 Fait par : CHAÏ T
 BELMADDE H
 Dirigé par : M^{re} LEANG LIN HENG
 • PLANCHE N° 7

COUPE TYPE DE LA DIGUE DE COL



COUPES TRANSVERSALES DE LA DIGUE DE COL

échelle 1:200

SECTION 1-1



SECTION 2-2



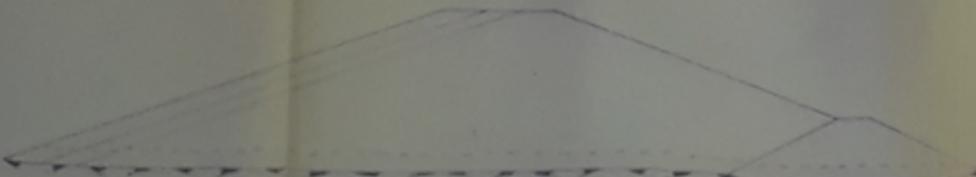
SECTION 3-3



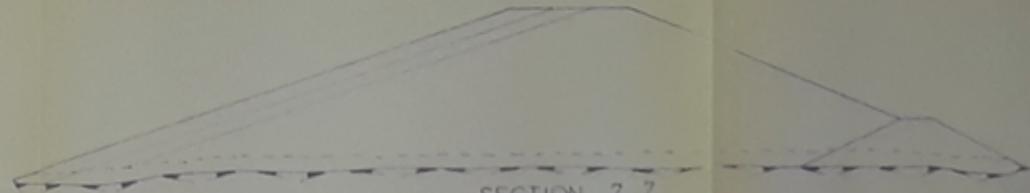
SECTION 4-4



SECTION 5-5



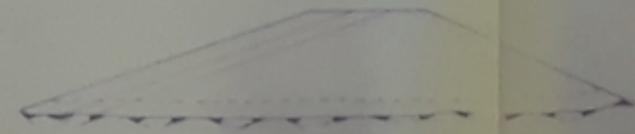
SECTION 6-6



SECTION 7-7



SECTION 8-8



SECTION 9



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
PROJET DE FIN D'ETUDES
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'INGENIERIE

ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE

FAKRA SUR L'OUED SBISSEB

COUPE TYPE DE LA DIGUE DE COL

ET COUPES TRANSVERSALES

Fait par : CHLA T.
BELHOUCHE M.

Dirigé par : M^{re} LEANG LIM HENG

PLANCHE N° 9

9/102185
13

