

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

20/80

20x

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE HYDRAULIQUE

المكتبة - المكتبة
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

S U J E T

ETUDE DE FAISABILITE D'UN BARRAGE
AU SITE HOUSNA EL MAACH
SUR OUED EL ARAB
KHENCHLA

Proposé par :

D.G.I.H

Etudié par :

AZZOUNI A.
GAMRAOUI M.

Dirigé par :

Mr Y. MOULOUDI

8 PLANCHES

PROMOTION : JUIN 1986

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المركز الوطني للدراسات والبحوث
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT : GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT

S U J E T

ETUDE DE FAISABILITE D'UN BARRAGE
AU SITE HOUSNA EL MAACH
SUR OUED EL ARAB
KHENCHLA

Proposé par :

D.G.I.H

Etudié par :

AZZOUNI A.
GAMRAOUI M.

Dirigé par :

Mr Y. MOULOUDI

PROMOTION : JUIN 1986

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à:

- * Mes chers parents pour tous les sacrifices consentis à mon égard pour que je réussisse.
- * Mes frères et soeurs.
- * Toute ma famille.
- * Zineb
- * Tous mes amis, exceptionnellement Mohamed, Sid-Ali ... (Chouhaz).

A. A. Rachid.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à:

- * Mes chers parents.
- * Toute ma famille.
- * A mon oncle M'hamed.
- * A Fariza.
- * A SAJD. B
- * A tous mes amis.

G. KRIMO.



REMERCIEMENTS

Au terme de cette modeste thèse de fin d'études, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à Monsieur Y. MOULOUDI, notre promoteur, pour sa contribution à l'élaboration de cette thèse.

Nos remerciements vont également à Monsieur HADJ, Directeur au Ministère de l'Hydraulique et Monsieur AMRANE "Ingénieur" à la D.G.T.H pour les précieux conseils qu'ils nous ont donnés.

Et à tous les Professeurs et Responsables qui ont contribué à notre formation et notre entière reconnaissance à nos amis pour leur aides à l'élaboration de ce mémoire.

Notre respect aux membres du jury qui nous feront l'honneur d'apprécier notre travail.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE

- I.1- Situation géographique et relief
- I.2- Géologie
- I.3- Sismite

CHAPITRE II : ETUDE HYDRAULOGIQUE

- II.1- Introduction
- II.2- Caractéristiques hydrologiques
- II.3- Caractéristiques des stations pluviométriques et hydro-métriques.
- II.4- Caractéristiques générales climatiques
- II.5- Précipitation du bassin
- II.6- Evaporation (et pertes par évaporation de l'eau de surface d'eau).
- II.7- Evaluation des apports liquides
- II.8- Variabilité de l'apport annuel
- II.9- Estimation des crues
- II.10- Hydrogramme de crues
- II.12- Estimation du transport solide
- II.12- Caractéristiques volumétrique de la retenue
- II.13- Détermination du volume utile
- II.14- Laminage des crues

... / ...

CHAPITRE III: ETUDE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

- III.1- Généralités
- III.2- Etude géologique du Site
- III.3- Conception du barrage
- III.4- Réseau d'écoulement
- III.5- Etude stabilité des talus

CHAPITRE IV : OUVRAGES ANNEXES

- IV.1- Dérivation provisoire
- IV.2- Evacuateur de crue
- IV.3- Vidange de fond
- IV.4- Prise d'eau
- IV.5- Nature de conduites
- IV.6- Coût - Estimation

Conclusion.

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'utilisation rationnelle des ressources en eau du territoire nationale.

La direction politique s'est engagée dans le nouveau plan quinquenal à satisfaire les besoins domestiques, agricoles et industrielles de la nation. Pour cela, de grands ouvrages hydrauliques ont été prévu, dont une grande partie a déjà été réalisé.

Parmi les ouvrages en cours d'études, il a été prévu la réalisation d'un barrage en terre "Housna El Maach" sur l'Oued-El-Anab. Le site est a proximité du village Bou El Rehman, dans le Sud-Est Algerien. Il est à 60 Km au Sud-Ouest de KHENCHELA.

Cette réalisation répondra aux besoins en eaux d'irrigation pour cette région Semi-Aride et contribuera à la mise en valeur des dizaines d'hectares de terre.

REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE

I . 1 - Situation géographique et relief

Le site du barrage projeté Housna El Maach (Ex: Bou-El-Rhemane), se trouve en amont de l'oued El Arab à 60 Km au Sud Ouest de la localité de KHENCHELA et à 25 Km au Sud Ouest de la localité de BABAR.

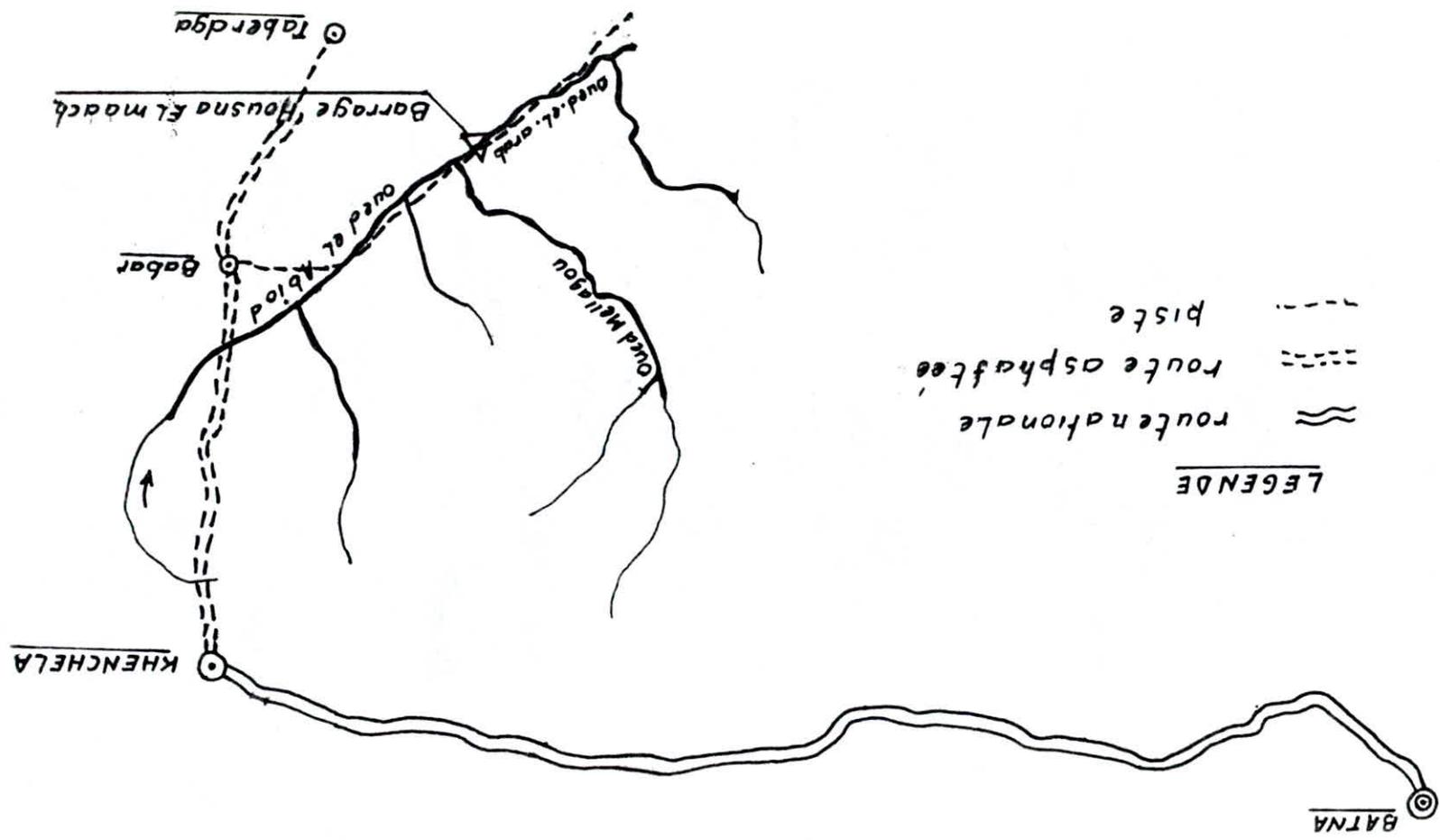
Le barrage est situé à 2 Km au Sud Ouest du confluent de l'Oued EL-ARAB avec son confluent de droite MELLAGOU. Dans la cuvette de la retenue se trouve un petit village Bou El Rhemane. Une route asphaltée relie KHENCHELA à BABAR.

BABAR est lié avec le village Bou El Rhemane par une piste difficilement praticable.

En ce qui concerne la géomorphologie de l'oued El Arab coule du Nord Est au Sud Ouest. De tous ses affluents nombreux, seul MELLAGOU, affluent de droite, ne manque jamais d'eau. Les autres sont à sec en été.

On peut subdiviser la partie explorée de la vallée de l'oued El Arab en trois sous-zones géomorphologiques qui sont:

Figure N°1



La sous-zone plate:

Englobe la partie de la rive droite de l'oued El Arab et a une zone moyennement démembrée.

Elle occupe 60% de sa cuvette.

La sous-zone a relief-collinaire:

Comprend la partie nord de la vallée où du fait de l'hétérogénéité des bancs des roches l'alternance des pentes raides et douces (10 à 15°) caractéristiques pour le relief.

La sous-zone a relief montagneux:

Occupe entièrement le versant gauche de la cuvette. Le relief y est très démembré et les pentes sont raides (de 30 à 40°).

I . 2 - Géologie:

Pour la géologie régionale, la zone explorée de l'oued El Arab est située dans la partie centrale de l'anticlinal des Hammam sur son flanc Sud Est où sont développées les roches carbonatées senoniennes et turoniennes. Dans l'anticlinal, le senonien est représenté par 3 étages:

- MAESTRICHTIEN
- CAMPANIEN
- SANTONIEN- CONJACIEN.

L'axe anticlinal des Hammam s'étend du Nord Est au Sud Ouest, sur son flanc Sud Est les roches sont orientées (Nord 50 à 70 - 20 à 26 Sud).

Pour la géologie de la cuvette, la structure est simple. On a reconnu la série géologiques et génétiques suivantes:

- SAINTONJEN- CONJACJEN
- TURONJEN
- QUATERRAINE (actuel et ancien)

I . 3 - Sismite:

D'après l'étude "Seismic HAZARD analysis of Algeria" de Christian P. MORTAGAT HARESCH . Shah 1968, la zone explorée se rapporte plutôt à la zone sismique de M'SJLA BJSKRA. La zone est traversée par une faille importante. La carte de Sismite donnée dans l'étude ci-dessus, indique que la zone de M'SJLA-BJSKRA se caractérise par une magnitude de six (06) degrés à l'échelle de RICHTER. La même magnitude est admise pour notre zone, d'ou on peut conclure que notre région est une zone sismique importante dont il faudra tenir compte pour la conception de notre barrage.

La zone sismique de M'SJLA-BJSKRA se caractérise par une magnitude de six (06) degrés à l'échelle de RICHTER. La même magnitude est admise pour notre zone, d'ou on peut conclure que notre région est une zone sismique importante dont il faudra tenir compte pour la conception de notre barrage.

Pour la géologie de la cuvette, la structure est simple. On a reconnu la série géologiques et génétiques suivantes:

- SAINTONJEN- CONJACJEN
- TURONJEN
- QUATERRAINE (actuel et ancien)

La carte de Sismite donnée dans l'étude ci-dessus, indique que la zone de M'SJLA-BJSKRA se caractérise par une magnitude de six (06) degrés à l'échelle de RICHTER. La même magnitude est admise pour notre zone, d'ou on peut conclure que notre région est une zone sismique importante dont il faudra tenir compte pour la conception de notre barrage.

D'après l'étude "Seismic HAZARD analysis of Algeria" de Christian P. MORTAGAT HARESCH . Shah 1968, la zone explorée se rapporte plutôt à la zone sismique de M'SJLA BJSKRA. La zone est traversée par une faille importante. La carte de Sismite donnée dans l'étude ci-dessus, indique que la zone de M'SJLA-BJSKRA se caractérise par une magnitude de six (06) degrés à l'échelle de RICHTER. La même magnitude est admise pour notre zone, d'ou on peut conclure que notre région est une zone sismique importante dont il faudra tenir compte pour la conception de notre barrage.

DEUXIEME CHAPITRE

ETUDE HYDROLOGIQUE

1- Introduction :

Le bassin versant de grande étendue ($S = 1362 \text{ Km}^2$) étant à l'amont de ce site Housna El Maach, on a prévu d'utiliser plusieurs méthodes et approches de calcul des paramètres nécessaires au projet d'étude de faisabilité.

L'analyse et résumé de cette étude concernent totalement ou partiellement cet aménagement, on a utilisé les résultats des mesures hydrologiques disponibles.

En établissant la présente étude hydrologique, on s'est efforcé de rechercher toutes résolutions possibles qui peuvent limiter l'utilisation rationnelle du barrage prévu au site Housna El Maach, à savoir :

- APPORTS LIQUIDES
- DEBIT SOLIDES
- CARACTERISTIQUES DES CRUES
- POSSIBILITES DE REGULARISATIONS.

II . 2 - CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES:

Le bassin de l'oued El Anab est un bassin typique de l'Afrique du nord, dans la mesure ou il est caractérisé par un réseau de drainage assez dense ($4,6 \text{ Km/Km}^2$) qui draine très rapidement des crues de forte intensité. La majeure partie du bassin versant est presque complètement déboisée.

Le coefficient de torrentialité est assez élevé $C_T = 31,1$
Le bassin étudié est relativement important $S = 1362 \text{ Km}^2$
et une forme en éventail créée par la confluence des oueds en amont du site.

II . 2.1- PARAMETRES HYDROGRAPHIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN (HOUSNA-EL-MAACHI)

- Caractéristique de forme du bassin versant:

Le coefficient de compacité est calculée d'après la formule $K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$

P: Périmètre du bassin versant

S: Surface du bassin versant

- Le rectangle équivalent:

est calculé d'après la formule

$$L = \frac{K \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{K}} \right]$$

- Indice de pente est: $P = \frac{\Delta}{L}$

= Alt 5 % - Alt 95 %

2.2 - Caractéristique du réseau hydrographique

- Densité de drainage:

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S}$$

$\sum L_i$: Somme des longueurs de tous les talwegs de la superficie du bassin versant en Km

S : Superficie du bassin versant en Km^2

- Coefficient de drainage

$$F = \frac{N}{S}$$

N : Nombre de drains suivant la classification de HORTON.

- Coefficient de torrentialité:

$$C_T = D_d \cdot F$$

- Facteur de forme:

$$R_f = \frac{L^2}{S}$$

L : longueur du talweg en Km

S : superficie du B.V en Km^2

MORPHOMETRIE DU BASSIN VERSANT

HOUSNA EL MAACH

TYPE DE PARAMETRES	SIGNE	UNITE	SITE DU BARRAGE
Superficie du bassin versant	S	Km ²	1362
Perimètre du bassin versant	P	Km	167
Coordonnées		unité LAMBERT	X= 883.6 Y= 207.5
Altitude Max	H _{max}	m	1432
Altitude Moy	H _{moy}	m	1116
Altitude Min	H _{min}	m	800
Longueur du talweg principal	L	Km	40
Rectangle équivalent			
Longueur	L _r	Km	62.52
Largeur	L _r	Km	22.14
Indice de compacité	K		1.26
Coefficient de torrentialité	C _t		31.1
Densité de drainage	D _d	Km/Km ²	4.6
Temps de concentration	T _c	Heure	14.60

2.3 TEMPS DE CONCENTRATION:

C'est le temps nécessaire à ce qu'une goutte d'eau tombant sur le point le plus défavorable hydrologiquement arrive à l'exutoire. Nous le calculons d'après la formule de GIANDOTTI.

$$T = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H}}$$

L: Longueur du talweg principal en Km

S: Superficie du bassin versant en Km²

H: Altitude moyenne par rapport à l'exutoire en m

2.4 VITESSE DE TRANSFERT:

$$V = \frac{L}{T_c} = 2,73 \text{ Km/h}$$

Donc la vitesse moyenne de transfert sera:

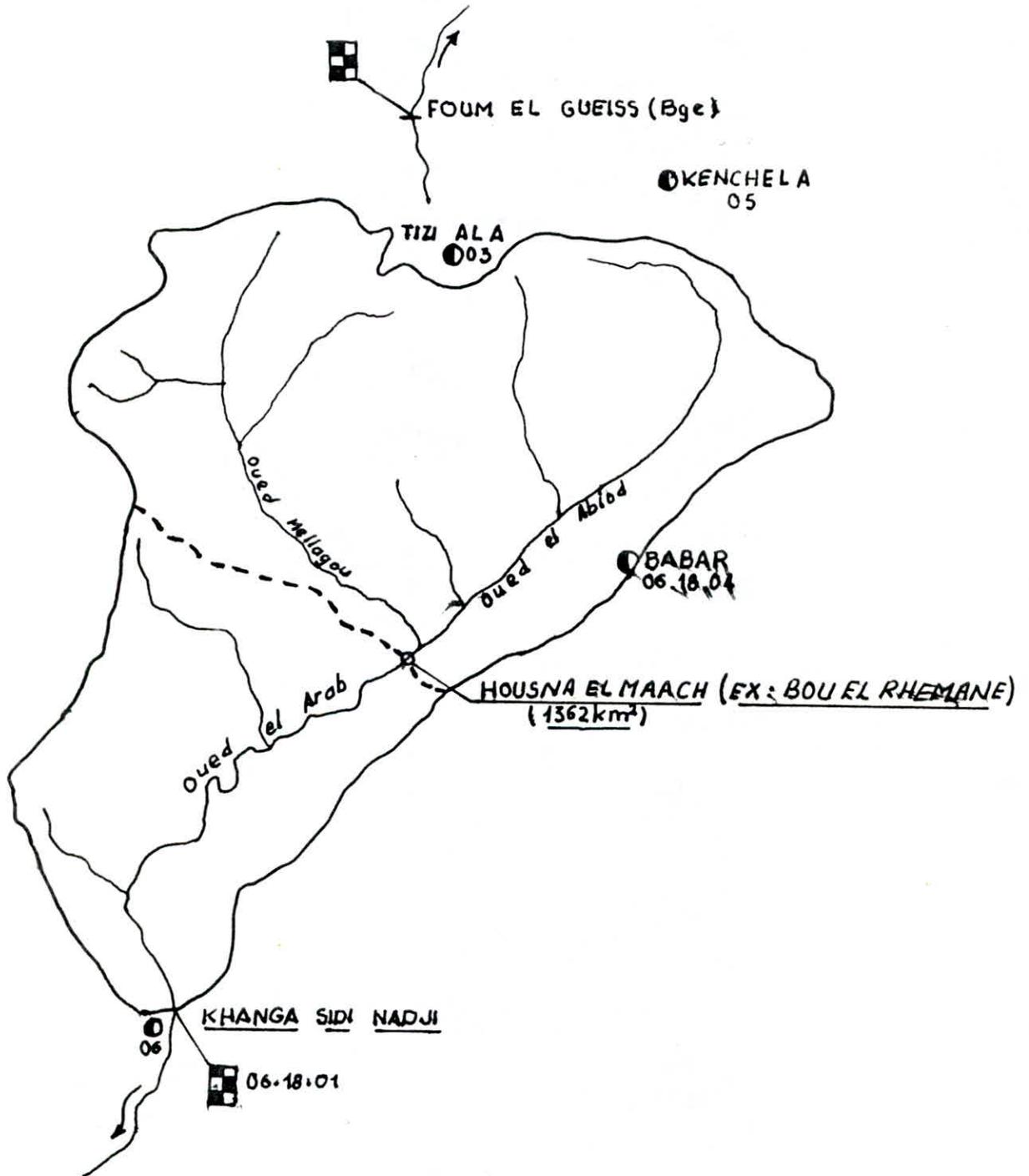
$$V = 0,76 \text{ m/s}$$

III . 3- CARACTERISTIQUES DES STATIONS PLYVIOMETRIQUES ET HYDROMETRIQUES:

STATION	CODE	ALTITUDE m. NSA	TYPE DE STATION	NOBRE D'ANNEE D'OBSERVATIONS
Khanga Sidi- Nadji	06.18.06	300	Pluviometrique	27
BABAR	06.18.04	1450	Pluviometrique	21
TJZJ-ALA	07.07.03	1345	Pluviometrique	36
Khanga Sidi Nadji	06.18.01	1105	Hydrometrique	16

BASSIN DE L'OUED EL ARAB

Echelle: 1/500.000



RIS
15.05

Figure N°2

La localisation de ces stations est illustrée sur la figure 2, qui montre que leur répartition est convenablement homogène, ce qui nous permet d'améliorer la précision de l'étude hydrologique du bassin versant.

Suivant la figure, on peut voir que l'oued El-Arab reçoit les apports de deux oueds importants. Oueds MELLAGOU et EL-ABJOD.

La zone explorée de l'oued El-Arab est située dans la partie centrale de l'anticlinal des Hammam sur son flanc Sud Est où sont développées les roches carbonatées, Senoniennes et turoniennes.

En se basant sur l'hydrologie de la cuvette de la partie explorée, montre que les roches sont généralement exemptes d'eau et sèches. On peut citer les sources qui sont alimentées pour le compte des eaux captives suspendues qui se trouvent dans les marnes altérées et les colluvions par conséquent, leurs débits varient considérablement en fonction de la saison.

II . 4- CARACTERISTIQUES GENERALES CLIMATIQUES:

Le site du barrage Housna El Maach se situe au bassin 06, est dominé par un climat de hautes plaines telliennes caractérisé par des températures moyennes comprises entre (15 et 16° C). La majeure partie du bassin appartient à

a une zone de tendance semi-aride à aride.
selon l'étude faite par (SOGETHA, SOGREAH 1969) l'hygro-
metrie de l'air varie de 65 % en hiver à 35 en été .

Les paramètres climatiques observés à la station de
TEBESSA sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

TABEAU N° 1

Paramètre	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
Température moyenne (C°)	23	16	11	7	6	7	10	14	18	23	27	26	16
Humidité relative (%)	50	57	66	67	67	63	55	46	38	41	36	39	53
Intensité de vent en dixième	18	1,9	1,9	2,8	2,0	2,3	2,1	2,1	2,1	2,0	2,1	1,7	2,0
Nombre de Sirroco	1	11	0	0	0	0	1	1	2	3	5	2	16

III .5 PRECIPITATION DU BASSIN

A partir des données disponibles et des caractéris-
tiques des précipitations, on peut dire que le
bassin du site étudié, se situe dans région moyen-
nement arrosée et étant située entre les zones à
tendance désertiques.

... / ...

5.1 UTILISATION DES CARTES PLUVIOMETRIQUES

Pour la pluie moyenne annuelle sur la retenue, nous avons d'après la carte pluviométrique de CHAUMONT avec la distribution mensuelle entre ARRIS et KHENCHELA qui ont une altitude assez voisine du site étudié.

Par contre, celle de GAUSSEN, couvrant la région, donne des valeurs surestimées pour les stations proche du site.

TABLEAU N° 2

STATION	CODE	COORDONNEES		ALTITUDE	NBRE D'OBSERVATION	
		X	Y		AN	Mois
KIANGA SJDJ-NADJ	06.18.06	866,3	175,80	300	77	324
BABAR	06.18.04	901.40	216.20	1450	21	252
TJZJ-ALA	07.07.03	887.12	241.30	1345	36	432

... / ...

TABLEAU N° 3

STATION	P selon carte de GAUSSEN	P réelle selon les mesures
KHANGA SJSJ-NADJJ	415	300.400 mm
TJZJ-ALA	600 mm	532 mm
BABAR*	400 mm	430.500 mm

TABLEAU N° 4

CARTE DE PLUVIOMETRIE	Precipitation moyenne au Site(1362Km ²)
CHAUMONT	400±450 mm
GAUSSEN	500±450 mm

La station pluviométrique la plus proche est BABAR* recouvre une période d'observation relativement courte par rapport à celle de TJZJ-ALA et KHANGA SJSJ-NADJJ.

... / ...

Selon la distribution mensuelle de BABAR est assez voisine que celle du Site étudié. On peut admettre pour l'ensemble du bassin versant, une pluviométrie moyenne sous base de la valeur arithmétique moyenne des précipitations obtenues. Donc, de l'ordre de 500 mm/an d'où on adopte la valeur de 500mm pour Housna El Maach.

II . 6 - EVAPORATION ET PERTES PAR EVAPORATION DE L'EAU DE SURFACE D'EAU

6.1- Evaporation:

La construction de la retenue d'eau exige la connaissance de l'évaporation de l'eau pour le Site Housna El Maach (ex: Bou El Rhemane).

Nous avons adopté une valeur d'évaporation annuelle de $E_0 = (2100; 2000)$ mm valeur qui correspond à l'altitude de 800m. (Voir schéma "Figure n°3")

Pour obtenir la valeur correspondante à l'évaporation sur la surface de la retenue, nous avons multiplié cette valeur par le facteur: "0.8"

$$(2150 \times 0.8) = 1720 \text{ mm/an}$$

... / ...

GRADIENT D'ÉVAPORATION MESURÉE SUR BACS DANS
LA REGION DES AURES

$$E_0 = f(H)$$

$$E = 0,8E_0$$

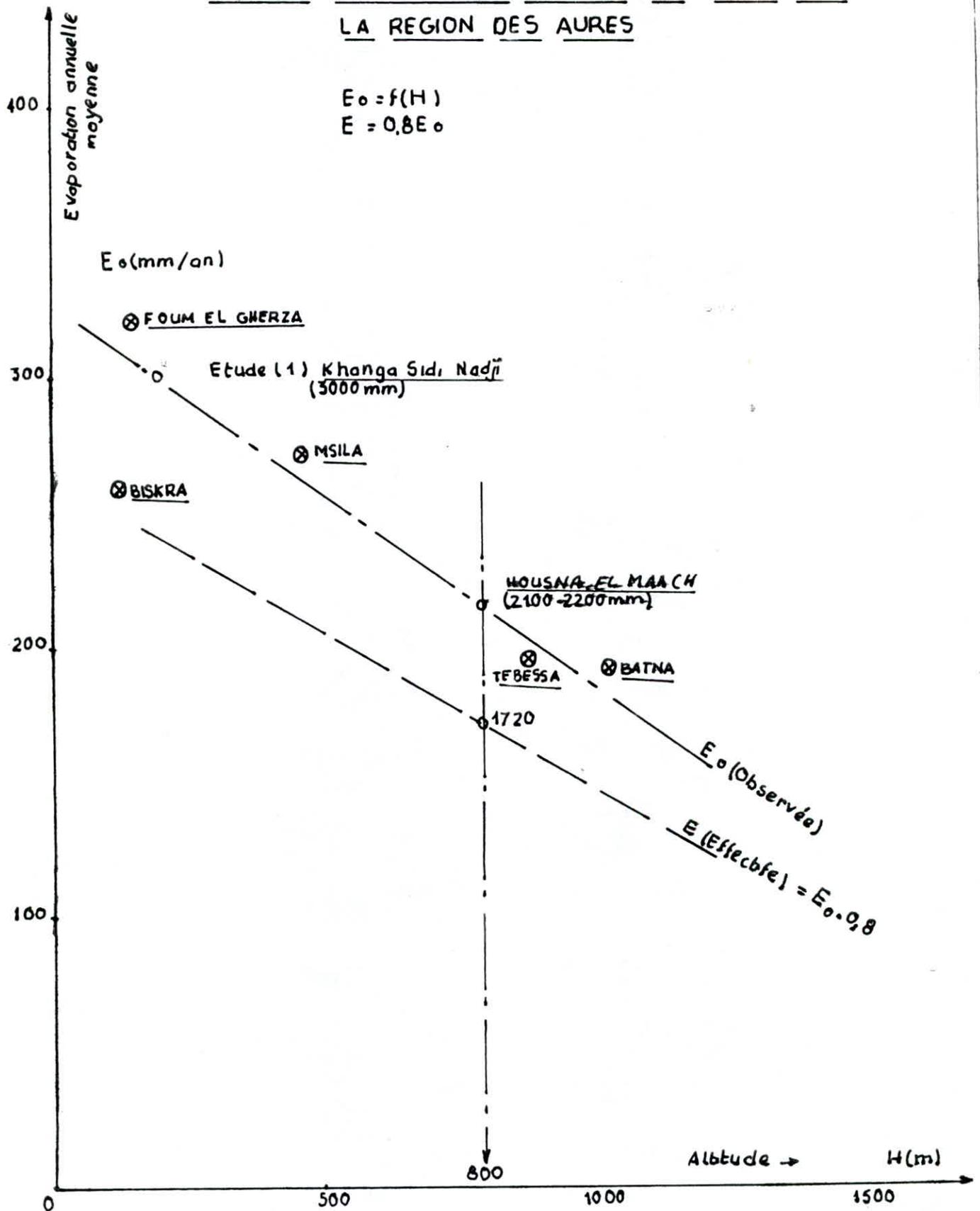


Figure N°3

On a adopté la distribution mensuelle suivante:

TABLEAU N° 5

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
E, (mm)	195	95	80	65	50	80	95	150	180	240	260	240	1720

Comme on le voit, la variation mensuelle de l'évaporation est considérable, ainsi qu'au niveau Inter-annuel.

L'évaporation a un valeur :

Maximale en juillet

Minimale en janvier.

6.2 - EVAPORATION NETTE: (E - P)

TABLEAU N° 6

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	An
E-P (mm)	160	65	40	20	10	50	50	115	140	210	250	210	1320

... / ...

II . 7 - EVALUATION DES APPORTS LIQUIDES

7.1 - Considération générale de l'apport du B.V:

Le bassin de l'oued El-Arab situé dans une région Semi-aride à aride, son apport moyen spécifique sera très faible a cause de l'irrégularité de la pluviométrie. Il varie considérablement d'une année à une autre.

L'oued El-Arab a des sources et des débits perennes, moins important et possède cinq points d'émergence directs des eaux souterraines dont quatre se trouvent dans le lit majeur de l'oued El-Arab et un dans celui de MELLAGOU.

7.2- Estimation de l'apport moyen annuel:

Pour l'estimation des paramètres de l'apport du bassin au site étudié ($S = 1362 \text{ Km}^2$, $\bar{P} = 500\text{mm}$).

On a exploité les formules empiriques permettant d'effectuer différents approches de l'apport moyen avec une précision acceptable, au niveau de l'intervalle de confiance de 90%

2. a Formule de TRUC:

$$D = \frac{\bar{P}}{(0.9 + \bar{P} / L^2)^{0.5}}$$

$$\text{ou } L = 300 + 2\sqrt{\bar{P}} + 0.005 \bar{P}^3$$

... / ...

\bar{T} : température moyenne annuelle en (C°)

\bar{D} : déficit d'écoulement en (mm)

\bar{P} : pluviométrie moyenne annuelle en (mm)

2. b- Formule dite Algérienne:

$$H = 0.6 \bar{P} \left(1 - 10^{-0.36 \bar{P}^2} \right)$$

H : hauteur de la lame écoulée en (mm)

\bar{P} : pluviométrie moyenne annuelle en (mm).

2. c- Formule de MEDJINGER:

$$H = \bar{P}^2 \left(240 - 1.4 \sqrt{S} \right)$$

H : hauteur de la lame écoulée en (mm)

\bar{P} : pluviométrie moyenne annuelle en (mm)

2. d- Formule de DERJ. J:

$$A = 0.915 (\bar{P}^{2.684}) \cdot (S)^{0.842}$$

A : apport moyen annuel en (10^6 m^3)

\bar{P} : pluviométrie moyenne en (mm)

S : superficie du bassin versant en (Km^2)

... / ...

7.3 - RECAPITULATION DES FORMULES EMPIRIQUES:

TABLEAU N°7

Méthode	Formulation	Apport moyen annuel (hm ³ /an)	lame d'eau écoulee en H en (mm)	module spécifique en (L/S/Km ²)
TURC	$H = \bar{P} - D$	60.72	44.58	1.41
Dite Algérienne	$H = 0.6 \bar{P} (1 - 10)^{0.36} P^2$	55.61	4083	1.29
MEDJINGER	$H = \bar{P}^2 (240 - 1.4) / \sqrt{S}$	64.12	47.08	1.49
DERJ. J	$\bar{A} = 0.915 (\bar{P}^{2.684}) S^{0.842}$	62.00	45.52	1.44

7.4- Référence des mesures réelles:

Pour dépasser l'incertitude découlante de l'application de ces formules empiriques qui ont des paramètres de caractères locaux.

On a exploité des informations statistiques fournies par les mesures et les observations faites sur l'oued Et-Arab ayant une seule station hydrométrique situé à l'aval de notre site au code 06.18.01 (Khangua Sidi-Nadji).

... / ...

Nous jugeons impossible de construire une nouvelle répartition sans base suffisante. Pour cela il semble logique d'utiliser une loi de répartition semblable au site de KHANGA Sidi-Nadji.

7.4- Méthode analogie:

Les bassins versants de KHANGA Sidi-Nadji et de Housna-El-Maach ont des caractéristiques hydrologique et morphologiques semblables.

Pour le bassin versant de KHANGA Sidi-Nadji avec (S_0, A_0) données on veut connaître les paramètres du bassin versant Housna-El-Maach.

On calcule le coefficient "Cp"

Où S : Superficie de bassin versant (Km^2)
 A : Apport moyen annuel (10^6 m^3)

$$\text{Avec } C_p = \frac{A_0}{(S_0)^{2/3}} \quad \text{d'ou } C_p = 0.53$$

Apport moyen annuel de Housna-El-Maach

$$A_1 = C_p \cdot S_1^{2/3} \quad \text{d'ou } A_1 = 62.06 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

La condition est valable si $0.5 \leq \frac{S_0}{S_1} \leq 2$

$$\text{d'ou } \left(\frac{S_0}{S_1} \right) = \left(\frac{2085}{7362} \right) = 1.53 \leq 2 \quad \text{donc vérifiée}$$

Donc la valeur retenue est $A = 62.06 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

... / ...

7.5- Approximation de l'apport moyen annuel:

On utilisant les données de pluie annuelle moyenne/lame écoulée relatives aux bassins voisins contrôlés hydrologiquement sont bonnes. On a établi un graphique (n°4) où les valeurs de la pluviométrie annuelle d'après la carte de GAUSSEN et les lames écoulées.

TABLEAU N° 9

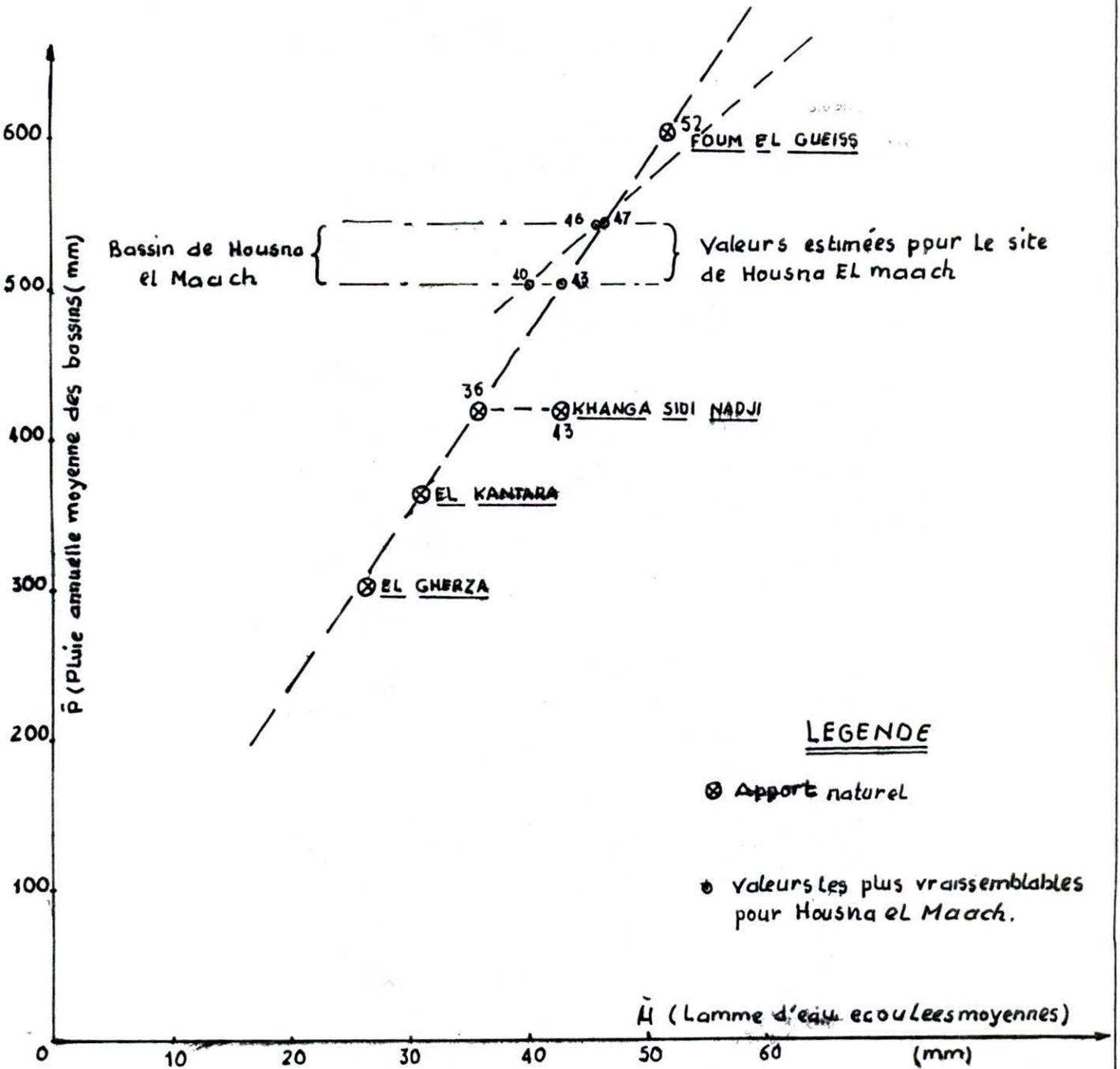
SITE	Superficie S (Km ²)	Pluviométrie \bar{P} (mm)	Lame écoulée H (mm)
Foum El-Gueiss	153	600	52
Foum El-Gherza	1324	300	26
El-Kanzara	1172	360	31
Khaga Sidi-Nadji	2085	415	26.43
Housna El Maach	1362	500-540	40-47

Tout le calcul se base sur l'hypothèse que les conditions d'écoulement sont plus ou moins les mêmes dans les différents bassins. D'après la pluviométrie adoptée de l'ordre $\bar{P} = 500$ du bassin de Housna-El-Maach. Et en fonction de l'interprétation graphique nous donnent l'apport annuel naturel de $H = 40-47$ mm/an soit $A = 55-64$ Hm/an (voir graphique n° 4).

... / ...

RÉGION DES AURES

REGRESSION: PLUIE - LAMME ECOULEE : $\bar{H}_e = f(\bar{P})$



(Figure N°4)

En conclusion, on remarque que la valeur de l'apport donnée par la moyenne arithmétique des différentes formules empiriques est sensiblement égale à celle trouvée par analogie et sur le graphique n°4.

- * Sous une approximation avec une fourchette assez large, nous adopterons cette valeur comme une moyenne pour le bassin du site de Housna El Maach de $A = 60 \text{ Hm}^3 / \text{an}$

- * La lame d'eau écoulée:

$$H = \frac{A}{S} \quad \text{avec} \quad H = 44,05 \text{ mm/an}$$

- * Module de l'apport:

$$M_0 = \frac{A}{S \cdot T} \quad (\text{US/Km}^2)$$

$$\text{OU} \quad T = 31.56 \cdot 10^6 \text{ secondes}$$

$$M_0 = 1,39 (\text{US/Km}^2)$$

7.6- REPARTITION DE L'ECOULEMENT TEMPOREL

Cette répartition a été déterminée à partir des données inter-annuelles des observations des apports mensuelles obtenues à partir du barrage de Khanga-Sidi-Nadji sur l'Oued El-Arab dont les conditions hydrologiques sont semblables.

... / ...

TABEAU N° 10

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Apport 10 ⁶ m ³	13,8	8,7	1,8	8,7	4,5	1,8	4,5	3,3	1,2	8,1	1,2	2,4
%	23	14,5	3	14,5	7,5	3	7,5	5,5	2	13,5	2	4
Apport à 180%	6,9	4,35	0,9	4,35	2,25	0,9	2,25	1,65	0,6	4,05	0,6	1,2

II . 8- VARIABILITE DE L'APPORT ANNUEL

La variabilité de l'apport est caractérisée par le coefficient de variation de l'apport annuel.

$$Cv = \sqrt{\frac{\sum (M_i - M_o)^2}{N \cdot M_o}}$$

Cv = Coefficient de variation

M_i = Débit unitaire correspondant à la i^{me} année

M_o = Débit unitaire moyen annuel

N = Nombre d'années d'observation.

Vu le manque des données d'observation pour la détermination de Cv , on peut utiliser les formules ci-dessous:

8.1- Formule de UKRIVIPRODHOZ:

$$Cv = \frac{0,70}{M_o^{0,125}}$$

... / ...

M_0 : Débit spécifique annuel ($l/s/Km^2$)

8.2! Formule de PRADOUN:

$$C_v = \frac{0.93}{M_0^{0.23}} K$$

- K : Coefficient de réduction variant entre (0,25 ÷ 1) en fonction du bassin.
pour notre cas $K = 0.60$

8.3- Formule de SKOLOVSKIJ - CHEVELEV:

Pour les régions arides et Semi-arides

$$C_v = 0.78 - 0.29 \text{ Log } M_0$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous:

TABEAU N° 11:

N°	FORMULE	C_v
1	UKRIVJIPRODHOZ	0.67
2	PRADOUN	0.51
3	SKOLOVSKIJ-CHEVELEV	0.68
Valeur moyenne adoptée		0.62

... / ...

En moyennant les trois formules, on a adopté
 $Cv = 0.62$

II, 9-1 - ESTIMATION DES CRUES

Bien que les pluviométries annuelles (bassin semi-aride) sont faibles, les averses et les crues sont violentes et provoquent des dégâts importants dans le bassin de l'Oued-El-Arab.

La hauteur annuelle moyenne de précipitation varie sur un intervalle de 400 à 540 mm, plus de 60 % du bassin reçoit 450 à 500 mm/an.

Les sols constitués de marnes et sable marneux ou argileux.

Cependant, les vallées ou les alluvions sont perméables. La végétation naturelle est clairsemée et les cultures sont assez maigres.

- Pour chiffrer les crues, on utilise les méthodes empiriques. Il semble que ces formulations ne fournissent qu'une approche des crues. En supposant une répartition de GALTON.

- Les valeurs des précipitations maximales tombées pendant l'unité de temps pour les fréquences voulues ont été déterminées par la formule suivante:

$$\bar{P}_{\%} = \frac{\bar{P}_j \text{ max}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} \cdot e^4 \sqrt{L_n(Cv^2 + 1)}$$

$\bar{P}_{\%}$ = Précipitation maximale de fréquence voulue.

$\bar{P}_j \text{ max}$ = Moyenne des précipitations maximales, pendant l'unité de temps.

$C_v = \frac{\sigma}{\bar{p}}$: coefficient de variation avec (σ : écart type).

U : Variation réduite correspondant à la probabilité P (Gauss).

- D'après les analyses et études effectuées par l'I.N.R.H sur les pluviogrammes des stations disposés dans le bassin étudié, nous a donné une pluviométrie journalière maximale

$$P_{j \max} = 73 \text{ mm}$$

Et le coefficient de variation de ces pluies, C_v est de l'ordre de 0,62 pour ce bassin au code 06.

Les précipitations journalières de différentes fréquences déterminées par la formule précédente sont représentés ci-dessous:

TABLEAU N°12:

Fréquence en (%)	01	0.5	1	2	5	10	50
Période de retour	1000	200	100	50	20	10	2
$P_{j \max}$ (mm/j)	216,31	179,20	162,64	146,77	125,83	110,17	68,20

9.2- Pluies de courtes durée:

D'après la méthode de MONTANARI, la relation entre la durée de la précipitation (T_i), et la hauteur de la pluie peut être écrite sous la forme suivante:

$$P_t(p) = P_j(p) \left(\frac{t_c}{T_i} \right)^b$$

... / ...

$P_z(p)$: Hauteur de pluie de durée t_c et de fréquence

P (mm) .

$P_4(p)$: Hauteur de pluie de 24 heures et de fréquence

P (mm).

b : Exposant climatique évalué par U.N.R.H ($b=0.32$).

TABLEAU N° 13

Fréquence en (%)	0.1	0.5	1	2	5	10
$P_z(p)$ en (mm)	184,50	152.84	138.72	125.18	107,32	93,96

9.3- CARACTERISTIQUES DES VALEURS DE PLUJE GENERATRICE:

Récapitule des résultats de calculs dans le tableau suivant pour les averses de durée inférieure à 24 heures.

... / ...

TABLEAU N° 14

durée de l'averse		pluie brutel (mm)			Déficit de la pluie (mm)	Pluie efficace (mm)			coef. de ruissellement		
H (h)	H/H ₂₄	Fréquence				Fréquence			Fréquence		
		10%	1%	0,1%		10%	1%	0,1%	10%	1%	0,1%
1	0,36	34	49,9	66,73	13,5	20,5	36,4	53,2	0.60	0.72	0.79
2	0,45	42.4	62.4	83.02	14	28.4	48.4	69.0	0.66	0.77	0.83
3	0.51	48.3	70.74	94.0	14.5	33.8	56.2	79.5	0.69	0.79	0.84
4	0.56	52.61	77.6	103.3	15	37.6	62.6	88.3	0.71	0.80	0.85
5	0.60	56.8	83.2	111.2	15.5	41.3	67.7	95.7	0.72	0.81	0.86
6	0.64	60.2	88.7	118.6	16	44.2	72.7	102.6	0.73	0.81	0.86
8	0.70	66.1	97.1	129.7	17	49.1	80.1	112.7	0,74	0,82	0,86
10	0.75	71.0	104.0	139.0	18	53	86	121	0,74	0,82	0,87
12	0.80	75.26	111.0	148.4	19	56.2	92	129.4	0,74	0,82	0,87
14	0.84	79.0	116.5	155.7	20	59	96.5	135.7	0,74	0,82	0,87
15	0.86	80.8	119.2	159.4	20.5	60.3	98.7	138.9	0,74	0,82	0,87
18	0,91	85.6	126.2	168.7	21,5	64,1	104,7	147.2	0,74	0,82	0,87
20	0.94	88.6	130.3	174,2	23	69.6	107.3	151.2	0,74	0,82	0,86
22	0.97	91.3	134.5	179.8	24	67.3	110.5	155.8	0.73	0.82	0.86
24	1.00	93.96	138.7	185.4	25	68,96	113,7	160.4	0.73	0.81	0.86

N.B: - Le coefficient de ruissellement varie en fonction de la période de retour. Pour le site étudié, il varie de (0.60 ÷ 0.87). Ce qui correspond aux expériences relatives aux bassins versants "quasi-deboisés".

... / ...

9.4- DEBIT JOURNALIER MAXIMUM:

Pour évaluer le débit journalier maximum correspondant à une fréquence voulue

4.1- Formule de SAMSE

$$Q_{\neq}^{max} = \frac{P_{\neq} \% (\neq/100) \cdot S \cdot 10^3 \cdot K_a (m^3/S)}{86400}$$

K_a : Coefficient d'amortissement de la crue ($K_a=0.80$)

S : Superficie drainée (1362 Km^2)

\neq : Coefficient de ruissellement global pour la crue.

TABLERAU N° 15:

Fréquence en (%)	\neq (%)	$P_{\neq} \% \text{ en (mm)}$	$Q_{\neq}^{max} (m^3/S)$
0.1	90	216,31	2455,11
0,5	85	179,20	1920,92
1	80	162,64	1640,85
5	75	125,83	1190,14
10	70	110,17	972,55

... / ...

4.2- Méthode de l'hydrogramme synthétique:

Cette méthode est basée sur la formule fondamentale relative à celle de l'hydrogramme unitaire.

$$Q = \frac{1}{3.6} S \cdot K_r \cdot J_t$$

S: Surface du B.V débitant au site à l'instant considéré (Km^2)

K_r : Coefficient de ruissellement.

J_t : Intensité maximale moyenne ($t_c = 14,60 \approx 15$ heures)

Le résultat trouvé est en fonction du tableau de la pluie génératrice.

TABLEAU N° 16

Fréquences (%)	Crues	Débit max (m^3/S)
10 %	Decennale	1110,25
1 %	Centennale	2041,33
0,1 %	Millenaire	3047,92

... / ...

II. 9.5- DEBITS INSTANTANES

En l'absence de données d'observation (courte durée), les formules suivantes ont été appliquées:

5.1- Formule de GIANDOTTI

$$\frac{Q_{\text{pointe}}}{Q_{\text{max}} \neq} = \frac{P_{\text{tc}} \cdot 24}{P_{\text{f}} \% \cdot \text{tc}} = K$$

TABLEAU N° 17:

Fréquence (%)	P_{tc} (mm)	$P_{\text{f}} \%$ (mm)	K	$Q_{\text{max}} (m^3/S)$	$Q_{\text{pointe}} (m^3/S)$
0.1	184,50	216,31	1,402	2455,11	3442,06
1	138,72	162,64	1,402	1640,85	2300,47
10	93,,96	110,17	1,401	972,55	1362,54

5.2- Formule de TURAZZA (méthode rationnelle):

$$Q_{\text{pointe}} (\%) = 1/3,6 \cdot C_e \cdot (P_{\text{tc}}/F_c) \cdot S \quad 1/3,6 \cdot C_e \cdot I \cdot S$$

S: Surface du bassin versant en (Km²)

C_e: Coefficient de ruissellement (0.6 ÷ 0.8)

TABLEAU N° 18

Fréquence (%)	C _e	P _{tc}	Q pointe (m ³ /S)
0.1	0.70	184,50	3346,69
1	0.65	138,72	2336,54
10	0.6	93.96	1460,88

5.3- Méthode de l'hydrogramme synthétique:

Cette méthode permet de calculer les débits de crues instantanés de différentes fréquences. Pour l'application de cette méthode, on admet les hypothèses suivantes:

- 1)- L'averse génératrice de la crue se répartit uniformément sur le B.V.
- 2)- Vitesse de transfert de la crue est constante.
- 3)- La pluie efficace peut être calculée à partir d'une réduction de pertes par rétention (déficit, évaporation, infiltration).

- Vitesse de transfert :

$$V = \frac{L}{T_c} \quad \begin{array}{l} L: \text{Longueur du talweg (Km)} \\ T_c: \text{Temps de concentration (heure)} \end{array}$$

$$V = 0.76 \text{ m/S}$$

- Intensité efficace de la pluie de durée (t) et de fréquence (p):

$$I_{\text{eff}(t), (p)} = \frac{P_{\text{max}}(t), (p) - D(t)}{t}$$

$P_{\text{max}}(t)\%$: Pluie maximale de durée (t) et de fréquence (p).

$D(t)$: Déficit de l'écoulement en fonction du temps estimé à 13,5mm pour la première heure et augmente de 0,5 mm/h qui suit.

... / ...

à la cession
- Débit maximal de crue instantané:

$$Q_{\max}(t) \% = \frac{I_{\text{eff}}(x) \% \times S_c}{3.6}$$

S_c : Surface conditionnée (Km^2)

... / ...

CALCUL DES CRUES DU B.V DE L'OUED- EL-ARAB
PAR LA METHODE DE L'HYDROGRAMME SYNTHETIQUE

TABLEAU N° 19:

Durée de l'averse (h)	Surface cond. tion- nante (Km ²)	Intensité de la pluie (mm/heure)			Débits instantanés (m ³ /S)		
		Fréquence			Fréquence		
		10 %	1 %	0,1 %	10 %	1 %	0,1 %
1	130.9	20.5	36.4	53.2	745.4	1323.5	1934.4
2	62.2	14.2	24.2	34.5	245.3	418.12	596.08
3	18.7	11.26	18.73	26.5	371.26	97.29	137.65
4	0.60	9.4	15.65	22.07	1.56	2.60	3.67
5	7.70	8.26	13.54	19.14	17.66	28.96	40.93
6	40.06	7.36	12.11	17.1	81.90	134.75	190.28
8	180.6	6.13	10.01	14.08	307.52	502.16	706.34
10	422.3	5.3	8.6	12.1	621.71	1008.8	1419.39
12	765	4.68	7.6	10.78	994.5	1615.5	2290.7
14	1208.9	4.02	6.89	9.69	1410.3	2313.7	3253.9
15	1362	4.02	6.58	9.26	1520.9	2489.4	3503.3

... / ...

RECAPITULATIF DES DEBITS INSTANTANES DONNES
PAR LES DIFFERENTES METHODES:

Les débits de crues (pointe) sont évalués par la comparaison des trois méthodes de:

- GIANDOTTI
- TURAZZA
- HYDROGRAMME SYNTHETIQUE

TABLEAU N° 20

Fréquence (%)	Q _j max (m ³ /S)	Débit de pointe (m ³ /S)		
		GIANDOTTI	TURAZZA	Hydrogramme Synthétique
0.1	2455.11	3442.06	3346.69	3503.3
1	1640.85	2300.47	2336.54	2489.4
10	972.55	1362.54	1460.88	1520.9

Les valeurs obtenues par les trois méthodes, sont assez stables. Par conséquent, on adopte les valeurs des débits de crues maximales obtenues par la méthode synthétique.

-- Pour le site Housna El Maach (ex: BCU El Rhemane)

$$Q_{max} 10\% = 1520 \text{ M}^3/\text{S}$$

$$Q_{max} 1\% = 2500 \text{ M}^3/\text{S}$$

$$Q_{max} 0.1\% = 3500 \text{ M}^3/\text{S}$$

III. 10- HYDROGRAMME DES CRUES:

L'application de la formule de SOKOLOVSKJ, permet l'établissement des hydrogrammes fréquentiels des débits de crues.

- La courbe de concentration de montée peut être exprimée par:

$$Q(t)' = Q_{\max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^m$$

$Q(t)'$: Débit à l'instant (t) en heure après le début de crue.

Q_{\max} : Débit maximale de la crue.

t_m : Temps de montée de la crue $t_m = t_c = 15$ h

m : Exposant de la parabole ($m=2$)

- La courbe de décrue a pour expression:

$$Q(t)' = Q_{\max} \left(\frac{td - t}{td} \right)^n$$

$Q(t)'$: Débit à l'instant (t') après la pointe de la crue

td : Durée de décrue (ou de baisse) $td = 30$ h

n : Exposant de la courbe ($n=3$)

Voir tableau (coordonnées de l'hydrogramme)

... / ..

TABLEAU N° 21

t (h)	Q_i / Q_{max}	Q 0.1% (m ³ /S)	Q 1 % (m ³ /S)	Q 10 % (m ³ /S)
1	0.004	14	10	6.08
2	0.017	59.5	42.5	25.84
3	0.040	140	100	60.8
4	0.071	248.5	177.5	107.92
5	0.110	385	275	167.2
6	0.16	560	400	243.2
7	0.21	735	525	319.2
8	0.28	980	700	425.6
9	0.36	1260	900	547.2
10	0.44	1540	1100	668.8
11	0.53	1855	1325	805.6
12	0.64	2240	1600	972.8
13	0.75	2625	1875	1140
14	0.87	3045	2175	1322.4
15	1.00	3500	2500	1520
16	0.81	2835	2025	1231.2
17	0.65	2275	1625	988
18	0.51	1789	1275	775.2
19	0.39	1362	975	592.8
20	0.29	1015	725	440.8

... / ...

TABLEAU N° 21 (suite)

21	0.21	735	525	319.2
22	0.15	525	345	228
23	0.10	360	250	152
24	0.064	224	160	97.28
25	0.037	129.5	92.5	56.24
26	0.018	63	45	27.36
27	0.008	28	20	12.16
28	0.0023	8.05	5.75	3.49
29	0.0002	0.7	0.5	0.304
30	0.000	0.000	0.000	0.000

10.2 - Volume des crues fréquentielles:

Une fois l'hydrogramme des crues tracés, on peut calculer directement les volumes d'écoulement fréquents.

$$V 1\% = 159 \text{ Mm}^3$$

$$V 10\% = 135 \text{ Mm}^3$$

$$V 0.1\% = 82.08 \text{ Mm}^3$$

Nb: On peut aussi calculer les volumes des crues d'après les précipitations journalières maximales correspondantes au temps de concentration "t c".

... / ...

TABLEAU N° 21

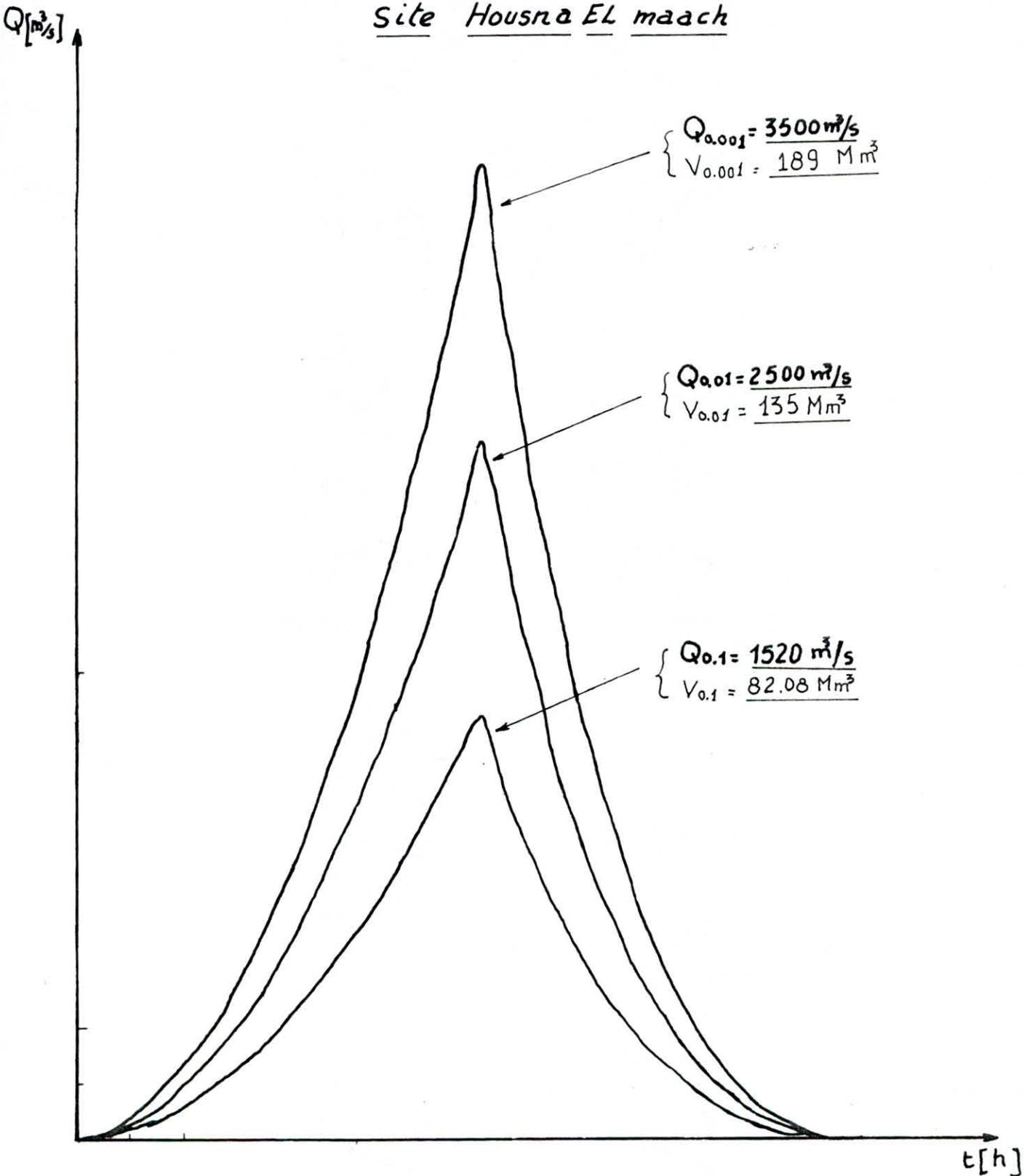
t (h)	Q/U Q_{max}	Q 0.1% (m ³ /S)	Q 1 % (m ³ /S)	Q 10 % (m ³ /S)
1	0.004	14	10	6.08
2	0.017	59.5	42.5	25.84
3	0.040	140	100	60.8
4	0.071	248.5	177.5	107.92
5	0.110	385	275	167.2
6	0.16	560	400	243.2
7	0.21	735	525	319.2
8	0.28	980	700	425.6
9	0.36	1260	900	547.2
10	0.44	1540	1100	668.8
11	0.53	1855	1325	805.6
12	0.64	2240	1600	972.8
13	0.75	2625	1875	1140
14	0.87	3045	2175	1322.4
15	1.00	3500	2500	1520
16	0.81	2835	2025	1231.2
17	0.65	2275	1625	988
18	0.51	1789	1275	775.2
19	0.39	1362	975	592.8
20	0.29	1015	725	440.8

... / ...

HYDROGRAMME DE CRUE

Oued. EL Arab

Site Housna EL maach



Echelle : Horizontal : 1 cm \rightarrow 2h
Vertical : 1 cm \rightarrow 200 m^3/s

II. 11 - ESTIMATION DU TRANSPORT SOLIDE

Pour notre cas où le relief est particulièrement dégradé, mais la matière première du débit solide est l'érosion continentale où la désagregation de toutes ses formes du sol par des agents atmosphérique.

Les matériaux arrachés au sol par l'érosion finissent par atteindre le réseau hydrographique.

La surface conditionnant d'abrasion et suite l'envasement de la cuvette est grande dans le cas du barrage de Housna-El-Maach ($S = 1362 \text{ Km}^2$).

Selon l'observation des lits des Oueds a montré que le transport des éléments fins ainsi que le charriage, d'où le taux d'abrasion est de $300 \text{ t/Km}^2/\text{an}$, nous semble acceptable qui fait partie de la 2ème classe pour 1362 Km^2 un % de (35%), avec une érosion modérée à forte caractérisée par l'érosion pluviale, lessivage, le ruissellement diffus et concentré. Il est estimé sur la base de la formule de TIXERONT.

$$T_a = a \cdot R^{0.15}$$

T_a : Taux d'abrasion en tonne/ Km^2/an

R : Lamé d'eau ruissellée en (mm)

a : Coeff; empirique qui varie en fonction de la perméabilité du terrain

$$T_a = 300 \text{ t/Km}^2/\text{an}$$

Cela correspond à un volume moyen de transport total

$$T_S = 1362 \times 300 = 0.41 \text{ millio. t/an} = 0.4 \text{ Hm}^3/\text{an}$$

... / ...

La garde du volume d'envasement pour une période d'exploitation de 30 ans sera: $30 \times 0,4 \text{ m}^3 + 20 \%$

L'évolution de l'envasement sera donnée par la valeur du volume mort:

$$V_m = 12 \text{ m}^3 \pm V_m = \frac{T_a \cdot T \cdot S}{\gamma}$$

T_a : Taux d'abrasion ($t/\text{Km}^2/\text{an}$)

T : Temps de fonctionnement (années)

S : Surface du B.V (Km^2)

γ : Poids spécifique (t/m^3)

$$V_m = 12 \text{ Hr} \cdot 3 + 20 \%$$

$$V_m = 12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

- La hauteur correspondante au volume mort sera de:

$$V_m \longrightarrow h_{vm} = 19.2 \text{ m}$$

- D'ou le niveau du volume mort sera de:

$$N_{V_m} = 800 + 19,2 = 819,2 \text{ m}$$

II. 12- CARACTERISTIQUE VOLUMETRIQUE DE LA RETENUE

- Variation du volume et de la surface en fonction de la hauteur.
- Les surfaces correspondantes à chaque altitude, sont déterminées par planimétrie: " Ω_{pi} "
- Les surfaces élémentaires correspondantes à chaque couche sont:

$$\Omega_{ei} = \frac{2}{3} \Omega_{pi}$$

$$\Omega_{ei+1} = \frac{\Omega_{pi} - \Omega_{pi+1}}{2}$$

- Les volumes élémentaires sont obtenus par:

$$\Delta V_i = \Omega_{ei} \cdot \Delta H_i$$

$$\Delta V_{i+1} = \Omega_{ei+1} \cdot \Delta H_{i+1}$$

: Différence de côtes entre deux courbes de niveau.

Le volume retenu par chaque couche est déterminé par:

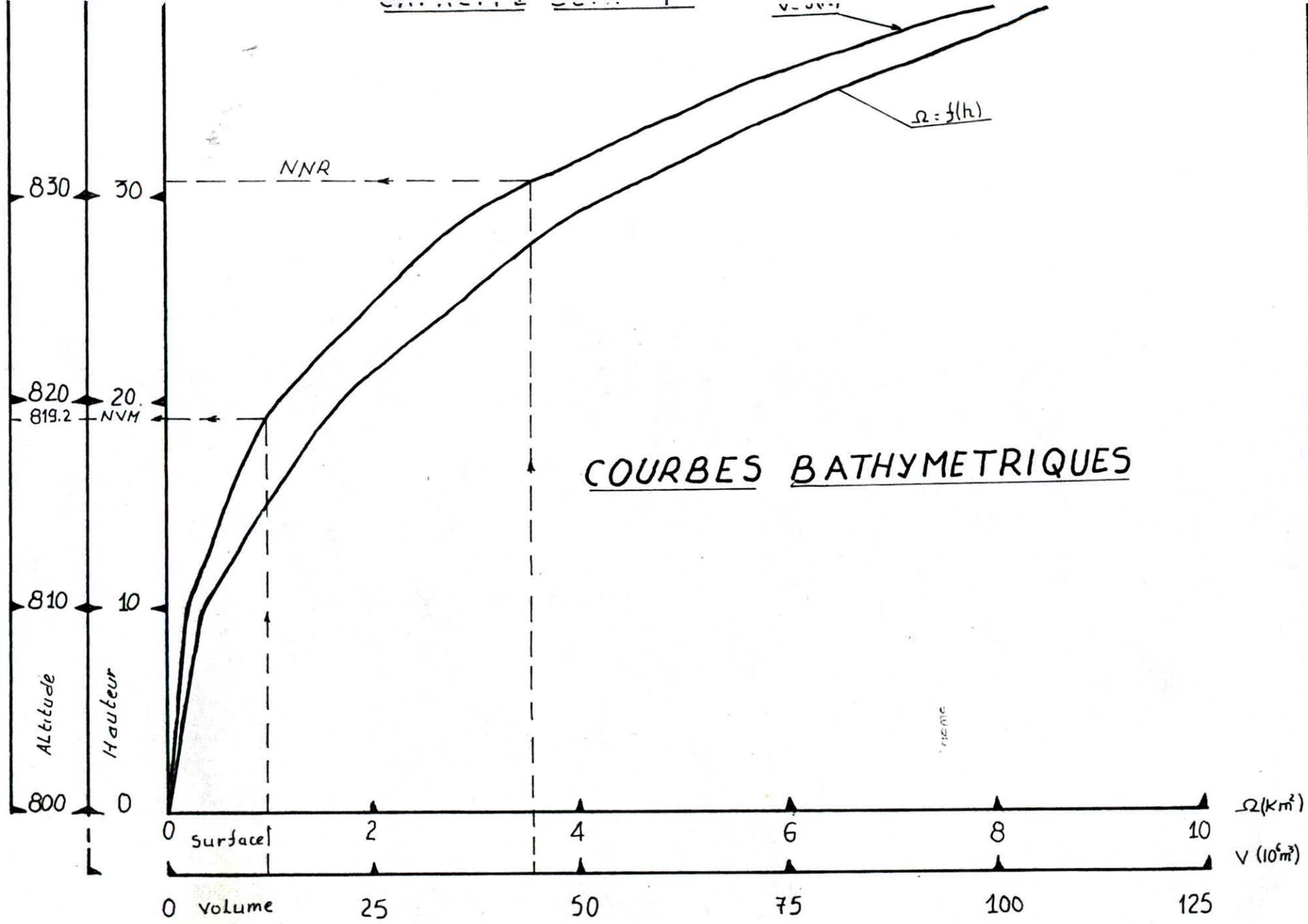
$$\Delta V = \Delta V_i + \Delta V_{i+1}$$

TABEAU 1.° 22

Côte (m)	Hauteur (m)	SURFACE (Km ²)		h(m)	VOLUME (10 ⁶ m ³)		
		Ω_p *	Ω_e		Indice (i)	V_i	V_n *
800	0.00	0.00	0.226	0.00	1	2.66	0.00
810	10.00	0.34	1.005	10.00	2	10.05	2.66
820	20.00	1.67	2.98	10.00	3	29.8	12,71
830	30.00	4.30	6.58	10.00	4	65,8	42,51
840	40.00	8.87		10.00	5		108.31

... / ...

- 39. P. -



COURBES BATHYMETRIQUES

Altitude

Hauteur

0 surface

2

4

6

8

10

Ω (km^2)

0 volume

25

50

75

100

125

V (10^6m^3)

$\Omega = f(h)$

NNR

30

830

20

820

819.2

NVM

10

810

800

II. 13- DETERMINATION DU VOLUME UTILE

Le barrage de Housna El Maach (ex: Bou El Rhemane) est destiné au besoin spécifique d'irrigation qui se trouve pour la plus part en aval du site étudié. L'estimation sur la consommation est comprise dans la fourchette de 5.10 Hm³. On a adopté la valeur de 8 Hm³ pour nos calculs. Mais l'irregularité de la consommation est inverse. Elle est plus grande durant les années sèches. Les analyses récentes, approchent mieux les valeurs naturelles, donc, cette valeur peut être utilisée comme base d'une régularisation.

TABLÉAU N° 25

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	an
% de la demande	7,2	4,7	4,5	2,9	3,0	4,2	8,4	10,7	11,7	15,6	17,5	9,6	100

Pour l'exactitude de la valeur du volume utile, on a utilisé les méthodes suivantes:

- a. méthode de dimensionnement.
- b. méthode analytique de régularisation.

13.1- Détermination des surfaces immergées:

En se basant sur la courbe "capacité-surface"

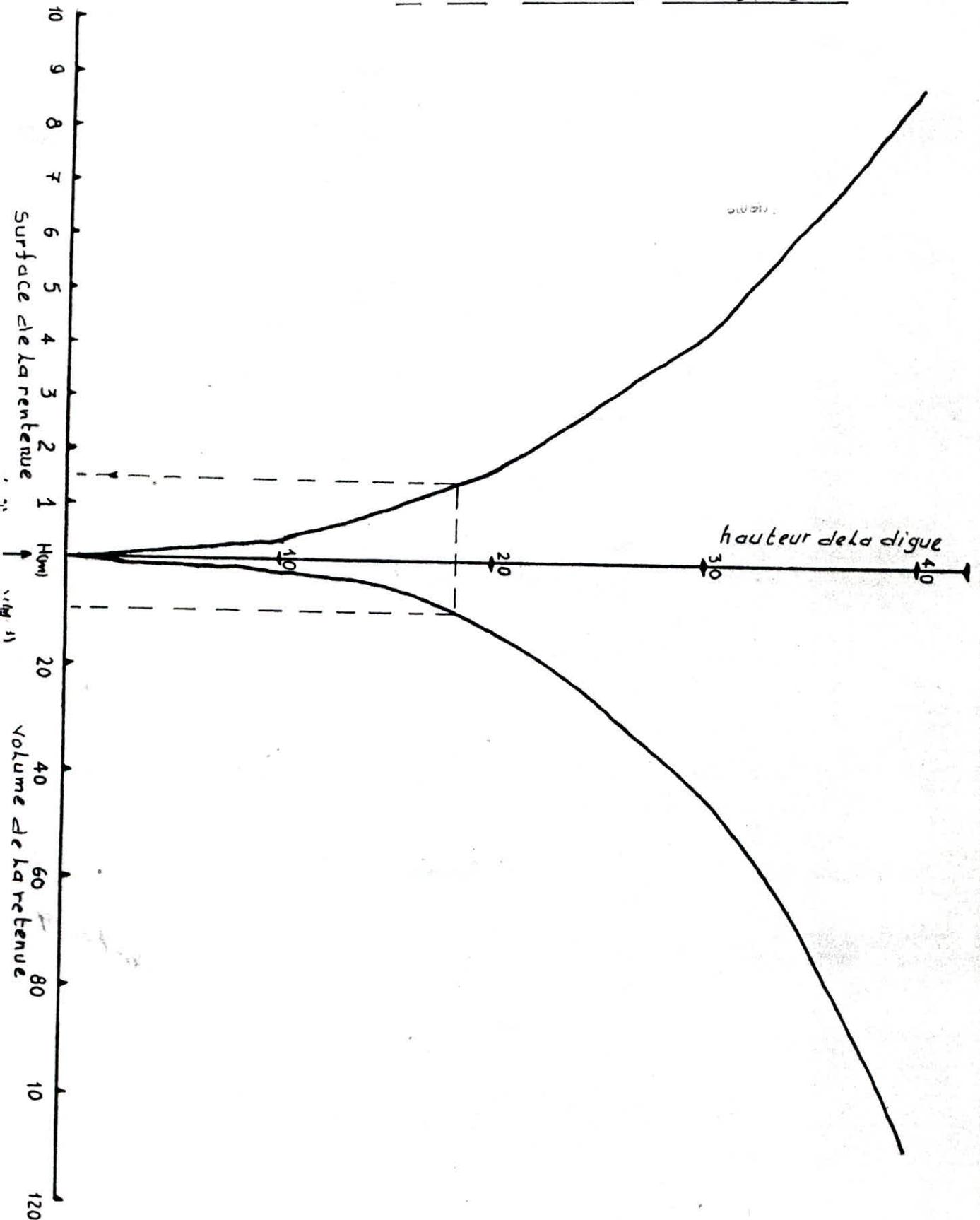
- ou:
- h: Hauteur de la digue (m)
 - S: Surface immergée (Km²)
 - V: Volume de la retenue (10⁶ m³)

... / ...

METHODE GRAPHIQUE

DETERMINATION

DE LA SURFACE INNONDEE



A partir des apports mensuelles cumulé graphiquement, on obtient des surfaces partielles inondées mensuelles (voir graphel).

DONNEES DE BASE: TABLEAU N° 26

MOIS	Apport 10^6 m^3	Evaporation (mm)	Infiltration (mm)	Consommation 10^6 m^3
S	13,8	160	20,5	0,57
O	8,7	65	21,5	0,37
N	1,8	40	18,3	0,36
D	8,7	20	19,7	0,23
J	4,5	10	18,3	0,24
F	1,8	50	21,3	0,35
M	4,5	50	20,3	0,67
A	3,3	115	18,7	0,85
M	1,2	140	11	0,93
J	8,1	210	10,05	1,24
J	1,2	250	25	1,40
A	2,4	210	20,3	0,76

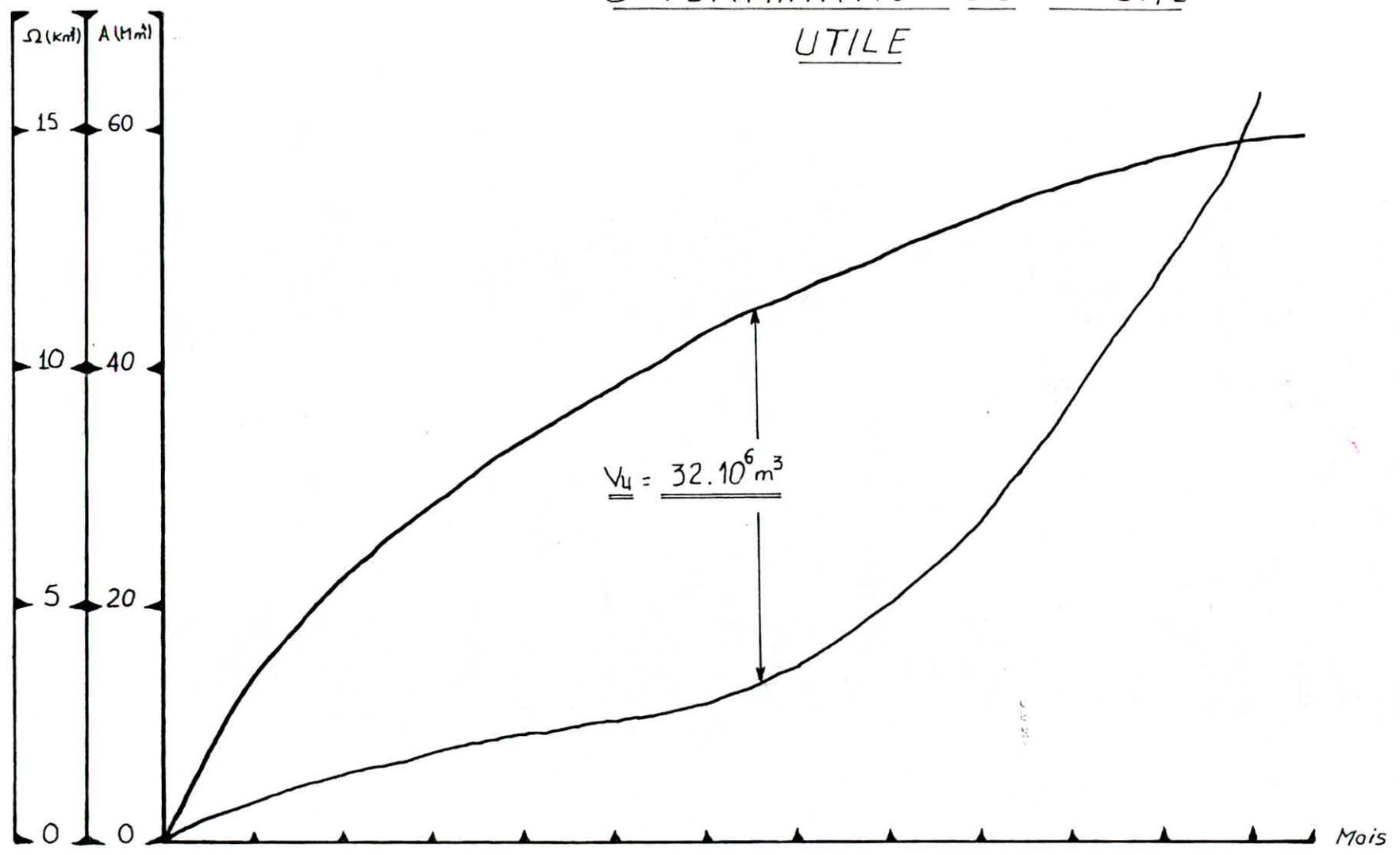
13.2- Méthode de dimensionnement: (voir graphique)

... / ...

METHODE DE DIMENSIONNEMENT

DETERMINATION DU VOLUME

UTILE



Echelle :

<u>Horizontal</u> :	1,5 cm → 1 Mois
<u>Vertical</u> :	A : 2 cm → 10 . Mm ³ .
	Ω : 4 cm → 5 . Km ²

- 41.9 -

13.3- Méthode de régularisation:

La régularisation a été faite à plusieurs taux et ce pour évaluer le taux optimal et prévoir la variation du niveau d'eau pendant l'année en fonction des besoins. Les taux auxquels on a procédé sont (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95,) %.

Les calculs sont sous forme de tableaux.

** PROCEDE DE CAL UL:

* Taux de régularisation: $T_x = 60\%$

- Apport utilisable = $A \cdot T_x = 60 \cdot 10^6 \times 60/100 = 36 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

- Volume utilisé par hectare = $0,45 \times 184 \times 24 \times 3600 = 7.154 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

- Avec 0,45 dose d'irrigation (US/ha)

- Surface irriguée: $S_i = \frac{\text{App. Util}}{V. \text{ Util/ha}} = \frac{36 \cdot 10^6}{7.154 \cdot 10^3} = 5032 \text{ ha}$

- Volume des besoins pour l'irrigation:

$$V_b = \frac{\text{App. Util}}{12} = \frac{36 \cdot 10^6}{12} = 12 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

* Taux de régularisation: $T_x = 65 \%$

Apport utilisable: $0,65 \times 60 \cdot 10^6 = 39 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

$V \text{ uti/ha} = 7,154 \cdot 10^3 \text{ m}^3$

$S_i = 5451 \text{ ha}$

$V_b = 3,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$

... / ...

* Taux utilisable:

* Taux de régularisation: $T_x = 70 \%$

$$\text{Apport utilisable: } 0,70 \times 60.10^6 = 42.10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{util/ha}} = 7,154.10^3 \text{ m}^3$$

$$S_i = 5870 \text{ ha}$$

$$V_b = 3,5.10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

* Taux de régularisation: 75%

$$\text{Apport utilisable} = 45.10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{util/ha}} = 7,154.10^3 \text{ m}^3$$

$$S_i = 6290 \text{ ha}$$

$$V_{\text{besoin}} = 3,75.10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

* Taux de régularisation: 80%

$$\text{Apport utilisable} = 48.10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{util/ha}} = 7,154.10^3 \text{ m}^3$$

$$S_i = 6709 \text{ ha}$$

$$V_{\text{besoin}} = 4.10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

* Taux de régularisation: 85%

$$\text{Apport utilisable} = 51.10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{util/ha}} = 7,154.10^3 \text{ m}^3$$

$$S_i = 7128 \text{ ha}$$

$$V_{\text{besoin}} = 4,25.10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

... / ...

* Taux de régularisation: 90 %

$$\text{Apport utilisable} = 54 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{util}} / \text{ha} = 7,154 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$S_i = 7548 \text{ ha}$$

$$V_{\text{besoin}} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

* Taux de régularisation: 95 %

$$\text{Apport utilisable} = 57 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{util}} / \text{ha} = 7,54 \cdot 10^3 \text{ m}^3$$

$$S_i = 7967 \text{ ha}$$

$$V_{\text{besoin}} = 4,75 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{mois}$$

Nb: Les besoins pour l'irrigation ont été échelonnés sur 12 mois, et cela à cause de l'irrégularité de la consommation, qui est plus grande durant les années sèches.

... / ...

$$\text{TAUX } 60\% = V. \text{ Utilisable par mois} = \frac{60 \times 60}{12 \times 100} = 3 \text{ Mm}^3$$

MOIS	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infilt. (Mm ³)	C V. Consum- ation (Mm ³)	consommation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V. app. (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13,8	1,7	160	20,5	0,27	0,034	0,57	0,87	3,00	9,93	21,93
O	8,7	2,6	65	21,5	0,16	0,055	0,37	0,58	3,00	5,12	27,05
N	1,8	2,8	40	18,3	0,11	0,051	0,36	0,52	3,00	-1,72	25,33
D	8,7	3,5	20	19,7	0,07	0,068	0,23	0,36	3,00	5,34	30,67
J	4,5	3,8	10	18,3	0,03	0,069	0,24	0,33	3,00	1,17	31,84
F	1,8	4,2	50	21,3	0,21	0,086	0,35	0,62	3,00	-1,82	30,02
M	4,5	4,4	50	20,5	0,22	0,090	0,67	0,98	3,00	0,52	30,54
A	3,3	4,7	115	18,7	0,54	0,087	0,85	1,47	3,00	-1,17	29,37
M	1,2	4,8	140	11	0,67	0,052	0,93	1,65	3,00	-3,45	25,92
J	8,1	5,45	210	10,05	1,14	0,054	1,24	2,43	3,00	2,67	28,59
J	1,2	5,5	250	25	1,37	0,140	1,40	2,91	3,00	-4,71	23,88
A	2,4	5,8	210	20,3	1,21	0,117	0,76	2,08	3,00	- 2,68	21,2

$$\text{TAUX } 65 \% = V. \text{ Utilisable par mois} = \frac{65 \times 60}{12 \times 100} = 3.25 \text{ Mm}^3$$

n° OBS.	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infiltr. (Mm ³)	C V. Consom- nation (Mm ³)	consommation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V. app. (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.234	0.57	0.87	3.25	9.68	21.68
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	3.25	4.87	26.55
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	3.25	-1.97	24.58
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.23	0.36	3.25	5.09	29.67
J	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	3.25	0.92	30.59 ^x
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.35	0.62	3.25	-2.07	28.52
M	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	3.25	0.27	28.79
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	3.25	-1.42	27.37
M	1.2	4.8	140	11	0.67	0.052	0.93	1.65	3.25	-3.7	23.67
J	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	3.25	2.42	26.09
J	1.2	5.5	250	25	1.37	0.140	1.40	2.91	3.25	-4.96	21.13
A	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	2.25	-2.93	18.2 ^x

$$\text{TAUX DE REGULARISATION 70 \%} = \frac{70 \times 60}{12 \times 100} = 3.5 \text{ Mm3}$$

NOIS	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm3)	B V. infiltr (Mm3)	C V. Consom- ation (Mm3)	consomation A+B+C (Mm3)	V. besoin (Mm3)	V. app. (Mm3)	V. fin du mois (Mm3)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.034	0.57	0.87	3.5	9.43	21.43
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	3.5	4.62	26.05
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	3.5	-2.22	23.83
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.23	0.36	3.5	4.84	28.67
J	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	3.5	0.67	29.34 ^x
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.35	0.62	3.5	-2.32	27.02
M	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	3.5	0.02	27.04
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	3.5	-1.67	25.37
M	1.2	1.2	140	11	0.67	0.092	0.93	1.65	3.5	-3.95	21.42
J	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	3.5	2.17	23.59
J	1.2	5.5	250	25	1.37	0.140	1.40	2.91	3.5	-5.21	18.38
A	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	3.5	-3.18	15.2 ^x

$$\text{TAUX DE REGULARISATION 75 \%} = \frac{60 \times 75}{12 \times 100} = 3,75 \text{ Mm}^3$$

100S	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infilt. (Mm ³)	C V. Consom- nation (Mm ³)	consommation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V. app.: (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.034	0.57	0.87	3.75	9.18	21.18
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	3.75	4.37	25.55
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	3.75	-2.47	23.08
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.23	0.36	3.75	4.59	27.67
J	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	3.75	0.42	28.09
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.35	0.62	3.75	-2.57	25.52
m	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	3.75	-0.23	25.29
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	3.75	-1.92	23.27
m	1.2	4.8	140	11	0.67	0.052	0.93	1.65	3.75	-1.4	19.17
J	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	3.75	1.92	21.09
J	1.2	5.5	250	25	1.37	0.140	1.40	2.91	3.75	-5.46	15.63
A	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	3.75	-3.43	12.20

$$\text{TAUX DE REGULARISATION } 80 \% = \frac{60 \times 80}{12 \times 100} = 4 \text{ Mm}^3$$

100S	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infiltr (Mm ³)	C V. Consom- mation (Mm ³)	consommation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V. app. (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.034	0.57	0.87	4.00	8.93	20.93
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	4.00	4.12	25.05
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	4.00	-2.72	22.33
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.23	0.36	4.00	4.34	26.67
J	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	4.00	0.17	26.84
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.35	0.62	4.00	-2.82	24.02
n	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	4.00	-0.48	23.54
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	4.00	-2.17	21.37
n	1.2	4.8	140	11	0.67	0.052	0.93	1.65	4.00	-4.45	16.92
J	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	4.00	1.67	18.59
J	1.2	5.5	250	25	1.37	0.140	1.40	2.91	4.00	-5.71	12.88
i	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	4.00	-3.68	9.2

$$\text{TAUX DE REGULARISATION } 85 \% = \frac{60 \times 85}{12 \times 100} = 4.25 \text{ (Volume utilisable par mois)}$$

ONS	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infilt. (Mm ³)	C V. Consom- ation (Mm ³)	consommation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V _{app.} (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.034	0.57	0.87	4.25	8.68	20.68
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	4.25	3.87	24.55
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	4.25	-2.97	21.58
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.23	0.36	4.25	4.09	25.67
g	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	4.25	+0.08	25.59
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.35	0.62	4.25	-3.07	22.52
m	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	4.25	-0.73	21.79
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	4.25	-2.42	19.37
m	1.2	4.8	140	11	0.67	0.057	0.93	1.65	4.25	-4.7	14.67
g	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	4.25	1.42	16.09
g	1.2	5.5	250	25	1.27	0.140	1.40	2.91	4.25	-5.96	10.13
4	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	4.25	+3.93	6.2

$$\text{Taux de régularisation } 90 \% = \frac{60 \times 90}{12 \times 100} = 4,5 \text{ Mm}^3$$

MOIS	Apport (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evaporation (mm)	Infiltration (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infilt. (Mm ³)	C V. Consom- ation (Mm ³)	consomation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V. app. (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.034	0.57	0.87	4.5	8.43	20.43
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	4.5	3.62	24.05
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	4.5	-3.22	20.83
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.023	0.36	4.5	3.84	24.67
J	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	4.5	-0.33	24.34
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.35	0.62	4.5	-3.32	21.02
m	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	4.5	-0.98	20.04
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	4.5	-2.67	17.37
m	1.2	4.8	140	11	0.67	0.052	0.93	1.65	4.5	-4.95	12.42
J	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	4.5	1.17	13.59
J	1.2	5.6	250	25	1.37	0.140	1.40	2.91	4.5	-6.21	7.38
A	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	4.5	-4.18	3.2

$$\text{TAUX DE REGULARISATION 95 \%} = \frac{60 \times 95}{12 \times 100} = 4.75 \text{ Mm}^3$$

100S	Appont (Mm ³)	Surface (Km ²)	Evapora- tion (mm)	Infiltra- tion (mm)	A V. evapt (Mm ³)	B V. infilt. (Mm ³)	C V. Consom- nation (Mm ³)	consomation A+B+C (Mm ³)	V. besoin (Mm ³)	V. app. (Mm ³)	V. fin du mois (Mm ³)
S	13.8	1.7	160	20.5	0.27	0.034	0.57	0.87	4.75	8.18	20.18
O	8.7	2.6	65	21.5	0.16	0.055	0.37	0.58	4.75	3.37	23.55
N	1.8	2.8	40	18.3	0.11	0.051	0.36	0.52	4.75	-3.47	20.08
D	8.7	3.5	20	19.7	0.07	0.068	0.23	0.36	4.75	3.59	23.67
J	4.5	3.8	10	18.3	0.03	0.069	0.24	0.33	4.75	-0.58	23.09
F	1.8	4.2	50	21.3	0.21	0.086	0.33	0.62	4.75	-3.57	19.52
m	4.5	4.4	50	20.5	0.22	0.090	0.67	0.98	4.75	+1.23	18.29
A	3.3	4.7	115	18.7	0.54	0.087	0.85	1.47	4.75	-2.92	15.37
m	1.2	4.8	140	11	0.67	0.052	0.93	1.65	4.75	-5.2	10.17
J	8.1	5.45	210	10.05	1.14	0.054	1.24	2.43	4.75	0.92	11.09
J	1.2	5.6	250	25	1.37	0.140	1.4	2.91	4.75	-6.46	4.63
A	2.4	5.8	210	20.3	1.21	0.117	0.76	2.08	4.75	-4.43	0.20

L'interprétation graphique de cette variation nous permet de trouver le taux optimal de régularisation ainsi que le volume utile avec :

$$Tx = 75,2 \% \text{ d'où } V_{\text{util}} = 31,84 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Récapitulation des méthodes:

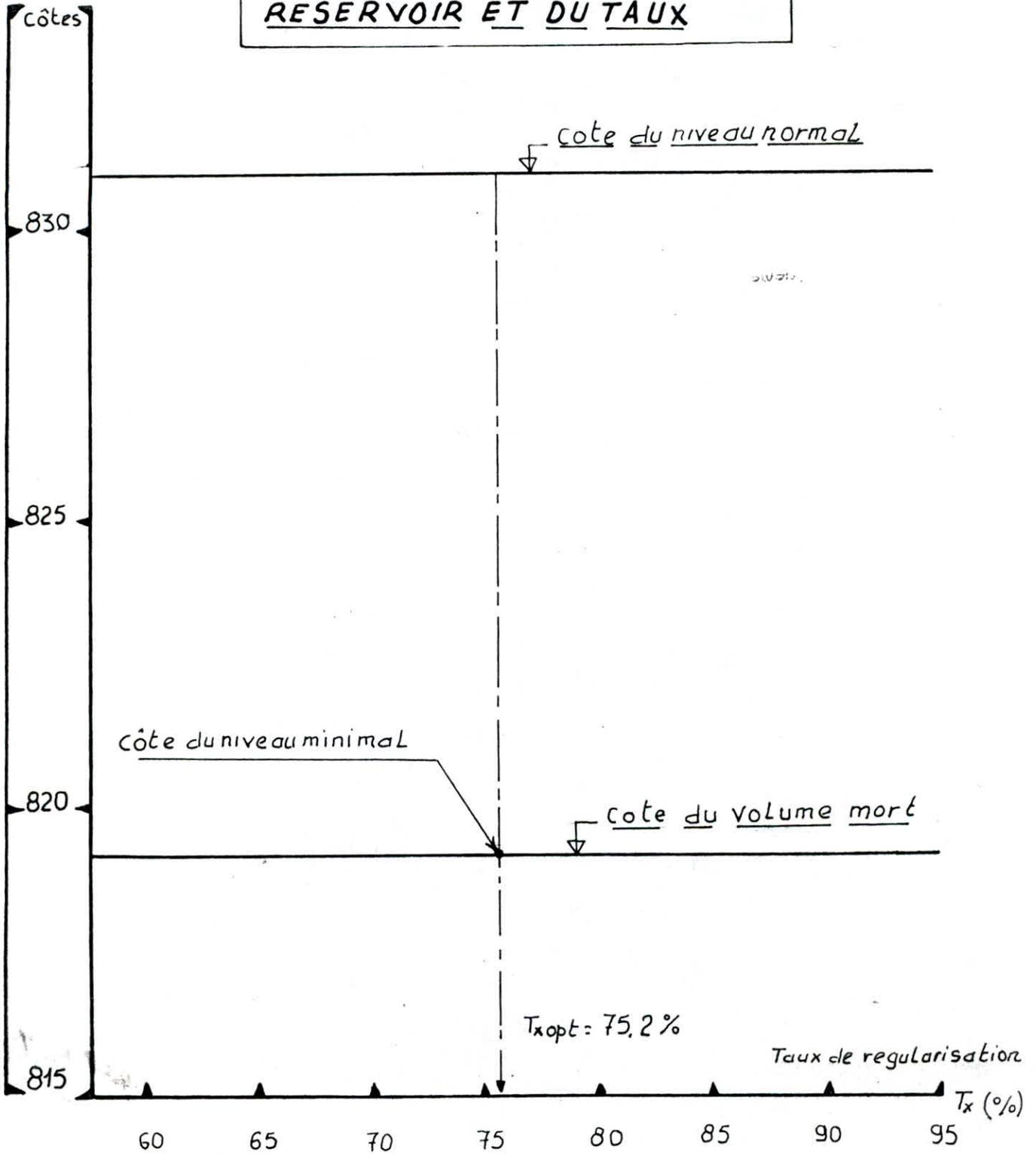
METHODE	DIMENSIONNEMENT	ANALYTIQUE REGULARISATION.
V_{util}	$32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$31,84 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

La valeur adoptée du volume utile = $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Niveau normal de la retenue est:

$NNR = 831 \text{ m}$ qui correspond à $V_u = 32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

COURBE DE REGULARISATION
EN FONCTION DE LA COTE DU
RESERVOIR ET DU TAUX



Echelle: Horizontal: 1 cm → 2,5 %
vertical: 1 cm → 1 m

II. 14 - LAMINAGE DES CRUES:

Le but du laminage de crue est d'assurer la sécurité des ouvrages contre la submersion par des crues très importantes. Pour cela, on envisage la construction d'un évacuateur de crue pour se prémunir contre ces conséquences catastrophiques.

14.1- Choix de la crue du projet:

Pour une meilleure sécurité, on considère le cas correspondant à la crue de fréquence millénaire qui est de l'ordre $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ et ce pour protéger la digue contre des crues exceptionnelles.

14.2- Détermination de la hauteur de la lame déversante et la longueur du deversoir:

2. a - Méthode de CREAGER

Cette méthode consiste à tracer le volume en fonction de la hauteur du deversoir $V=f(h)$ à partir du niveau normal de la retenue, ainsi que les courbes $V + \frac{\Delta V}{2}$ et $V - \frac{\Delta V}{2}$ avec une longueur de deversoir choisie, ensuite, on trace la courbe du débit laminaire en fonction des hauteurs de déversement $Q_d = f(h_d)$.

Le débit déversé est:

$$Q = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H_d^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

L : Longueur du deversoir

$m = 0,5$ coefficient de correction du débit ($m = 0,4 + 0,5$)

H_d : Hauteur de la lame déversante (m)

Q : Débit sortant ou débit déversé.

*NB Le débit déversé est calculé sur un intervalle de temps de 1 heure.

... / ...

TABLEAU N° 28

$h \text{ d}_{(m)}$	$Q_d \text{ (m}^3/\text{S)}$	$Q \frac{d}{2} \text{ (m}^3/\text{S)}$	$\Delta V = \frac{Qd}{2} \cdot \Delta t$ (10^6 m^3)
0.5	117.39	58.69	0.212
1	332.09	166.01	0.597
1.5	609.99	304.99	1.09
2	939.14	469.57	1.69
2.5	1312.5	656.25	2.36
3	1725.32	862.66	3.10
3.5	2174.15	1087.07	3.91

TABLEAU N° 29

Q (m ³ /S)	$\frac{\Delta V}{2} = \frac{Q_i + Q_{i+1} \cdot \Delta t}{2}$ (10 ⁶ m ³)	h d (m)	Q d (m ³ /S)
14	0.1323	0.05	3.7
59.5	0.3591	0.16	21.25
140	0.6993	0.31	57.31
248.5	1.14	0.5	117.39
385	1.701	0.70	194.46
560	2.33	0.97	322.07
735	3.087	1.27	421.69
980	4.032	1.60	672
1260	5.04	2.08	690.64
1540	6.11	2.26	1128.11
1855	7.37	2.67	1448.62
2240	8.757	3.11	1821.96
2625	10.206	3.3	1990.0
3045	11.78	3.25	1945.42
3500	11.40	3.03	1751.27
2835	9.198	2.87	1614.4
2275	7.308	2.61	1400.00
1785	5.664	2.26	1128.11

... / ...

SUITE TABLEAU N° 29

1362	4.278	1.98	925.09
1015	3.15	1.65	703.74
735	2.268	1.36	526.62
525	1.575	1.13	398.84
350	1.033	0.90	283.50
224	0.636	0.70	194.46
129.5	0.436	0.50	117.39
63	0.163	0.37	74.72
28	0.063	0.16	21.25
8.05	0.0157		
0.7	0.0012		
0			

Resultat obtenu suivant Le graphe (voir planche N° 1)

$$H_d = 3.3 \text{ m}$$

$$Q_d = 1990.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

CHAPITRE III
ETUDE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

III. 1. - Généralités :

La conception d'un barrage est basée avant tout sur la connaissance géologique et topographique du site.

Pour faciliter le choix et le dimensionnement du barrage, il faut connaître les caractéristiques géotechniques des divers matériaux constituant la recharge de l'ouvrage.

III. 2. - Etude Géologique du site

Au niveau du centre du site, on remarque l'existence d'alluvions sur une longueur de 100m et d'une épaisseur de (6 - 7)m. Tandis que les rives droite et gauche sont occupées par des colluvions qui sont représentés à gauche par des limons ou argiles avec graviers et à droite par des galets, graviers et blocs avec des sables. Leur épaisseur est de 6m et leur longueur s'étend de (100 - 110).

La roche mère est représentée par des marnes gris foncé orientées N 65 - 23 S. On remarque aussi l'existence des calcaires résistants et de calcaires marneux.

2.1. Permeabilité

La permeabilité du site est liée à la roche mère constituée de marnes. Par leur résistance importante et leur grande imperméabilité, ils constituent une bonne assise.

2.2. Stabilité du bassin versant :

Les glissements mettant en cause la stabilité des rives n'ont pas été reconnus sur les versants. Cela s'explique par le fait que les versants sont constitués de roches exemptes d'eau et donc sèches.

Aucune zone d'accident tectonique n'a été relevée lors de l'étude ; d'où nous pouvons conclure qu'on a une bonne stabilité des rives et aucun accident pour compromettre notre construction.

2.3. Choix du type du barrage

La structure géologique ainsi que les conditions géomorphologiques du site et de la cuvette sont telles que seul un barrage en terre est possible. Donc nous proposons la solution d'un barrage inhomogène avec le noyau argilo-limoneux.

2.4. CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DES MATERIAUX

4. a. Matériaux de recharge : ALLUVIONS

densité sèche.....	1.70 g/cm ³
densité saturée.....	1.95 g/cm ³
poids spécifique.....	2.25 g/cm ³
angle de frottement interne.....	31°
cohésion.....	0.10 kg/cm ²
permeabilité.....	10 ⁻⁶ cm/S

b. Matériaux du noyau étanche : ARGILE LIMONEUX

Densité sèche	2.19 g/cm ³
densité saturée.....	1.75 g/cm ³
poids spécifique.....	2.4 g/cm ³
angle de frottement interne.....	22°
Cohésion.....	10 Kpa
permeabilité.....	10 ⁻⁹ cm/S

c. Nature de l'assise : MARNES.GRIS.FONCE

densité sèche.....	1.84 g/cm ³
densité saturée.....	2.1 g/cm ³
poids spécifique.....	2.6 g/cm ³
angle de frottement interne.....	20°
cohésion.....	(0.3-0.5) kg/cm ²
permeabilité	10 ⁻¹⁰ cm/S

2.5. Zone d'emprunt

Dans la zone explorée, on trouve toutes les variétés de roches et de sols nécessaires pour la construction du barrage. Les matériaux de construction sont disponibles à 2 km du site choisi. Pour les transporter on pourra utiliser le réseau routier existant.

III. 3. - CONCEPTION DU BARRAGE

3.1. Dimensionnement de la digue

La hauteur du barrage sera prise en fonction du niveau maximal du volume de la retenue (N.M.R) majorée d'une hauteur de sécurité dans laquelle sera incluse la revanche.

Un décapage de 3,7 m est prévu pour avoir une assise constituée de marnes gris foncé.

3.2. Détermination de la revanche

La revanche constitue une sécurité contre le balancement du plan d'eau ainsi que la propagation et la hauteur des vagues.

Formules utilisées pour le calcul de la revanche :

a. Formule de STEVENSON

$$R = 0.75 hv + \frac{v^2}{2g} \quad (\text{m})$$

hv = hauteur des vagues

$$hv = 0.76 + 0.032 \sqrt{W.F} - 0.26 \sqrt[4]{F}$$

W = Vitesse du vent maximale (W = 28 m/s)

V = Vitesse des vagues (m/s)

$$V = 1,5 + 2 hv$$

b. Formule de MALLET ET PACQUANT

$$R = hv + \frac{v^2}{2g} + a$$

$$hv = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \sqrt{F}$$

F : Longueur du plan d'eau ou Fetch

a : Coefficient de sécurité

Pour des vagues comprises entre (0.5 - 2)m

on a que a = 0.5

$$V = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} hv$$

c. Formule simplifiée :

$$R = 1 + 0.3 F$$

F : Fetch (Km) , Pour notre cas (F = 1.5 Km)

Résultat de l'application numérique

Tableau N° 37

Formule	revanche (m)
STEVENSON	1,18
MALLET ET PACQUANT	1,62
Simplifiée	1,36

On adoptera donc une valeur de $R = 1,5$ m

3.3. Détermination de la hauteur du barrage

La hauteur du barrage est déterminée par la relation suivante

$$H_b = H_c + H_e$$

H_e : Hauteur escavée ($H_e = 3,7$ m)

H_c : Hauteur de couronnement du barrage

$$H_c = H + H_d + H_s$$

H : Hauteur correspondant au niveau normal de la retenue.

H_d : Hauteur deversée

H_s : Hauteur de sécurité

$$H_s = R + 1,5 \quad R : \text{revanche} = 1,5 \text{ m}$$

Tout calcul fait on obtien

$$H_c = 37,3 \text{ m}$$

d'où on déduit la hauteur du barrage

$$H_b = 41 \text{ m}$$

3.4. Longueur en crête du barrage

La longueur en crête du barrage est mesurée sur le plan d'échelle 1/1000, nous donne :

$$L = 650 \text{ m}$$

3.5. Largeur en crête du barrage

La largeur en crête du barrage doit être suffisamment large pour éviter toute infiltration lors de la retenue pleine et aussi pour permettre la circulation d'engins lors des travaux d'entretien.

On a appliqué 2 formules pour son évaluation

a. Formule de KNAPPEN

$$bc = 1,65 \sqrt{Hb}$$

bc : Largeur en crête du barrage (m)

Hb : Hauteur du barrage (m)

b. Formule E.F. PREECE

$$bc = 1,1 \sqrt{Hb + 1}$$

Tableau N° 38

Methode	KNAPPEN	E.F. PREECE	Valeur Moyenne	Valeur adoptée
Bc (m)	10,56	8,04	9,3	10,00

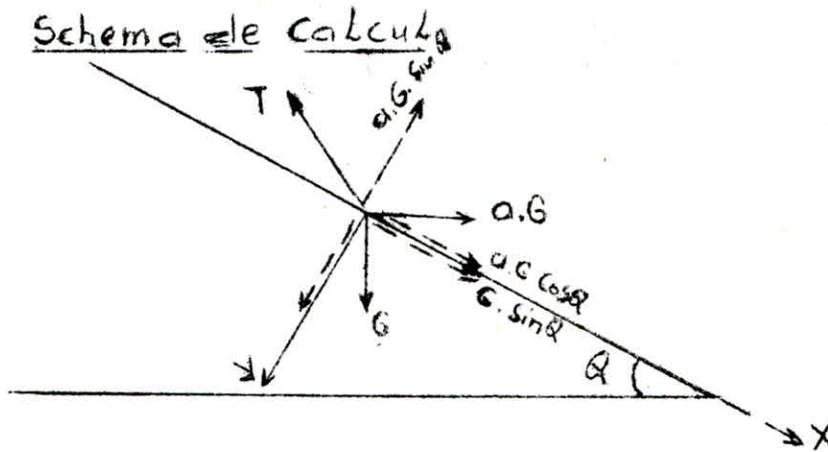
3.6. Risberme

Pour contribuer à la stabilité du barrage et pour servir de passage, un risberme de 4 m a été prévu à l'aval de notre ouvrage et à la côte 821.

3.7. PENTES DES TALUS

* Procédé Pseudo-statique

Ce procédé repose sur l'étude de la stabilité d'une particule de masse "m" ($G = m.g$), sur un plan incliné d'angle α .



* Inventaire des forces

- suivant l'axe des "x"

$$F_x = G (\sin \alpha + a \cos \alpha)$$

- suivant l'axe des "y"

La force de frottement correspondante

$$T = N \cdot f = G (\cos \alpha - a \sin \alpha) \operatorname{tg} \varphi$$

φ : angle de frottement interne ($\varphi = 31^\circ$)

Pour qu'il y ait stabilité de la particule il faut que :

$$T \geq F_x$$

après transformation mathématique le fruit aval sera :

$$m = \operatorname{cotg} \varphi \geq \frac{1 + a \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi - a}$$

$$a = 0,15 \quad \text{coefficient sismique}$$

avec un coefficient de sécurité qui dépend des matériaux constituant la recharge Alluvion ($K = 1,15$)

a. Après application numérique : on aura

- Talus aval : $m = 1/2,41$; $m_1 = 1/2,78$

- Talus amont : on adoptera la valeur $m_2 = 1,4 m_1$

b. En se basant sur le tableau : donnant différentes pentes en fonction des hauteurs et types des barrages

Pour notre cas : Ce tableau nous donne les valeurs suivantes :

- Talus aval : $1/3$

- Talus amont : $1/3$

c. Les valeurs adoptées sont :

- Talus aval :

$1/2,5$ du niveau du lit jusqu'à la côte 821

$1/3$ de la côte 821 jusqu'à la crête du barrage

- Talus amont : $1/4$

Nb: Le changement des pentes est caractérisé par des risbermes

III.3.8. DIMENSIONNEMENT DU NOYAU

Il n'existe pas de règle générale pour dimensionner le noyau, mais il faut qu'il soit assez large pour s'opposer aux infiltrations.

D'où on procède à un prédimensionnement du noyau, ensuite on vérifie la condition suivante

$$J = \frac{\Delta H}{S_m} \leq J_{adm}$$

J : gradient hydraulique du noyau

ΔH : différence de charge à l'entrée et à la sortie du noyau

S_m : largeur moyenne du noyau $S_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$

Pour éviter le siphonage dû à l'effet de capillarité par dessus de la crête du noyau, on adoptera une hauteur du noyau supérieure au niveau des plus hautes eaux.

Un ancrage du noyau est nécessaire pour consolider la stabilité de celui-ci et d'éviter les débits de resurgences.

Enfin on adoptera les valeurs suivantes :

$H = 39$ m \longrightarrow hauteur du noyau
 $t_1 : 6$ m \longrightarrow largeur à la crête du noyau
 $t_2 : 30$ m \longrightarrow largeur à la base du noyau
 $m : 0,3$ \longrightarrow fruit du noyau

3.8.1. Protection des talus

Les talus doivent être protégés contre l'érosion par le déferlement des vagues et le ruissellement des eaux de pluie.

1.a. Talus amont :

Pour s'opposer au battillage des vagues sur le talus, une protection est nécessaire, et cela consiste en un enrochement en vrac range à la main et ce, du fait de sa facilité de conception et son coût de réalisation.

L'épaisseur minimale de la couche d'enrochement est déterminée par les formules empiriques suivantes :

- Formule de CHANKIN

$$T_{\min} = 1,7 h \frac{\delta}{\delta_p - \delta} \cdot \frac{\sqrt{1 + m^2}}{m(m + 2)} = 0,23 \text{ m}$$

où :

h : hauteur des vagues [m]

δ : poids volumique de l'eau [t/m^3]

δ_p : poids volumique des pierres [t/m^3]

m : fruit du talus amont

- Formule de SICKIN

$$T_{\text{lub}} = \frac{n \cdot 0,178 \cdot h^2}{\delta_p - \delta} \sqrt{\frac{1 + m^2}{m^2}} = 0,25$$

n : facteur de sécurité (1,2 - 1,5)

1.b. Talus Aval :

La protection du talus aval consiste en un enherbement au fur et à mesure que les travaux avancent et ce en recouvrant le parement aval d'une couche végétale épaisse de (10 - 20)cm.

Nb : On adoptera pour le talus amont une couche d'une épaisseur de 50 cm reposant sur un tapis drainant jouant le rôle de filtre.

III.4. - RESEAU D'ECOULEMENT

4.1. Infiltrations

Les infiltrations à travers une digue ne contribuent pas à la stabilité de la digue et ce en donnant naissance à un réseau d'écoulement à l'intérieur de celui-ci. Lorsque ces infiltrations augmentent d'intensité, elles provoquent le phénomène de renard et par conséquent la destruction de l'ouvrage.

4.2. Ligne de saturation

Les caractéristiques de perméabilité des matériaux de construction déterminent l'allure de la ligne de saturation. Cette ligne est déterminée sur la base de la parabole de KOZENY et corrigée par CASSAGRANDE.

L'étude est basée sur la parabole théorique donnée par l'équation suivante.

$$x^2 + y^2 = (x + y_0)^2$$

X, Y : Coordonnées de la parabole

y_0 : ordonnée de la parabole

$$y_0 = \sqrt{H^2 + d^2} - d$$

H : hauteur d'eau correspondant au N.N.R (m)

$$d = t_2 - 0,7 S$$

t_2 = Largeur à la base du noyau

S = H.m₁ m₁ : fruit du talus du noyau (m₁ = 0,3)

$$S = 9,3\text{m} \quad d = 23,5\text{ m}$$

d'où on déduit que $y_0 = 15,4\text{ m}$

X	- 7.7	-5	- 2	0	3	8	12	15	20	23	25
Y	0	9,1	13,24	15,4	18,15	21,28	24,63	26,44	28,20	30,74	31,73

* Voir graphique : Tracé de la ligne de saturation.

Le point d'intersection de la parabole de base avec le parement aval du noyau est déterminé à partir de l'équation de coordonnées polaires de cette parabole.

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha}$$

$$m(\alpha) = \frac{\Delta a}{a + \Delta a} \quad \text{C'est une fonction de l'angle du noyau}$$

$$\text{avec } \alpha = 73,3^\circ \longrightarrow m(\alpha) = 0,29$$

$$\text{d'où } a + \Delta a = 21,61$$

$$\Delta a = 6,26$$

$$a = 15,36$$

L'ordonnée à la sortie du noyau sera :

$$h_1 = \sqrt{2 L y_0 \frac{k_1}{K} + h_0^2}$$

L : Longueur du massif aval (L = 97,00 m)

h₀ : Niveau d'eau à l'aval (h₀ = 1,00 m)

k₁ : Perméabilité du noyau (k₁ = 10⁻⁹ m/s)

K : Perméabilité de la recharge (K = 10⁻⁵ m/s)

d'où on obtient h₁ = 1,15 m

4.3. Estimation du débit de fuite :

En vertu de la loi de DARCY

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad K : \text{perméabilité du noyau}$$

A : aire soumise à l'infiltration

A = y . 1 (par unité de largeur)

$$i = \frac{dy}{dx} \quad \text{d'où } q \cdot dx = K \cdot y \cdot dy$$

$$q = K \frac{h_1^2 - h_0^2}{2L}$$

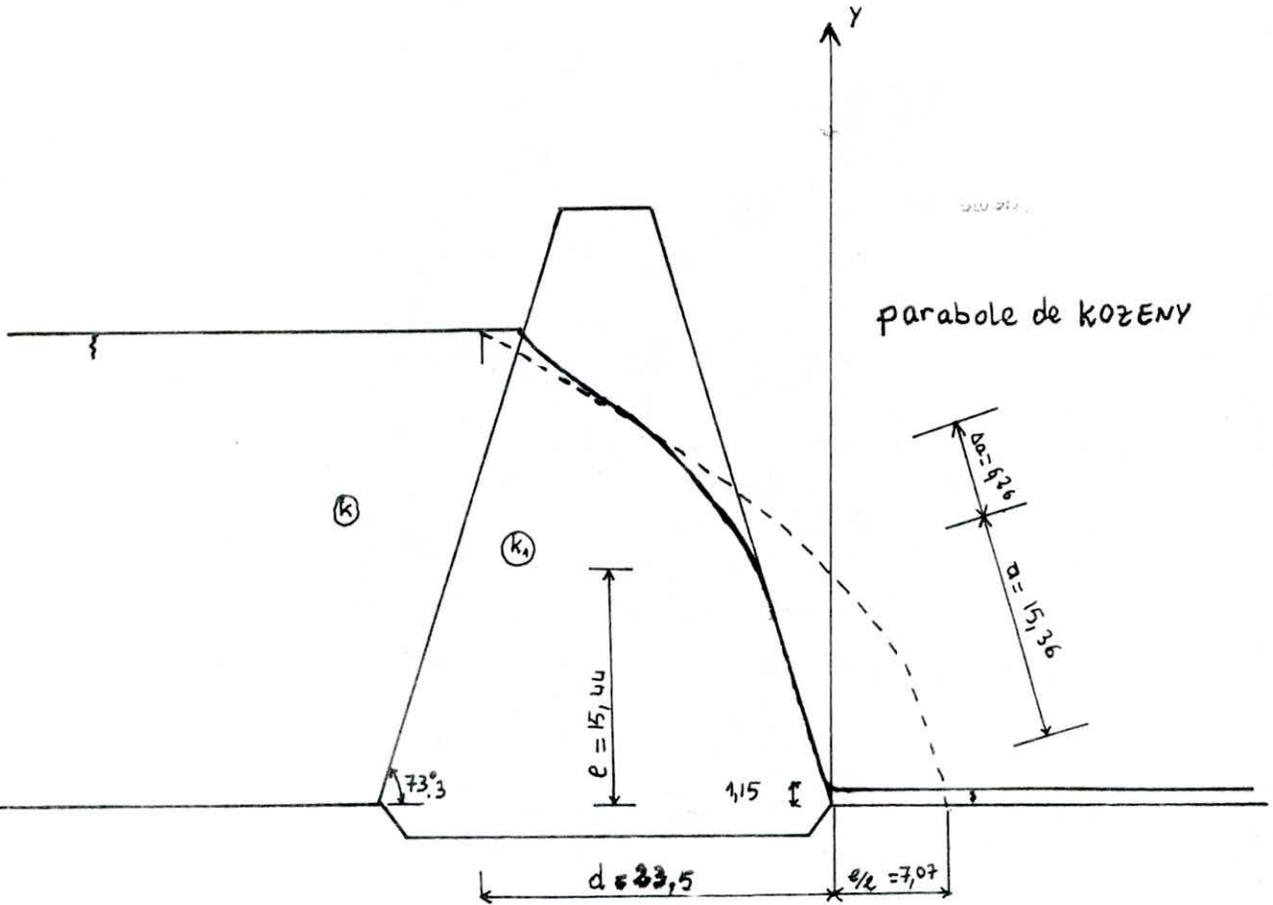
$$A.N : q = 1,54 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

Vérification

$$q = k_1 \cdot e \quad \text{avec } e = y_0$$

$$k_1 : \text{perméabilité du noyau} \longrightarrow q = 1,54 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$$

Représentation graphique de la ligne de saturation
à l'intérieur du noyau



Echelle : 1:500

4.4. Vérification des dimensions du noyau

Les dimensions adoptées doivent satisfaire la condition suivante

$$J = \frac{\Delta H}{\Delta T} \leq J_{adm} = (6 \div 12)$$

ou

ΔH : différence de charge à l'entrée et à la sortie du noyau (m)

pour $\Delta H = 29,85$ m

$\Delta T = 18$ m \rightarrow (Largeur moyenne du noyau)

on déduit $J = 1,65 < J_{adm}$

N.B. : Le gradient hydraulique étant faible d'où aucun risque d'entraînement des particules. Les dimensions prises pour le noyau sont satisfaisantes.

4.5. FILTRES

Interpose entre le noyau d'argile et la recharge d'alluvions, il doit s'opposer à l'entraînement des particules vers l'aval et assurer, une continuité granulométrique entre deux zones. Pour cela le choix du filtre doit satisfaire les conditions suivantes.

5.a. Choix du matériaux :

$$C = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 2$$

C = Coefficient d'uniformité de chaque particule.

b. Stabilité du filtre

$$5 < \frac{F_{50}}{B_{50}} < 10$$

F₅₀ , B₅₀ : désignent respectivement les dimensions des grains du filtre et du matériau de base

Pour un pourcentage de 50 %

L'épaisseur totale du filtre est prise égale à 1 m.

4.6. Prisme de drainage :

Le rôle du drain est de recueillir les eaux d'infiltrations, et d'abaisser la ligne de saturation. Il sera projeté au pied du talus aval.

4.7. Etanchéité de l'assise :

Les marnes constituent la fondation de notre ouvrage. Par conséquent, il n'y aura aucun risque d'affouillement.

III.5 - ETUDE DE LA STABILITE DES TALUS

5.1. Exposé du problème

Tout ouvrage construit par l'homme peut être sujet d'un glissement de terrain qui se produit d'une manière très variée, et qui peut survenir soudainement ou durant plusieurs mois, voire plusieurs années.

Pour ce problème, il est indispensable de prendre en considération non seulement les lignes de glissement, mais aussi l'hétérogénéité des matériaux.

Nous allons procéder par la méthode des tranches ou méthode suédoise due à PATTERSON, développée par la suite par FELLENIUS pour les reatures circulaires perfectionnée par BISHOP et étendue aux reatures non circulaires par NONVEILLER.

5.2. Principe de la méthode utilisée

Le glissement est supposé se produire instantanément le long de la surface de reature considérée comme étant une surface cylindrique à axe horizontal de centre "O" et de rayon "R".

* Inventaire des forces

G_n : Poids de la tranche

N_n : Composante normale de G

T_n : Composante tangentielle de G

Le coefficient de sécurité du glissement est défini par le rapport du moment des forces résistantes et du moment des forces motrices.

* Les forces résistantes sont :

- force de frottement $(N - Pdl) Tg$

N : Composante normale de G

P : Pression hydrostatique

dl : Longueur de l'arc délimitant la base de la tranche

- force de cohésion $(C \cdot dl)$

C : Cohésion

- force motrice

T : Composante tangentielle de G .

d'où le coefficient de sécurité contre le glissement sera :

$$K_s = \frac{\sum \text{Moment des forces stabilisatrices}}{\sum \text{Moment des forces motrices}}$$

$$K_s = \frac{R \sum [(N - P \cdot dl) Tg + Cdl]}{\sum (N - Pdl) + Tg \Psi + \sum cdl}$$

Rappelons que le poids d'une tranche " m " est

$$G_n = b (\gamma_1 h'_n + \gamma_2 h''_n + \gamma_3 h'''_n) :$$

b : Largeur d'une tranche (m)

γ_1 : Densité de la zone du massif situé au dessus de la ligne de saturation (densité sèche)

γ_2 : Densité de la zone du massif situé au dessous de la ligne de saturation densité saturée

γ_3 : Densité de l'assise

h'_n : hauteur moyenne de la partie de la tranche non saturée

h''_n : Hauteur moyenne de la partie de la tranche saturée

h'''_n : Hauteur moyenne de la partie de la tranche appartenant à l'assise.

Puisque nous avons une assise imperméable, alors H'''_n est nul, donc on aura

$$G_n = b (\gamma_1 \cdot h'_n + \gamma_2 h''_n)$$

- Force Tangentielle est :

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

- La Composante normale est :

$$N = G_n \cdot \cos \alpha_n$$

où $\sin \alpha_n = \frac{n}{nt}$, avec n : numéro de la tranche

$$\cos \alpha_n = \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nt}\right)^2}$$

n : Angle formé par l'interception de la tranche "n" avec la verticale

- Pression hydrostatique :

$$P \cdot dl = \gamma \cdot h_p \cdot dl \quad dl = \frac{b}{\cos \alpha_n} = l_n$$

γ : poids spécifique de l'eau.

$$K_s = \frac{\sum \left[\left(G_n \sqrt{1 - \left(\frac{n}{nt}\right)^2} - \gamma \cdot h_p \cdot \frac{b}{\cos \alpha_n} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi \right] + \sum \left[c \cdot \frac{b}{\cos \alpha_n} \right]}{\sum \left[G_n \cdot \left(\frac{n}{nt}\right) \right]}$$

** Types de Fonctionnements considérés lors de l'étude de stabilité des talus sont :

* TALUS AMONT

- Fin de construction (réservoir vide)
- Vidange rapide

Lorsque le niveau d'eau est ramené au pied des talus, le corps du barrage emmagasine une quantité d'eau qui ne s'est pas fait encore écouler du fait de l'abaissement rapide du niveau de cette quantité d'eau stockée est génératrice d'une pression qui tient en équilibre une partie du massif mouillé.

On admet que la composante normale sera égale

$$(N - P \cdot dl) = (\gamma_{sat} - 1) \cdot n \cdot b$$

$\gamma_{sat} - 1$: densité immergée

$$n = hn \cdot \cos \alpha_n$$

$$\text{d'où } (N - P \cdot dl) = (\gamma_{sat} - 1) \cdot b \cdot hn \cdot \cos \alpha_n$$

La composante tangentielle sera :

$$T = \gamma_{sat} \cdot i \cdot b \quad \text{---} \rightarrow \text{ avec } i = h \cdot \sin \alpha_n$$

d'où $T = \gamma_{sat} \cdot b \cdot h \cdot \sin \alpha_n$ --- \rightarrow Cette force est génératrice d'un mouvement d'entraînement des particules

* TALUS AVAL

- Fin de construction
- Fonctionnement Normal :

Le fonctionnement normal se présente lorsque le barrage est en exploitation (écoulement à l'aval)

* Sollicitations dues au seisme :

Nous tenons compte de l'effet du seisme en faisant intervenir une force due à l'accélération d'un tel mouvement.

Le coefficient de sécurité devient

$$K_{ss} = \frac{\sum [(N - P \cdot dl) \cdot \tan \varphi + C \cdot dl]}{\sum \left[Tn + \frac{1}{R} (a \cdot Gn \cdot dn) \right]}$$

$a \cdot Gn$: force due au seisme

dn : bras de levier

a : coefficient sismique ($a = 0,15$)

γ : accélération du mouvement ($\gamma = a \cdot g$)

Les calculs sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Graphes : des sollicitations dues aux seismes

Fin De construction talus Amont R=106m.

NE braich	b m	h' m	γ_0 b/m ²	sin α	cos α	G _n	G _n sin α	G _n cos α	log	G _n cos α log	L _i	W _i L _i	d _n	T _{tn}	d _n .T _{tn}
-4	4,45	1,75	1,7	-0,4	0,91	13,09	-5,23	11,99	0,6	7,19	4,8	0,48	98,5	1,96	193,40
-3	10,6	6,25	"	-0,3	0,95	112,62	-33,79	107,42	"	64,46	11,11	1,11	99	16,89	1672,48
-2	"	11,25	"	-0,2	0,98	202,72	-40,74	198,63	"	119,17	10,8	1,08	98,8	30,41	3004,38
-1	"	15,5	"	-0,1	0,99	279,31	-27,93	277,90	"	166,74	10,65	1,065	97	41,89	4063,93
0	"	18,9	"	0	1	340,58	0	340,58	"	204,35	10,6	1,06	96,5	51,08	4929,86
+1	"	20,9	"	0,1	0,99	377,88	37,78	375,98	"	225,59	10,65	1,065	95	56,68	5384,78
+2	"	22	"	0,2	0,98	396,44	79,29	388,43	"	233,05	10,8	1,08	92,6	59,46	5506,55
+3	"	21,75	"	0,3	0,95	391,93	117,58	373,88	"	224,33	11,11	1,11	90	58,79	5291,12
+4	"	20,1	"	0,4	0,91	362,20	144,88	331,96	"	199,18	11,56	1,156	88,2	54,33	4791,93
+5	"	17,1	"	0,5	0,87	308,14	154,04	266,86	"	160,11	12,23	1,323	83,8	46,22	3827,12
+6	"	12,75	"	0,6	0,80	229,75	137,85	183,80	"	110,28	13,25	1,325	78,2	34,46	2695,02
+7	"	6,1	"	0,7	0,71	109,92	76,84	78,50	"	47,10	14,84	1,484	71,4	16,49	1087,26
						$\Sigma = 640,84$			$\Sigma =$	1761,54	$\Sigma = 13,23$	$\Sigma = 13,$		$\Sigma =$	42537,87

$$K_s = \frac{1761,54 + 13,23}{640,84} = 2,76$$

$$K_{ss} = \frac{1761,54 + 13,23}{640,84 + \frac{1}{106} \cdot 42537,87} = 1,70$$

Fin. De. Construction talus Amont

R = 89m

N ^o tranchée	b m	h m	γ _s t/m ³	sin α	cos α	G _n	G _n sin α	G _n cos α	tg α	G _n cos α tg α	l _i	c _i l _i	d _n	T _{kn}	d _n T _{kn}
-3	8,9	4,1	1,7	-0,3	0,95	62,03	-18,60	59,17	0,6	35,50	9,33	0,933	82,3	9,70	767,65
-2	"	8,6	"	-0,2	0,98	130,19	-26,02	127,49	"	76,49	9,08	0,908	82,5	19,51	1610,21
-1	"	12,4	"	-0,1	0,99	187,61	-18,76	186,67	"	112,00	8,94	0,894	82	28,14	2707,62
0	"	15,25	"	0	1	230,73	0	230,73	"	138,44	8,9	0,89	81,5	34,43	2820,70
+1	"	17	"	0,1	0,99	257,21	25,72	255,92	"	153,55	8,94	0,894	80,2	38,98	3094,23
+2	"	17,70	"	0,2	0,98	267,80	53,56	262,39	"	157,43	9,08	0,908	78,30	40,17	3145,32
+3	"	16,61	"	0,3	0,95	251,30	75,39	223,73	"	143,84	9,33	0,933	76,1	37,69	2868,69
+4	"	16,50	"	0,4	0,91	249,64	99,86	228,80	"	137,28	9,71	0,971	72,9	37,44	2726,96
+5	"	14,40	"	0,5	0,87	217,87	108,93	188,68	"	113,20	10,27	1,027	69,6	38,68	2674,58
+6	"	10,20	"	0,6	0,80	154,36	92,59	123,46	"	74,07	11,12	1,112	64,35	23,14	1498,89
+7	"	3,75	"	0,7	0,71	56,74	39,71	40,51	"	24,24	12,46	1,246	62	2,51	527,65
						Σ = 432,39				Σ = 1166,11		Σ = 10,71			Σ = 23645,5

$$K_s = \frac{1166,11 + 10,71}{432,39} = 2,72$$

$$K_{SS} = \frac{1166,11 + 10,71}{432,39 + \frac{1}{89} \cdot 23645,5} = 1,68$$

Fin De. Construction talus Amont

$R = 84,5m$

N° tranchée	b m	h' m	γ_1 t/m ³	sin α	cos α	G _m	G _m sin α	G _m cos α	tg ϕ	G _m cos α tg ϕ	L _n	ali	rdn _m	T _{en} t	dnT _{en} t/m
-3	8,45	3,5	1,7	-0,3	0,95	50,28	-15,08	47,96	0,6	28,78	8,85	0,885	78,75	7,54	593,90
-2	"	7,75	"	-0,2	0,98	111,32	-22,26	109,08	"	61,64	8,62	0,862	79	16,70	1719,24
-1	"	11,37	"	-0,1	0,99	163,33	-16,33	162,51	"	97,50	8,49	0,849	77,6	24,49	1901,16
0	"	13,75	"	0	1	197,52	0	197,52	"	118,51	8,45	0,845	77,2	29,62	2287,26
+1	"	15,37	"	0,1	0,99	220,79	22,08	219,18	"	121,81	8,49	0,849	76	33,11	2517,00
+2	"	16,40	"	0,2	0,98	235,58	47,11	230,88	"	138,49	8,62	0,862	74,15	35,33	2620,30
+3	"	16,30	"	0,3	0,95	234,14	70,24	223,31	"	134,01	8,85	0,885	72,2	35,12	2535,80
+4	"	15,40	"	0,4	0,91	221,22	88,49	202,75	"	121,65	9,22	0,922	69,5	33,18	2706,22
+5	"	13,20	"	0,5	0,87	189,61	94,91	164,21	"	98,52	9,75	0,975	67	28,44	1805,66
+6	"	9,7	"	0,6	0,8	139,34	83,60	111,47	"	66,98	10,56	1,056	62	20,90	1297,87
+7	"	3,75	"	0,7	0,71	53,84	37,71	38,46	"	23,08	11,83	1,183	57,5	8,08	464,61
						$\Sigma = 390,07$			$\Sigma =$	1024,66		$\Sigma = 10,17$		$\Sigma =$	19747,06

$$K_s = \frac{1024,66 + 10,17}{390,07} = 2,65$$

$$K_{SS} = \frac{1024,66 + 10,17}{390,07 + \frac{1}{84,5} \cdot 19744,06} = 1,65$$

VIDANGE RAPIDE - R = 97 m

N ^e Tranche	b _m	h _m	γ _s d/m	Sin α	cos α	G _n	G sin α	N-PLn	γ _φ	(N-PLn) γ _φ	L _n	Ciln	d _n	T _{tn}	T _{tn} .d _n
-4	2,5	2	1,95	-0,4	0,91	9,75	-3,9	3,48	0,6	2,09	2,72	0,272	89,8	1,46	131,33
-3	9,7	4,75	"	-0,3	0,95	89,84	-26,95	37,45	"	22,47	10,16	1,016	90,25	13,47	1216,29
-2	"	9,75	"	-0,2	0,98	184,42	-36,88	84,28	"	50,57	9,9	0,99	90,70	27,66	2509,05
-1	"	13,55	"	-0,1	0,99	256,29	-25,629	123,08	"	73,85	9,748	0,975	89,7	38,44	3449,49
0	"	16,5	"	0	1	312,09	0	152,26	"	91,36	9,7	0,97	88,6	46,81	4147,77
+1	"	18,6	"	0,1	0,99	351,82	35,18	168,96	"	101,38	9,748	0,975	87,2	52,77	4604,79
+2	"	19,7	"	0,2	0,98	372,62	74,52	170,31	"	102,19	9,9	0,99	85,4	55,89	4773,33
+3	"	19,6	"	0,3	0,95	370,73	111,22	154,56	"	92,74	10,16	1,016	82,8	55,61	4604,51
+4	"	18,4	"	0,4	0,91	348,03	139,21	124,41	"	74,65	10,58	1,058	79,9	52,20	4471,21
+5	"	15,5	"	0,5	0,87	293,18	146,59	80,4	"	48,24	11,20	1,12	76,2	43,98	3351,07
+6	"	10,95	"	0,6	0,80	207,11	124,27	32,96	"	19,78	12,12	1,21	71,9	31,06	2233,78
+7	"	5	"	0,7	0,71	94,57	66,20	-0,36	"	-0,22	13,58	1,358	65,4	14,18	927,78
						Σ =	603,84		Σ =	679,09	Σ	11,95		Σ =	36116,4

$$K_s = \frac{679,09 + 11,95}{603,85} = 1,14$$

$$K_{ss} = \frac{679,09 + 11,95}{603,85 + \frac{1}{97} \times 36116,4} = 0,707$$

VIDANGE RAPIDE - R = 86 m

n	b_m	h_m	$\frac{b}{h}$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	G_m	$G_m \cdot \sin \alpha$	$N-Pln$	$\tan \alpha$	$(N-Pln) \tan \alpha$	L_n	$G \cdot L_n$	d_n	T_n	$d_n \cdot T_n$
-4	7,4	5	1,95	-0,4	0,91	72,15	-28,86	25,78	0,6	15,47	8,07	0,807	77,75	10,82	841,45
-3	8,6	7,70	"	-0,2	0,95	122,42	-36,72	51,03	"	30,62	9,01	0,901	78,75	18,36	1446,05
-2	11,62	11,62	"	-0,2	0,98	194,86	-38,97	89,06	"	53,40	8,77	0,877	78,25	29,23	2287,25
-1	"	15,12	"	-0,1	0,99	253,56	-25,35	121,76	"	73,06	8,64	0,864	77,5	38,03	2947,66
0	"	17,9	"	0	1	300,18	0	146,45	"	87,87	8,6	0,86	77	45,02	3467,11
+1	"	19,75	"	0,1	0,99	331,20	33,12	159,06	"	95,44	8,64	0,864	75,75	49,68	3763,34
+2	"	20,6	"	0,2	0,98	305,46	69,09	157,88	"	94,73	8,77	0,877	73,75	51,82	3821,67
+3	"	20,3	"	0,3	0,95	338,75	101,62	141,23	"	84,74	9,01	0,901	72,25	50,81	3671,24
+4	"	17,25	"	0,4	0,91	322,82	129,13	115,4	"	69,84	9,38	0,938	68,5	48,42	3317,0
+5	"	16,35	"	0,5	0,87	274,19	137,01	75,2	"	45,12	9,93	0,993	66,7	41,12	2743,26
+6	"	12,4	"	0,6	0,80	207,95	124,77	33,1	"	19,86	10,75	1,075	64,75	31,99	1926,11
+7	"	9,05	"	0,7	0,71	151,76	106,23	-0,6	"	-0,36	12,04	1,20	57,78	22,76	1314,69
+8	3,4	1,5	"	0,8	0,6	9,94	7,95	-2,53	"	-1,52	5,66	0,566	52,8	1,49	78,76

$$\Sigma = 579,01$$

$$\Sigma = 667,71$$

$$\Sigma = 11,727$$

$$\Sigma = 31625,55$$

$$K_s = \frac{667,71 + 11,727}{579,01} = 1,17$$

$$K_{ss} = \frac{667,71 + 11,727}{579,01 + \frac{1}{86} \cdot 31625,55} = 0,722$$

VIDANGE RAPIDE - R = 78,5m

N° tranche	b m	h" m	$\frac{d_s}{b}$	Sim _s	cos _s	G _n	G _n Sim _s	N-PL _n	ty ₄	(N-PL _n)ty ₄	L _n	Ci L _n	d _n	T _{b_n}	T _{b_n} d _n
-5	4	1,70	1,95	-0,5	0,87	13,26	-6,63	3,63	0,6	2,18	4,61	0,461	69,2	1,99	137,63
-4	7,85	4,5	"	-0,4	0,91	68,88	-27,55	24,61	"	14,77	8,56	0,856	70,65	10,33	723,79
-3	"	9,62	"	-0,3	0,95	147,26	-44,17	61,40	"	36,84	8,22	0,822	70,55	22,08	1558,36
-2	"	13,75	"	-0,2	0,98	210,48	-42,09	96,2	"	57,72	8,01	0,801	70,4	31,57	2222,65
-1	"	16,87	"	-0,1	0,99	258,23	-25,82	124,01	"	74,41	7,89	0,789	70,0	38,73	2711,49
0	"	19	"	0	1	290,84	-	147,88	"	85,13	7,85	0,785	69,3	43,62	3023,31
+1	"	20,25	"	0,1	0,99	309,98	30,99	148,56	"	89,32	7,89	0,789	68,3	46,49	3175,71
+2	"	21,87	"	0,2	0,98	334,77	66,95	153,0	"	94,80	8,01	0,801	66,6	50,21	3344,40
+3	"	22	"	0,3	0,95	336,76	101,03	140,6	"	84,24	8,22	0,822	64,55	50,05	3260,73
+4	"	21,0	"	0,4	0,91	321,45	128,58	114,91	"	68,95	8,56	0,856	62,7	48,21	2994,37
+5	"	18,25	"	0,5	0,87	279,36	139,68	76,55	"	45,93	9,06	0,906	59,5	41,90	2483,30
+6	"	14,62	"	0,6	0,8	223,79	134,24	35,56	"	27,36	9,81	0,981	55,05	33,56	1847,99
+7	"	10,0	"	0,7	0,71	153,07	107,15	-14,55	"	-8,33	10,99	1,099	52	22,96	1193,98
+8	6,5	3,75	"	0,8	0,6	67,53	38,02	-12,10	"	-7,26	10,08	1,008	46,2	7,18	329,39

$$K_s = 1,06$$

$$K_{ss} = 0,67$$

fonctionnement normale $R = 75m.$

N° traverse	b m	h' m	h'' m	γ_0 t/m ³	γ_0 t/m ³	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	G_{tr}	$G_{tr} \sin \alpha$	$G_{tr} \cos \alpha$	L_n	w_0	γ_{gr}	$(G_{tr} \cos \alpha - w_0) \gamma_{gr}$	$c \cdot l$	d_n	T_{tr}	$d_n \cdot T_{tr}$
-3	6,00	3,4	-	1,7	1,95	-0,3	0,95	34,68	-10,40	32,94	6,31	-	0,6	19,76	0,631	69,4	5,20	361,01
-2	7,1	8,10	0,4	"	"	-0,2	0,98	109,12	-21,82	106,94	7,65	3,06	"	63,32	0,765	71	16,36	1161,56
-1	"	11	0,8	"	"	-0,1	0,99	151,92	-15,19	150,43	7,57	6,06	"	86,62	0,757	69	22,79	1572,69
0	"	13,75	1,1	"	"	0	1	191,4	0	191,4	7,5	8,25	"	109,89	0,75	68,3	28,71	1960,89
+1	"	15,9	1,05	"	"	0,1	0,99	218,08	21,808	215,9	7,57	7,95	"	124,77	0,757	67,1	32,71	2194,97
+2	"	17	0,7	"	"	0,2	0,98	226,98	45,39	222,10	7,65	1,35	"	130,25	0,765	64,9	34,01	2809,55
+3	"	16,8	-	"	"	0,3	0,95	214,8	64,26	203,49	7,89	-	"	122,09	0,789	63,2	32,13	2070,61
+4	"	16,5	-	"	"	0,4	0,91	210,37	84,15	193,50	8,15	-	"	116,12	0,815	60,5	31,55	1909,15
+5	"	15,75	-	"	"	0,5	0,87	200,81	100,40	174,70	8,62	-	"	104,82	0,862	57,2	20,22	1722,97
+6	"	13,5	-	"	"	0,6	0,8	172,12	103,27	137,7	9,37	-	"	82,62	0,937	54,5	25,82	1607,08
+7	"	9,75	-	"	"	0,7	0,71	124,31	87,02	88,26	10,56	-	"	52,95	1,056	48,2	17,64	898,74
+8	"	3,75	-	"	"	0,8	0,6	47,81	38,25	28,68	12,5	-	"	17,21	1,25	41,6	7,17	298,33
								$\Sigma = 497,14$					Σ	1029,42	10,13			17727,66

$$K_s = \frac{1029,42 + 10,13}{497,14} = 2,09$$

$$K_{ss} = \frac{1029,42 + 10,13}{497,14 + \frac{1}{75} \cdot 17727,66} = 1,42$$

fonctionnement normale $R = 73,5m$

N° traverse	b m	h m	h' m	γ_1 t/m ³	γ_2 t/m ³	sin α	cos α	G _n	G _n sin α	G _n cos α	L _n	W _d	tg φ	G _n cos α - W _d / kg	c _{il}	d _n	T _{0n}	d _n T _{0n}
-3	7,35	4,75	-	1,7	1,95	-0,3	0,95	59,35	-17,80	56,38	7,73	-	0,6	33,82	0,773	67,75	8,90	602,97
-2	"	9,25	0,7	"	"	-0,2	0,98	125,61	-25,12	123,09	7,5	5,25	"	70,70	0,75	67,5	18,84	1217,7
-1	"	14,75	0,90	"	"	-0,1	0,99	156,85	-15,68	155,28	7,42	6,68	"	99,16	0,742	67	23,53	1576,51
0	"	14,12	1,10	"	"	0	1	192,19	0	192,19	7,35	8,01	"	110,50	0,735	65,9	28,83	1899,89
+1	"	17,00	1,05	"	"	0,1	0,99	227,46	22,74	225,18	7,42	8,16	"	170,21	0,742	64,5	34,12	2200,74
+2	"	18,25	0,5	"	"	0,2	0,98	235,2	47,04	230,49	7,5	3,75	"	136,04	0,75	62,75	35,28	2213,92
+3	"	18,37	-	"	"	0,3	0,95	229,53	68,86	218,05	7,73	-	"	170,83	0,773	61	34,42	2099,62
+4	"	18,20	-	"	"	0,4	0,91	228,65	91,46	210,35	7,99	-	"	126,21	0,799	58,4	34,29	2002,53
+5	"	17,70	-	"	"	0,5	0,87	221,16	110,58	197,41	8,45	-	"	118,64	0,845	56,15	33,17	1862,49
+6	"	15,5	-	"	"	0,6	0,81	193,67	116,20	154,93	9,18	-	"	92,95	0,918	50,5	29,05	1467,02
+7	"	12,20	-	"	"	0,7	0,71	152,44	106,71	103,38	10,35	-	"	64,99	1,035	46,2	22,86	1056,18
+8	"	6,12	-	"	"	0,8	0,6	76,47	61,17	45,88	12,25	-	"	27,52	1,225	40,2	11,47	461,09
+9	2,4	2,8	-	"	"	0,9	0,44	11,42	10,28	5,06	5,45	-	"	3,01	1,545	35,75	1,71	61,83

$$\epsilon = 576,44$$

$$\epsilon = 1134,38$$

$$\epsilon = 10,63$$

$$\epsilon = 18721,66$$

$$K_s = \frac{1134,38 + 10,63}{576,44} = 1,98$$

$$K_{SS} = \frac{1134,38 + 10,63}{576,44 + \frac{1}{73,5} 18721,66} = 1,37$$

fonctionnement normale $R = 71,5m$

№ branche	b m	h m	h" m	δ_1 €/m ²	δ_2 €/m ²	sin α	cos α	G _n	G _n sin α	G _n cos α	L _n	W θ	G θ	G _n cos α - W θ G θ	U _{li}	dh	T _{en}	dh T _{en}
-3	6,5	3,25	0,7	1,7	1,95	-0,3	0,95	31,92	-10,77	34,12	6,84	-	0,6	20,47	0,684	66,71	5,38	359,11
-2	7,15	4,87	0,3	"	"	-0,2	0,98	99,84	-19,96	97,84	7,29	2,19	"	57,39	0,729	67,1	14,97	1004,88
-1	"	10,9	0,9	"	"	-0,1	0,99	145,03	-14,50	143,57	7,22	6,45	"	88,27	0,722	65,9	21,75	1433,62
0	"	13,5	1,05	"	"	0	1	178,73	0	178,73	7,15	7,15	"	102,73	0,715	64,3	26,81	1723,85
+1	"	15,8	1,11	"	"	0,1	0,99	207,52	20,75	205,44	7,22	8,04	"	118,45	0,722	63,6	31,12	1079,70
+2	"	17,75	0,9	"	"	0,2	0,98	226,90	45,38	222,36	7,29	5,83	"	129,51	0,729	62,0	34,03	2099,95
+3	"	17,25	-	"	"	0,3	0,95	209,67	62,90	199,18	7,22	-	"	119,55	0,722	59,6	31,45	1868,12
+4	"	16,5	-	"	"	0,4	0,92	200,55	80,22	164,50	7,21	-	"	110,70	0,721	57,50	30,02	1729,74
+5	"	15,62	-	"	"	0,5	0,87	189,86	90,93	161,17	8,21	-	"	99,10	0,821	54,20	28,48	1503,56
+6	"	13,62	-	"	"	0,6	0,80	165,55	99,33	132,44	8,93	-	"	79,46	0,893	50,10	24,83	1244,10
+7	"	10,4	-	"	"	0,7	0,71	126,41	88,49	89,75	10,07	-	"	53,85	1,007	45,50	17,96	862,70
+8	"	4,25	-	"	"	0,8	0,6	51,69	41,35	31,01	11,91	-	"	18,60	1,19	40,5	7,71	34,01
								$\Sigma = 488,12$						$\Sigma = 991,98$	$\Sigma = 9,735$			$\Sigma = 16163,42$

$$K_s = \frac{991,98 + 9,735}{488,12} = 2,05$$

$$K_{SS} = \frac{991,98 + 9,735}{488,12 + \frac{1}{745} 16163,42} = 1,40$$

Fin De Construction talus AVAL

R = 80m

№ traço	b _m	h _m	γ _s t/m ³	G _n	Sin α	Cos α	G _n Sin α	G _n Cos α	t _{gd}	G _n cos α t _{gd}	L _n	C _u L _n	d _n	T _{0n}	d _n T _{0n}
-3	8	2,9	1,7	39,44	-0,3	0,95	-11,83	37,47	0,6	22,48	8,42	0,862	74,75	5,91	441,77
-2	"	7,75	"	105,4	-0,2	0,98	-21,08	103,29	"	61,97	8,16	0,82	74,5	15,81	1177,84
-1	"	11,5	"	156,4	-0,1	0,99	-15,64	154,83	"	92,89	8,08	0,81	73,75	23,06	1730,17
0	"	15	"	204	0	1	0	204	"	122,0	8	0,8	72,5	30,6	2218,5
+1	"	17,5	"	238	0,1	0,99	23,8	235,62	"	141,37	8,08	0,81	70,75	35,7	2525,77
+2	"	18,5	"	251,6	0,2	0,98	50,32	246,56	"	147,93	8,16	0,82	68,75	37,74	2594,12
+3	"	18,6	"	252,96	0,3	0,95	75,89	240,13	"	144,07	8,42	0,84	66,75	37,94	2532,76
+4	"	18,8	"	255,68	0,4	0,91	102,27	232,66	"	139,59	8,79	0,88	63,85	38,35	2425,76
+5	"	17,95	"	244,12	0,5	0,87	122,06	212,38	"	127,42	9,12	0,92	60,1	36,61	2200,74
+6	"	15,62	"	212,43	0,6	0,8	127,46	169,94	"	101,96	10	1	56,2	31,86	1790,78
+7	"	11,87	"	161,43	0,7	0,71	113	114,61	"	68,76	11,26	1,12	50,75	24,21	1228,89
+8	"	5,62	"	76,43	0,8	0,6	61,14	45,85	"	27,51	13,33	1,33	44,5	11,46	510,17
+9	1,5	0,87	"	11,87	0,9	0,43	10,64	5,08	"	3,04	18,348	0,35	40	1,79	71,22
							Σ = 638,03			Σ = 1201,47		Σ = 11,34			Σ = 21447,99

$$K_s = \frac{1201,47 + 11,34}{638,03} = 1,90$$

$$K_{ss} = \frac{1201,47 + 11,34}{638,03 + \frac{1}{80} \cdot 21447,99} = 1,34$$

Fin De construction talus AVAL R=76m.

M cote	b m	h' m	α °/m	Gn	sina	cosa	Gn sina	Gn cosa	tg α	Gn tg α	Gln	Gln	dn	Tbn	dn Tbn
-4	6,0	1,1	1,7	11,22	-0,4	0,91	-4,49	10,21	0,6	6,12	6,59	0,66	71,25	1,68	119,73
-3	7,6	4,35	"	56,2	-0,3	0,95	-16,86	53,39	"	32,08	8	0,8	70,25	8,43	592,20
-2	"	8,4	"	108,52	-0,9	0,98	-21,70	106,35	"	63,81	7,75	0,77	69,75	16,28	1135,47
-1	"	12	"	155,04	-0,1	0,99	-15,5	153,48	"	92,09	7,67	0,767	69,5	23,26	1616,29
0	"	14,75	"	190,57	0	1	0	190,57	"	114,34	7,6	0,76	68,5	28,58	1958,10
+1	"	17,5	"	226,1	0,1	0,99	22,6	223,84	"	134,30	7,67	0,767	66,5	33,91	2255,34
+2	"	18,35	"	237,08	0,2	0,98	47,41	232,34	"	139,40	7,75	0,77	64,75	35,56	2702,65
+3	"	18,25	"	235,79	0,3	0,95	70,73	224,0	"	134,40	8	0,8	63,3	35,36	2238,82
+4	"	18,12	"	234,11	0,4	0,91	93,62	213,04	"	127,82	8,51	0,85	60,2	35,1	2114,01
+5	"	17,25	"	222,87	0,5	0,87	111,43	193,89	"	116,34	8,73	0,87	56,75	33,43	1897,18
+6	"	15	"	193,8	0,6	0,8	116,28	155,04	"	93,02	9,5	0,95	47,75	29,07	1388,09
+7	"	11,2	"	144,7	0,7	0,71	101,29	102,74	"	61,64	10,7	1,07	41,75	21,70	906,20
+8	"	4,8	"	62,01	0,8	0,6	49,61	37,20	"	28,32	12,6	1,26	29,75	9,30	369,69

$E = 554,44$

$E = 1137,63$

$E = 11,09$

$E = 18893,75$

$$K_S = \frac{1137,63 + 11,09}{554,44} = 2,07$$

$$K_{SS} = \frac{1137,63 + 11,09}{554,44 + \frac{1}{76} 18893,75} = 1,03$$

Fin de Construction talus AVAL R=71m.

N ^o branche	b m	h' m	γ_a t/m ³	G ₀	-sina	cosa	G ₀ sina	G ₀ cosa	tg α	G ₀ cosa tg α	L _n	C ₀ t _n	d _n	T ₀ t _n	d _n T ₀ h
-3	6,2	2	1,7	21,08	-0,3	0,95	-6,32	20,02	0,6	12,02	6,52	0,65	66,5	3,16	210,23
-2	7,1	5,3	"	71,21	-0,2	0,98	-14,24	69,79	"	41,87	7,24	0,72	66,25	10,68	707,65
-1	"	9,37	"	113,09	-0,1	0,99	-11,31	111,96	"	67,17	7,17	0,717	65,1	16,96	1104,32
0	"	12,25	"	147,86	0	1	0	147,86	"	88,71	7,1	0,71	64,5	22,18	1420,54
+1	"	14,4	"	173,81	0,1	0,99	17,38	172,07	"	103,24	7,77	0,717	64,2	26,07	1637,79
+2	"	15,75	"	190,1	0,2	0,98	38,02	186,20	"	111,78	7,24	0,72	61,75	28,51	1760,80
+3	"	16,25	"	196,13	0,3	0,95	58,84	186,33	"	111,79	7,67	0,747	59,25	29,41	1743,10
+4	"	15,70	"	189,5	0,4	0,91	75,80	172,44	"	103,46	7,8	0,78	57,5	28,42	1634,43
+5	"	14,25	"	171,99	0,5	0,87	85,95	149,63	"	89,78	8,16	0,816	54,25	25,79	1399,57
+6	"	12,30	"	148,46	0,6	0,80	89,07	118,77	"	71,26	8,87	0,9	50,5	22,27	1124,58
+7	"	8,9	"	107,62	0,7	0,71	76,19	76,87	"	45,76	10	1	46	16,11	741,19
+8	"	3,4	"	41,03	0,8	0,6	32,82	24,62	"	14,77	11,8	1,18	40,2	6,15	247,41
							$\Sigma =$ 442,16			$\Sigma =$ 861,44		$\Sigma =$ 9,65			$\Sigma =$ 13741,65

$$K_s = \frac{861,44 + 965}{442,16} = 1,97$$

$$K_{SS} = \frac{861,44 + 9,65}{442,16 + \frac{1}{71} \cdot 13741,65} = 1,37$$

CHAPITRE IV

OUVRAGES ANNEXES

IV. 1 - DERIVATION PROVISOIRE

Le calcul se fera pour une dérivation totale d'un débit de crue décennal de (1520 m³/s), qui nécessite un diamètre de (18 m) ce qui est impossible dans la pratique. Pour cela nous envisageons un batardeau afin d'amortir une partie de ce débit. A cela nous utilisons un procédé analytique pour déterminer le diamètre de la galerie en fonction de la hauteur du batardeau.

Par hypothèse, on admet une vitesse d'écoulement à l'intérieur de la galerie comprise entre (10-15) m/s ensuite on se fixe des diamètres pour déterminer les section en appliquant la formule

$$Q_{eva} = V.S$$

- Le débit de crue à amortir est : $Q_{amort} = Q_{o,1} - Q_{eva}$

- Le volume correspondant au débit de crue amorti est :

$$V_{amort} = Q_{amort} \times t$$

t : temps correspondant au débit de crue amorti obtenu par interpolation à partir de l'hydrogramme de crue décennal.

A partir de la courbe (hauteur - capacité) et connaissant le volume amorti, on détermine la hauteur du batardeau

diamètre (m)	section de la galerie (m ²)	débit évacué (m ³ /s)	débit amorti (m ³ /s)	Volume amorti (Mm ³)	hauteur du batardeau (m)
7	38,48	500,24	1019,76	44,06	30,9
8	50,26	653,38	866,62	35,25	28,5
9	63,61	826,93	693,07	24,95	24,6
10	78,53	1029,89	499,11	15,09	21,20

On adoptera une galerie de (9,00 m) et une hauteur du batardeau de (25,0 m) et de longueur (L = 225 m)

IV. 2 - EVACUATEUR DE CRUES

2.1. But :

Afin d'éviter la submersion, qui constitue un danger permanent pour les barrages en terre, lors des crues exceptionnelles, la conception d'un ouvrage d'évacuation s'avère nécessaire en permettant d'évacuer les débits des crues sans endommager autres ouvrages.

2.2. Choix de l'évacuateur de crues

En fonction des données hydrologiques et des conditions topographiques et géologiques du site, notre choix se porte sur la réalisation d'un évacuateur latéral de surface à seuil libre pour évacuer la crue du projet sur la rive droite de l'oued.

Toutefois, nous avons envisagé d'autres solutions telle que la réalisation d'un évacuateur en puit, et d'un évacuateur mixte décomposé en évacuateur en puit affecté par $1/3$ du débit de crue et d'un évacuateur de surface affecté de $2/3$ du débit de crue.

Mais la quantité importante du débit de crue et le raccordement avec la galerie de vidange constituent des inconvénients d'ordre pratique et économique, donc ces solutions sont à écarter.

2.3. Choix du site de l'évacuateur

La présence d'une dépression au niveau de la rive droite de l'oued et des conditions géologiques et topographiques qui sont favorables où la pente n'est pas très prononcée, aucune reconnaissance de faille, la fondation de notre site choisi est justifiée.

2.4. Profil type du déversoir :

Le déversoir sera à profil pratique type CREAGER qui s'adapte mieux à la lame d'eau de façon que celle-ci ne puisse pas se décoller.

Ce profil est obtenu d'après le profil correspondant à la charge unitaire ($H = 1m$).

Pour notre cas ($H = 3,3m$), nous appliquons la loi de similitude de RECH-FROUD. Pour justifier la validité de cette loi on admet que les forces d'inertie et de pesanteur sont relativement importantes par rapport aux forces de viscosité.

En tenant compte du coursier correspondant à $H = 1m$, le rapport des dimensions linéaires étant constant

$$\lambda = \frac{H_1}{H} = \frac{X_1}{X} \quad X_1 \cdot H = H_1 \cdot X \quad \text{avec } H = 1m$$

$$X_1 = H_1 \cdot X$$

$$\lambda = \frac{H_1}{H} = \frac{Y_1}{Y} \quad Y_1 \cdot H = H_1 \cdot Y \quad \text{avec } H = 1m$$

$$Y_1 = H_1 \cdot Y$$

En utilisant les coordonnées (X, Y) de la charge $H = 1m$, on détermine les coordonnées de la charge $H = 3,3m$ à partir de ces dernières, on trace le profil du coursier point par point. (voir: tableau, graphique).

2.4.1. STABILITE DE L'OUVRAGE EVACUATEUR

La bonne tenue de cet ouvrage nécessite une étude de stabilité afin d'éviter les risques de son glissement, soulèvement et renversement, car lors de la période d'exploitation, l'ouvrage est soumis à plusieurs contraintes extérieures. Une vérification de sa stabilité s'avère nécessaire contre les risques cités.

1.a. Stabilité contre le glissement

Le coefficient de sécurité au glissement est donné sous la forme suivante :

$$K_g = \frac{\text{des forces stabilisatrices}}{\text{des forces d'entraînements}} = \frac{f (G - W \emptyset)}{P}$$

$$f = \text{coefficient de frottement } (0,65 \quad 0,75)$$

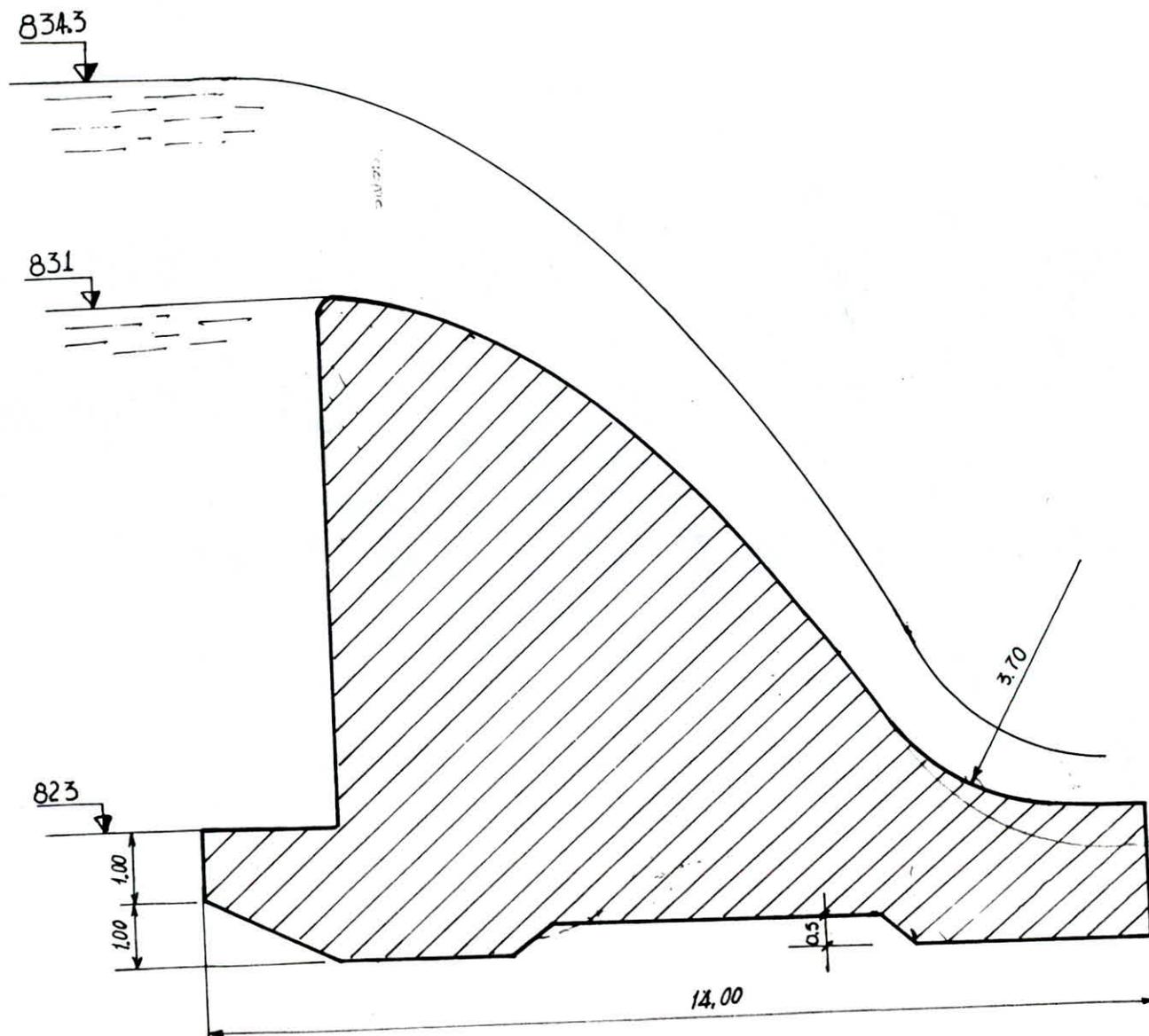
G : Poids de l'ouvrage

$$\text{avec } G = \frac{1}{2} \gamma b \cdot b \cdot h$$

TABLEAU N° 41

PROFIL : H = 1,0m		PROFIL : H = 3,3m	
X	y	X	y
0,0	0,126	0,00	0,4158
0,1	0,036	0,33	0,118
0,2	0,007	0,66	0,0231
0,3	0,00	0,99	0,00
0,4	0,006	1,32	0,0198
0,5	0,027	1,65	0,089
0,6	0,060	1,98	0,198
0,7	0,100	2,31	0,33
0,8	0,146	2,64	0,462
0,9	0,198	2,97	0,850
1,0	0,256	3,3	0,8448
1,1	0,321	3,63	1,059
1,2	0,394	3,96	1,300
1,3	0,475	4,29	1,567
1,4	0,564	4,62	1,861
1,5	0,661	4,95	2,18
1,6	0,764	5,28	2,52
1,7	0,873	5,61	2,88
1,8	0,987	5,94	3,25
1,9	1,108	6,27	3,65
2,0	1,235	6,6	4,07
2,1	1,369	6,93	4,517
2,2	1,508	7,26	4,97
2,3	1,653	7,59	5,44
2,4	1,804	7,92	5,94
2,5	1,98	8,25	6,534

PROFIL DE L'EVACUATEUR DE CRUE



Echelle: 1/100

γ_b : Poids spécifique du béton -- [$\gamma_b = 2,4 \text{ t/m}^3$]

h : Hauteur au niveau normal --- [$h = 8,00 \text{ m}$]

b : base de l'ouvrage - - - - - [$b = 14,00 \text{ m}$]

d'où $G = 134,4 \text{ t/ml}$

* Poussée de l'eau sur le paroi amont :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2$$

$\gamma = 1 \text{ t/m}^3$ - - - - - \rightarrow poids de l'eau

d'où $P = 32 \text{ t/ml}$

* Pression de l'eau d'infiltration

$$W \emptyset = \frac{1}{2} \alpha \cdot \gamma \cdot h \cdot b$$

α : coefficient de réduction des sous-pression (0,5 1)

$$\text{d'où } W \emptyset = \frac{1}{2} (0,5) \cdot (1) \cdot 8 \cdot 14 = 56 \text{ t/ml}$$

Tout calcul fait on obtien :

$$K_g = \frac{G - W \emptyset}{P} = 1,47$$

1.b. Stabilité contre le renversement

Le coefficient de sécurité au renversement s'exprime comme suit :

$$K_r = \frac{\text{Moment des forces retenantes}}{\text{Moment des forces renversantes}}$$

$$\text{Moments retenant/c} = (G - W \emptyset) \cdot \frac{2 \cdot b}{3} = 731,73 \text{ t.m}$$

$$\text{Moments renversant/c} = \frac{1}{3} P \cdot h = 86,33 \text{ t.m}$$

d'où $K_r = 8,57$

1.c. Stabilité contre le soulèvement

Le coefficient de sécurité au soulèvement est donné par l'expression suivante :

$$K_s = \frac{\text{forces empêchant le soulèvement}}{\text{forces provoquant le soulèvement}} = \frac{G + P1}{W \emptyset}$$

P1 : poids de l'eau sur la console amont à la base du déversoir

$$P1 = \gamma_{\text{eau}} \cdot b1 \cdot h = 16 \text{ t/ml}$$

b1 : largeur de la console de la base du déversoir
d'où on obtient

$$K_s = 2.68$$

Nb : Suivant les valeurs des coefficients de sécurité trouvés, la stabilité de l'ouvrage est largement vérifiée. D'où aucune modification sur ces dimensions n'est à apporter.

2.4.2. CARACTERISTIQUES DE L'EVACUATEUR DE CRUE

2.a. bassin d'amortissement

Il sert à atténuer l'énergie cinétique de l'eau et les affouillements à l'aval de celui-ci.

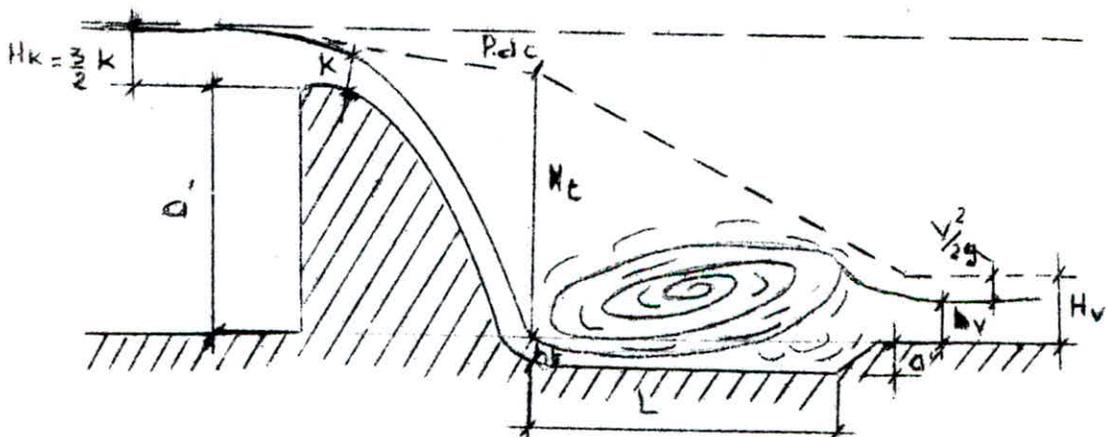
2.b. Calcul hydraulique

Hypothèses :

$$Q_{\text{max}} = 1990 \text{ m}^3/\text{s}, \quad b = 150\text{m}, \quad H_d = 3,3\text{m}; \quad a'' = 0,5\text{m}$$

$$\text{* Débit spécifique : } q = \frac{Q}{b} = 13,26 \text{ m}^2/\text{s}$$

* Schéma de calcul :



En établissant les équations suivantes on a :

$$a' + Hk = H_v + \Delta H \quad (1)$$

$$H = h + \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

$$\text{d'où on a } K = \sqrt[3]{\frac{9^2}{g}} = 2,59\text{m}$$

* La charge critique est :

$$Hk = \frac{3}{2} K = 3,885 \text{ m}$$

En négligeant les pertes de charges sur le parement aval du déversoir

* La charge au pied du déversoir

$$H = h_t + \frac{Vt^2}{2g} = Hk + (Cs - Cp)$$

h_t : profondeur d'eau au pied du déversoir

Vt : Vitesse d'écoulement au pied du déversoir

Cs : Côte du seuil (m) $Cs = 831 \text{ m}$

Cp : Côte du radier (m) $Cp = 823 \text{ m}$

$$\text{d'où } H = Hk + (Cs - Cp) = 11,885\text{m}$$

$$\text{avec } H_t = \frac{H}{K} = 4,58$$

à partir de l'abaque 18 a on tire

$$100 h_t^+ = 35 \rightarrow h_t^+ = 0,35 \rightarrow h_t = h_t^+ \times K = 0,9065$$

$$L^+ = 13 \rightarrow L = L^+ \times K = 33,67 \simeq 34\text{m}$$

* Côte du fond amont :

$$H_m = a' + Hk = 11,885 \text{ m}$$

* Profondeur au fond du radier

$$a' + 1,5K - H_t = a'' = 0,5 \text{ m}$$

d'où on déduit après calcul

- Longueur du bassin d'amortissement : $L = 34,00 \text{ m}$

- La hauteur d'eau au pied du déversoir : $h_t = 0,90 \text{ m}$

Le bassin d'amortissement sera réalisé en béton qui aura une section rectangulaire de $(34 \times 150)\text{m}$ et une hauteur de $4,00\text{m}$

2.c. Canal de l'évacuateur

Le canal aura pour rôle de véhiculer le débit de crue vers l'oued, passant par le bassin d'amortissement et aura une forme trapézoïdale et linéairement convergent afin d'atteindre une largeur de 20,0 m.

- Sa pente géométrique est déterminée par les conditions topographiques

$$J_0 = \frac{823 - 798}{290} = 0,086$$

2.d. Étude de l'écoulement dans le canal évacuateur

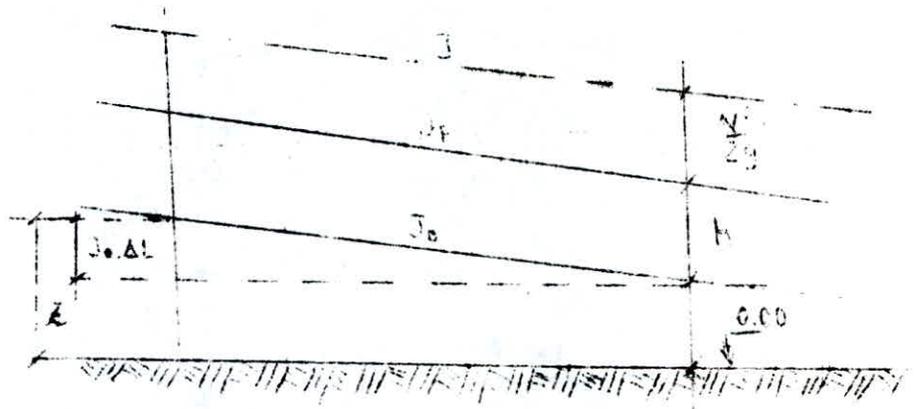
Le débit à évacuer sera véhiculé dans un canal à section trapézoïdale et linéairement convergent. L'écoulement dans le canal est graduellement varié dont l'équation caractéristique est définie par l'équation suivante :

$$dL = \frac{1 - Q^2 \cdot e/g \cdot A^2}{J_u - J} dh$$

$$L_{1.2} = \int_{h_1}^{h_2} \frac{1 - Q^2 \cdot e/g \cdot A^2}{J_u - J} dh$$

Dans un tel écoulement les paramètres hydrauliques sont variables et son profil en long est nommé "courbe de remous".

Par définition, le remous dans section donnée est la différence entre la profondeur réelle (h) et la profondeur normale (h_u) ; ce qui correspond à un régime uniforme pour un débit considéré



Si Δl tend vers zéro, on aura la variation de la charge totale par unité de longueur se confond avec J

$$\text{où } J = \frac{d}{dl} \left[\frac{v^2}{2g} + z_0 - J_0 \cdot L + h \right] \rightarrow (1)$$

z_0 : Profondeur qui correspond à $L = 0.00$ m

En appliquant l'équation de continuité pour un écoulement permanent sera :

$$Q = V \cdot S, \text{ avec } Q = \text{constante} \rightarrow (3)$$

$$\text{avec } J = \left[-\frac{v}{g} \frac{dv}{dl} + J_0 - \frac{dh}{dl} \right] \rightarrow (2)$$

$$\left[S = \frac{dV}{dl} + V \cdot \frac{ds}{dl} = 0 \right] \rightarrow (4) \text{ posant } ds = e \cdot dh$$

e : Largeur du plan d'eau

l'expression (4) devient

$$\frac{dV}{dl} = \frac{V \cdot e}{S} \cdot \frac{dh}{dl} = \left[-\frac{Q \cdot e}{S^2} \cdot \frac{dh}{dl} \right] \rightarrow (5)$$

En éliminant $\frac{dV}{dl}$ entre l'équation (2) et (5) on aura

$$\frac{Q^2 \cdot e}{g \cdot S^3} \cdot \frac{dh}{dl} + J_0 - \frac{dh}{dl} = J \rightarrow (6)$$

$$\text{d'où } dl = \frac{1 - \frac{Q^2 \cdot e}{g \cdot S^3}}{J_0 - J} \rightarrow (7)$$

Avec :

dl : distance entre deux sections consécutives (m)

Q : débit véhiculé (m^3/s)

e : largeur du plan d'eau (m)

g : accélération de la pesanteur (m/s)

s : section mouillée (m^2)

J_0 : pente géométrique du canal

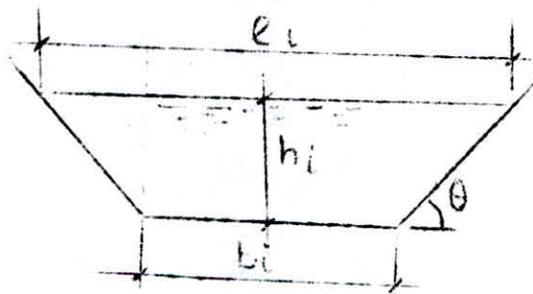
J : gradient de perte de charge

dh : différence des profondeurs d'eau entre deux sections (m).

La détermination de la courbe de Remous se fait par l'intégration de l'équation déduite (7).

Les calculs des paramètres du Remous sont donnés par l'utilisation d'un programme pour T.1 59 établi par Mr G. LARIVIER (Ex. Maître de conférence à l'E.N.P.).

2.e. Section du canal évacuateur



* Formules de base

- Largeur à la base du canal

$$b_i^{i-1} = b_0 + \frac{bn + b_0}{Ln} \cdot \left(Li + \frac{L}{2} \right) \quad (m)$$

- Section mouillée moyenne des tronçons

$$A_i = \left(h_i + \frac{\Delta h_i}{2} \right) \cdot \left[b_i^{i-1} + 2 \left(h_i + \frac{\Delta h_i}{2} \right) \right]$$

- Périmètre mouillé moyen du tronçon

$$P_i = b_i i^{-1} + \left(h_i + \frac{h_i}{2} \right)$$

- Paramètres des talus

$$I = 2 \sqrt{1 + I^2}$$

- Inclinaison des talus

$$I = \cotg. \theta$$

b_i : profondeur initiale d'eau (m)

b_0 : profondeur initiale du canal (m)

b_n : largeur finale du canal (m)

L_n : longueur du canal (m)

b_i^{i-1} : largeur moyenne du tronçon (m)

2.6. Calcul du coefficient de frottement

Le coefficient de frottement est donné par la formule de NIKURADZE, en admettant que le régime est turbulent rugueux

$$f_r = \left(1,14 - 0,86 P_n \frac{\xi}{D_h} \right)^{-2}$$

: coefficient de rugosité

D_h : diamètre hydraulique. $D_h = \frac{4 \cdot A_i}{P_i}$

2.9. Calcul du gradient des pertes de charge

Le gradient de pertes de charge est donné par la formule de WEISBACH

$$J = \frac{f_r \cdot Q^2}{D_h \cdot A^2 \cdot 2g}$$

1) Introduire :

$\nu = 10^{-6}$	ST0.00	$Q = 1990 \text{ m}^3/\text{s}$	ST0.01
$\xi = 10^{-3}$	ST0.02	$z_0 = 0.086$	ST0.03
$L_0 = 0$	ST0.06	$h_0 = 0.90$	ST0.08
$b_0 = 150$	ST0.18	$L_n = 290$	ST0.20
$K_0 = 2.59$	ST0.27	$H_{u0} = 0.75$	ST0.37
$I = 10^{-6}$	ST0.05	$b_n = 20$	ST0.16
		$\Delta L = 5$	ST0.15
$0.001 \text{ x } \Leftrightarrow t$		$\Delta h \text{ varie par tranche}$	ST0.17

2) Appuyer sur :

"A"	$h_u + \frac{\Delta H}{2} = 0.895$	ST0.07
RCL09	$X = 2 \sqrt{1 + X^2} = 2$	
"B"	$L_{0-1} = 6.5379$	ST0.06
RCL08	$h_i = 0.89$	
RCL04	$b_i = 148.53$	
RCL29	$\epsilon/Oh = 0.000282$	
RCL19	$R = 5.29 \cdot 10^7$	régime turbulent rugueux.
RCL12	$f = f_r = 0.01499$	
"C"	$K_1 = 2.635$	ST0.27
"D"	$h_u = 0.748$	ST0.37

Pour remplir les tableaux donnant les types de remous, on doit appuyer uniquement sur "B" ; "C" ; "D" tout en faisant varier les Δh chaque fois qu'il est nécessaire

PROGRAMME DONNANT LE PROFIL EN LONG DE LA SURFACE LIBRE
EN CANAL TRAPEZOIDAL LINEAIREMENT CONVERGENT

LRN 2nd LBLA RCL05 X² + 1 = √X X 2 = STO09 RCL08 + RCL17 ÷ 2 = STO07 R/S
 025 2nd LBLB RCL15 STO14 ÷ 2 + RCL06 = ÷ RCL20 X (RCL16 - RCL18) + RCL18 = STO04
 054 X RCL07 + RCL05 X RCL07 X² = STO10 Y 4 + (RCL04 + RCL09 X RCL07) ÷ STO11
 083 1/X X RCL02 = STO29 Ln X X .86 - 1.14 = X² 1/X STO12 1 - RCL01 X² X (RCL04 + 2 X RCL05
 119 X RCL07) ÷ 9.8 ÷ RCL10 Y³ = STO13 ÷ (RCL03 - RCL12 X (RCL01 + RCL10) X² + RCL11 ÷
 155 19.6) X RCL17 = STO15 - RCL14 = 2nd |X| 2nd X > E RCL15 2nd |X| SUM06 RCL17 SUM
 181 08 RCL08 + RCL17 ÷ 2 = STO07 RCL01 + RCL10 X RCL11 ÷ RCL00 = STO19
 206 RCL06 R/S

* ALLURE de la profondeur critique hypothétique

209 2nd LBL C RCL04 + 2 X RCL05 X RCL27 = STO31 RCL04 + RCL05 X RCL27 =
 233 X RCL27 = STO30 1/X Y³ X RCL31 X RCL01 X² + 9.8 = STO28 Y³
 259 X RCL27 = STO27 RCL28 - 1 = 2nd |X| 2nd X > t C RCL09 X RCL27 + RCL04
 281 = STO26 1/X X RCL30 X 4 = STO23 1/X X RCL02 = STO21 Ln X X .86 -
 306 1.14 = X² 1/X STO24 ÷ RCL23 X RCL01 X² ÷ RCL30 X² ÷ 19.6 = STO22
 334 + RCL03 = 1/X STO25 RCL27 R/S

* ALLURE de la profondeur normale hypothétique

344 2nd LBL D RCL04 + RCL05 X RCL37 = X RCL37 = STO40 RCL04 + RCL37 X RCL09
 369 = STO36 1/X X 4 X RCL40 = STO33 ÷ RCL02 = 1/X STO39 Ln X X .86 - 1.14
 398 = X² 1/X STO35 ÷ RCL33 X RCL01 X² + RCL40 X² + 19.6 = STO32 ÷ RCL03 =
 426 Y³ X RCL37 = STO37 RCL32 - RCL03 = 2nd |X| 2nd X > E D RCL01 + RCL40 =
 450 STO34 X RCL33 ÷ RCL00 = STO38 RCL37 R/S

Remous descendant type P₂
 Turbulent rugueux
 Torrentiel, supernormal

L _i	h _i	b _i ⁻¹	K _i	h _{ui}
0.00	0.90	148.53	2.59	
6.53	0.89	145.28	2.635	0.748
14.48	0.88	141.190	2.675	0.758
24.819	0.87	138.577	2.725	0.772
26.140	0.868	137.990	2.760	0.781
27.44	0.867	137.393	2.768	0.783
28.80	0.866	136.768	2.776	0.785
30.23	0.865	136.110	2.784	0.787
31.735	0.864	135.416	2.793	0.790
33.328	0.863	134.679	2.803	0.792
35.024	0.862	133.892	2.813	0.795
36.841	0.861	133.044	2.824	0.798
38.806	0.860	132.122	2.836	0.801
40.954	0.859	131.105	2.846	0.805
43.342	0.858	129.961	2.864	0.809
46.058	0.8577	129.281	2.881	0.813
46.357	0.8578	129.151	2.891	0.816
46.657	0.8579	129.077	2.893	0.816
46.687	0.85780	129.077	2.894	0.817
46.717	0.85781	129.064	2.894	0.817
46.740	0.85791	129.111	2.894	0.817
47.049	0.85801	128.977	2.894	0.817
47.354	0.85811	128.841	2.896	0.817
47.663	0.85821	128.703	2.898	0.818
47.976	0.85831	128.564	2.900	0.818
48.292	0.85841	128.423	2.902	0.819
48.614	0.85851	128.280	2.904	0.819
48.939	0.85861	128.133	2.906	0.820
49.259	0.85871	127.993	2.908	0.820
49.594	0.85881	127.844	2.910	0.821
49.934	0.85891	127.693	2.913	0.822
50.279	0.85901	127.539	2.915	0.822
50.630	0.85911	127.383	2.917	0.823
50.987	0.85921	127.224	2.920	0.823
51.351	0.85931	127.063	2.922	0.824
51.720	0.85941	126.899	2.925	0.825
52.097	0.85951	126.732	2.927	0.825
52.481	0.85961	126.558	2.930	0.826
52.855	0.85971	126.395	2.932	0.827
53.255	0.85981	126.218	2.935	0.828
53.664	0.85991	126.037	2.938	0.828
54.083	0.86001	125.852	2.940	0.829
54.511	0.86001	125.662	2.943	0.830
54.951	0.86011		2.946	0.831

Remous ascendant type P₃
 Turbulent rugueux, torrentiel
 subnormal

L _i	h _i	b _i ⁻¹	K _i	h _{ui}
55.403	0.86021	125.467	2.949	0.831
		125.268		
55.868	0.86031	125.063	2.952	0.832
56.347	0.86041	124.851	2.956	0.833
56.842	0.86051	124.633	2.959	0.834
57.354	0.86061	124.408	2.962	0.835
57.885	0.86071	124.175	2.966	0.836
58.438	0.86081	123.932	2.970	0.837
59.016	0.86091	123.680	2.974	0.838
59.621	0.86101	123.416	2.978	0.839
60.259	0.86111	123.138	2.982	0.840
60.935	0.86121	122.845	2.986	0.841
61.656	0.86131	122.432	2.991	0.843
61.975	0.86141	122.397	2.998	0.844
62.777	0.86151	122.055	2.998	0.845
63.656	0.86161	121.684	3.004	0.846
64.639	0.86171	121.276	3.010	0.848
65.768	0.86181	120.821	3.017	0.849
67.123	0.86191	120.303	3.024	0.851
68.877	0.86201	119.715	3.033	0.854
71.518	0.86211	117.373	3.043	0.856
74.047	0.86221	116.477	3.083	0.867
75.512	0.86231	115.891	3.099	0.871
76.665	0.86241	115.411	3.110	0.874
77.649	0.86251	114.995	3.118	0.876
78.523	0.86261	114.621	3.126	0.878
79.318	0.86271	114.278	3.133	0.880
80.052	0.86281	113.960	3.139	0.882
80.738	0.86291	113.661	3.145	0.883
81.385	0.86301	113.379	3.150	0.885
81.999	0.86311	113.110	3.155	0.886
82.584	0.86321	112.853	3.160	0.888
83.144	0.86331	112.607	3.165	0.889
83.683	0.86341	112.370	3.170	0.890
84.203	0.86351	112.141	3.174	0.892
84.705	0.86361	111.919	3.179	0.893
85.192	0.86371	111.704	3.183	0.894
85.665	0.86381	111.495	3.187	0.895
86.125	0.86391	111.291	3.191	0.896
86.573	0.86401	111.093	3.195	0.897
87.010	0.86411	110.899	3.199	0.898
87.437	0.86421	110.710	3.202	0.899
87.855	0.86431	109.779	3.206	0.900
91.588	0.86531	108.213	3.224	0.906
94.844	0.86631		3.225	0.913

Vidange de fond :

Cet ouvrage a pour but d'abaisser le niveau d'eau de la retenue en cas de nécessité ainsi que d'évacuer une partie du débit en cas de crue exceptionnelles.

Vu les données relatives à l'apport, le volume vidange est de 25 % du volume utile du réservoir. Un délai de 21 jours est fixé pour la vidange.

$$V_{\text{vid}} = 0,25 V_u$$

$$V_{\text{vid}} = 8 \text{ mm}^3$$

Le débit correspondant est : $\varnothing \text{ vid} = 4,41 \text{ m}^3/\text{s}$

En prenant un diamètre de 1500 mm pour la conduite, la vitesse d'écoulement à l'intérieur de cette conduite est $V = 2,5 \text{ m/s}$; cette valeur est comprise entre 2 et 4 m/s donc elle est admissible, donc $\varnothing = 1500 \text{ mm}$ $V = 2,5 \text{ m/s}$

La conduite de vidance sera en acier et une protection extérieure de couches peintures est prévue pour éviter la corrosion.

IV.3' - Prise d'eau

Généralités :

L'ouvrage est destiné comme son nom l'indique à un prélèvement d'un débit pour l'irrigation (notre cas) ; ce débit sera véhiculé par une conduite qui empruntera la galerie.

Détermination du débit de prise :

d'après les données relatives à l'apport, la demande se fera sentir pendant l'été ; pour cela nous retiendrons le volume de prise égale à 15 % du volume utile par mois.

d'où :

$$V_u = 32 \text{ mm}^3$$

Le volume de prise est : $V_p = 0,15.V_u$.

Le débit de prise est $Q_p = \frac{V_p}{T}$.

$$Q_p = \frac{0,15 \times 32 \cdot 10^6}{31 \times 24 \times 3600} = 1,79 \text{ m}^3/\text{s}$$

avec un $\phi = 900 \text{ mm}$ nous aurons :

$$V = \frac{Q_p}{D^2/4} = 2,81 \text{ m/s}$$

Disposition

Les fenêtres seront disposées à des niveaux différents et équipées de vannes-robinets réglables et commandées du bas de la tour. La conduite principale sera placée dans la galerie sur une dalle en fenêtre. La fenêtre du bas sera placée à 2m du niveau mort et ce pour éviter le phénomène du Vortex.

La conduite sera en acier et une protection s'avère nécessaire pour s'opposer à la corrosion. Cette protection se fera par application de couches de peintures à l'extérieur de la conduite.

Calcul économique

Une estimation approximative de l'ensemble de l'ouvrage à réaliser et ce du fait de la variation des prix unitaires dûs à l'emplacement du chantier ; les calculs sont récapitulés dans le tableau suivant.

Estimation des coûts

Designation	unité	Quantité	Prix (DA) unitaire	Prix total (M DA)
<u>A/ Digue</u>				
- Decapage	m ³	12,4305	70	8,7
- recharge	m ³	1422919,95	120	17,15
- enrochements	m ³	2986,66	160	0,47
- Drain + filtre	m ³	12800,00	410	5,247
- rip-rap	m ³	2133,33	170	0,36
<u>B/ NOYAU</u>				
- Argile	m ³	15866,64	160	2,53
<u>C/ EVACUATEUR DE CRUES</u>				
- Deblais	m ³	11900	2090	14,107
- beton armé	m ³	7000	2000	14
<u>d/ bassin d'amortissement</u>				
- deblais	m ³	20400	90	1,83
- beton armé	m ³	5100	2000	10,20
<u>e/ canal evacuateur</u>				
- Deblai	m ³	1275	90	0,11
- beton armé		2375,5	3500	8,30
<u>F/ GALERIE DE VIDANGE</u>				2
<u>G/ prise d'eau</u> + conduite de vidange + équipement				7
				78,967
			Annuité 30%	23,69
			total	102,657 M DA

CONCLUSION

Suivant l'étude faite à base des données géologiques, hydrologiques et géotechniques disponibles, nous pouvons en conclure que le barrage "HOUSN.EL.MAACH" est techniquement réalisable du fait de la disponibilité des matériaux nécessaires à sa construction à proximité du site et du réseau routier existant.

Cette réalisation répondra aux besoins en eau pour l'irrigation et contribuera à l'atténuation des crues.

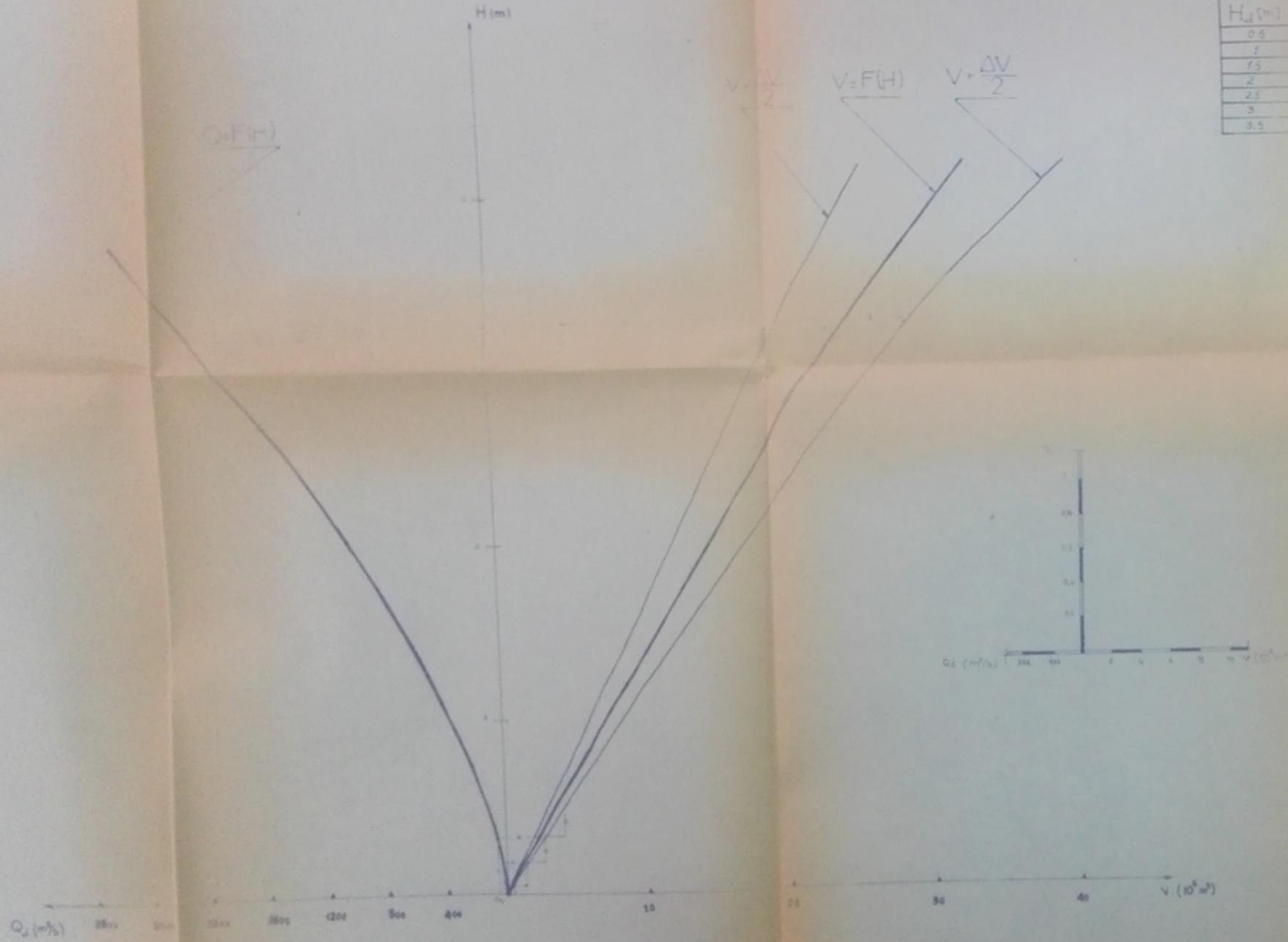


BIBLIOGRAPHIE

- ROCHE. M *Hydrologie de surface*
- SCHNEEBELI. G *Hydraulique Souterraine (Eyrolles)*
- CARLIER. M *Hydraulique Générale (Eyrolles)*
- MALLET & PAQUANT *Barrage en Terre (Eyrolles)*
- BELOKONEV. E *Barrage en matériaux Locaux (Polycopies
I.H.B)*
- E. N. P. A. *Thèse de fin d'études (84 - 85)*
- LARRAY. G *Théorie de la longueur fluidodynamique
(E.N.P.A.)*

LAMINAGE DE CRUES

Logo of the National Polytechnic School of Algiers



H_d (m)	Q_d (m³/s)	Q_{d0} (m³/s)	ΔV (m/s)
0.5	177.55	177.55	0.212
1	332.09	332.09	0.537
1.5	482.97	482.97	1.03
2	635.14	635.14	1.63
2.5	787.55	787.55	2.34
3	940.21	940.21	3.10
3.5	1103.09	1103.09	3.91

DEPARTEMENT: GENIE, HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Logo of the National Polytechnic School of Algiers

ETUDE DE FAISABILITE D'UN BARRAGE SUR OUED EL ARAB

W. KHENCHLA

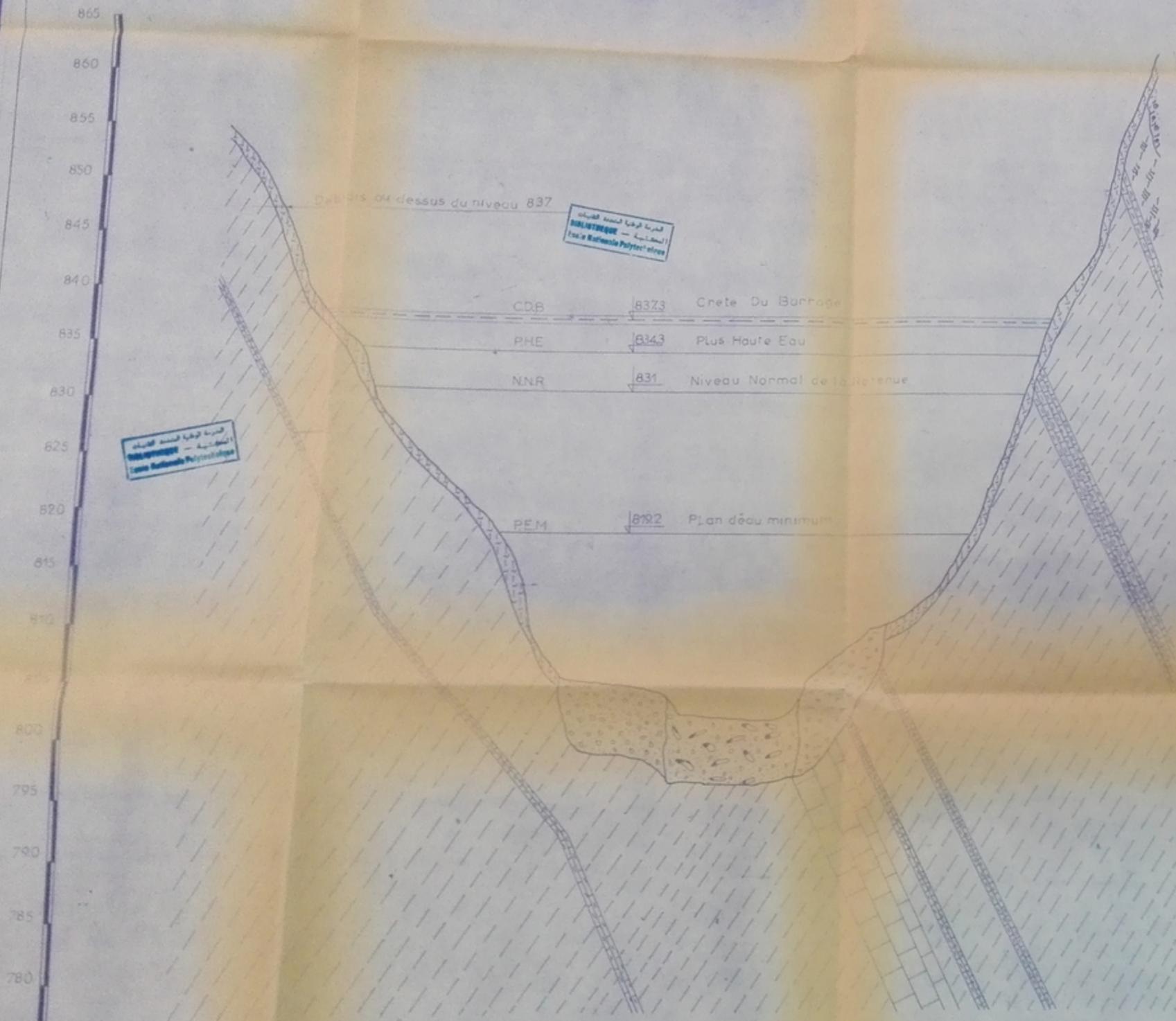
PH02686
-1-

DETERMINATION DE LA LAME DEVERSEE

ETABLI PAR:	MAZZOUNI A	63	PLANCHE N°2
VERIFIE PAR:	MGAMRAOUM	64	ECHÉLON
	MMOULOUDI Y	65	

PROMOTION: JUIN 85

COUPE GEOLOGIQUE



LEGENDE

	Marnes grise foncé
	Calcaires résistants
	Calcaires marnieux
	Marnes peu altérée
	Qued alluvial gravier, galet, bloc avec sable
	Terrasses supérieures galet, gravier avec du sable
	Colluvion

PH02650
2

REPUBLICAIN ALGERIENS DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT: GENIE HYDRAULIQUE

PROJT. DE FIN D'ETUDES

ETUDE DE FAISABILITE DU BARRAGE

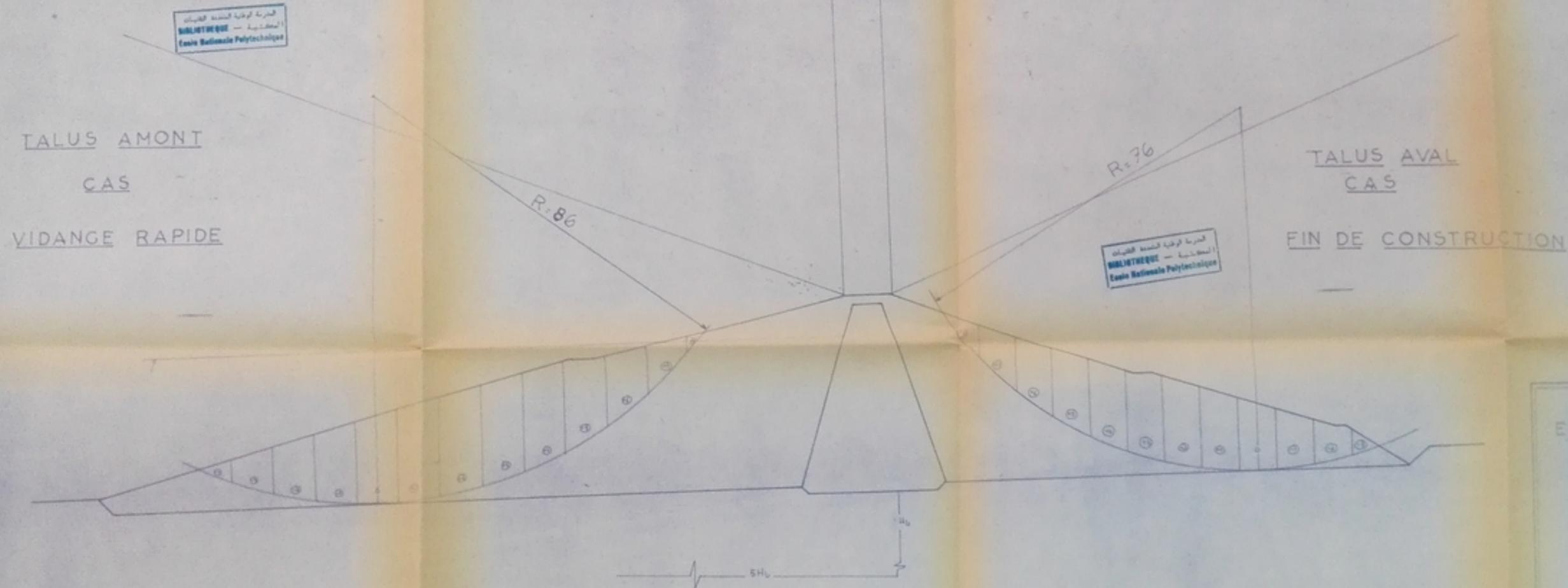
AU SITE: HOUSNA, EL MARCH

المعهد الوطني للتكنولوجيا
الطبيعية - الهندسية
Ecole Nationale Polytechnique

المعهد الوطني للتكنولوجيا
الطبيعية - الهندسية
Ecole Nationale Polytechnique

COUPE GEOLOGIQUE			
Écrit par	MEGAMBAOUI M		PLANCHE N°2
	MAZZOUNI A		
Tracé par	MEMOULOUDI Y		Echelle Hor: 1/2000 Ver: 1/200
PROMOTION: JUIN 86			

STABILITE DES TALUS



TALUS	TYPE DE FONCTIONNEMENT	COEFFICIENT DE STABILITE	
		SANS-SEISME	AVEC-SEISME
AVAL	FIN.DE.CONSTRUCTION $R=76$	1,90	1,34
	NORMAL $R=50$	4,98	1,37
AMONT	FIN.DE.CONSTRUCTION $R=100$	2,76	1,70
	VIDANGE.RAPIDE $R=86$	1,17	0,72

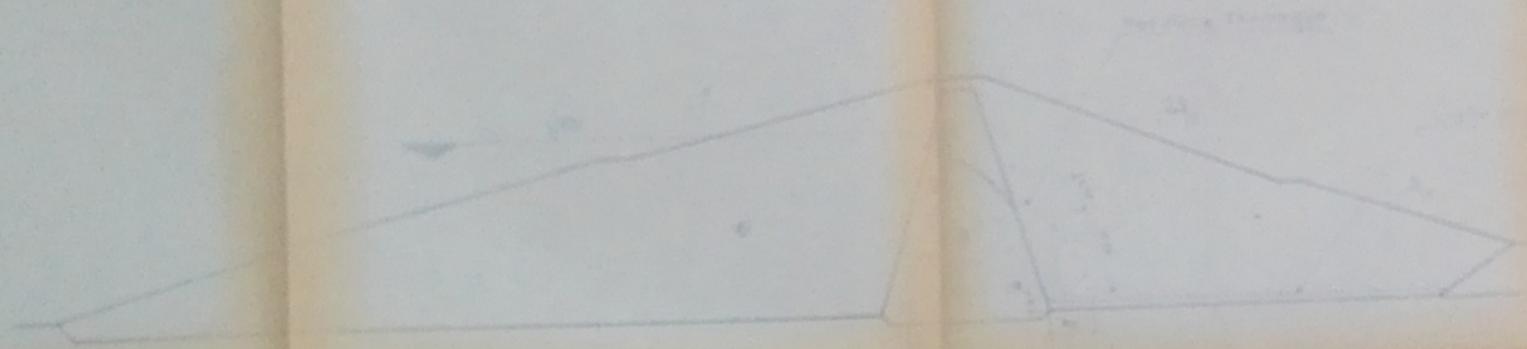
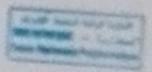
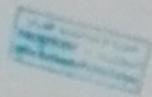
ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 DEPARTEMENT GÉNIE-HYDRAULIQUE
 PROJET DE FIN D'ÉTUDES
 ÉTUDE DE FAISABILITÉ D'UN BARRAGE
 SUR OUED EL ARAB

W. KHENCHLA

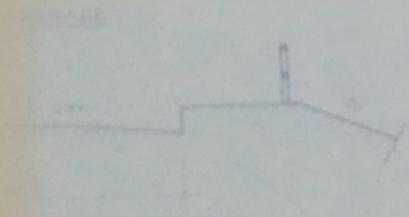
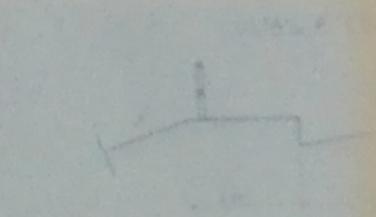
STABILITE DES TALUS

ETUDIÉ PAR	MAZZOUNI A	PLANCHE N° 3
	NIGAMRAOUI M	
DIRIGÉ PAR	MMOULOUDI Y	ECH: 1/500

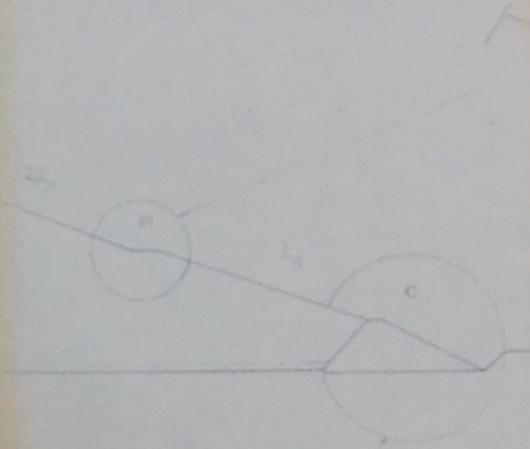
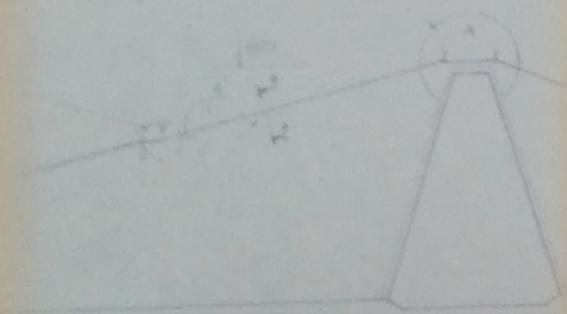
TRACÉ DE LA LIGNE DE SATURATION



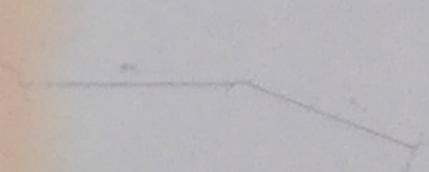
COUPE TYPE



DETAILED VIEW

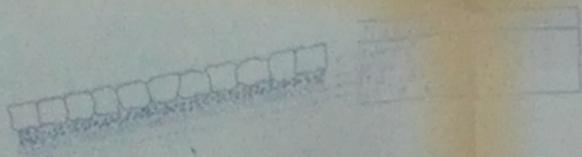


DETAILED VIEW

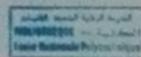
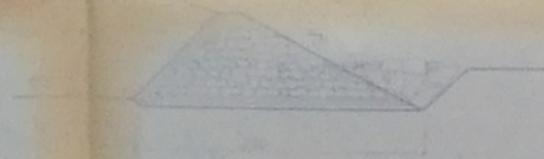


PH02686

4

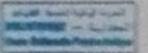


DETAILED VIEW



UNIVERSITÉ NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT GÉNIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

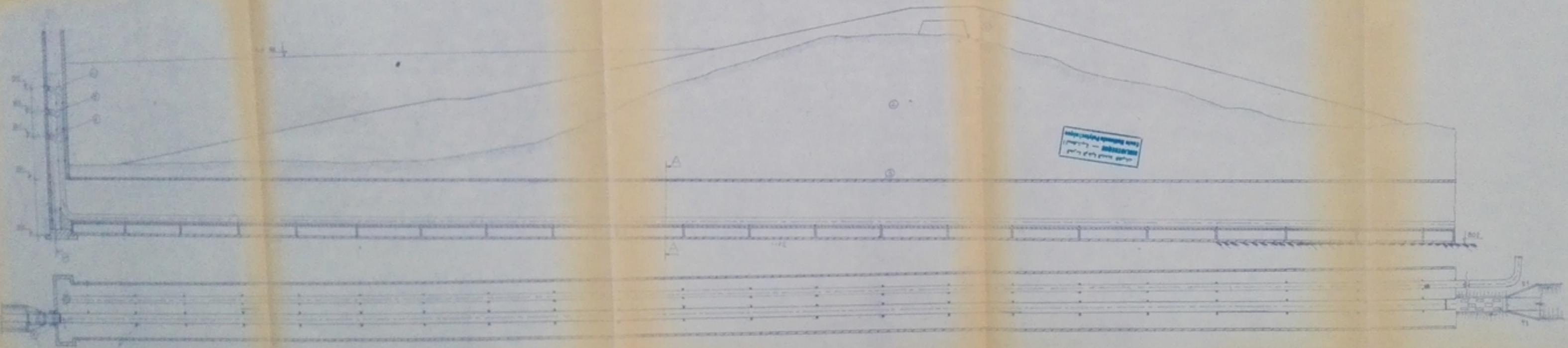


ÉTUDE DE LA VIABILITÉ D'UN BARRAGE
SUR QUÉBEC ET APRÈS

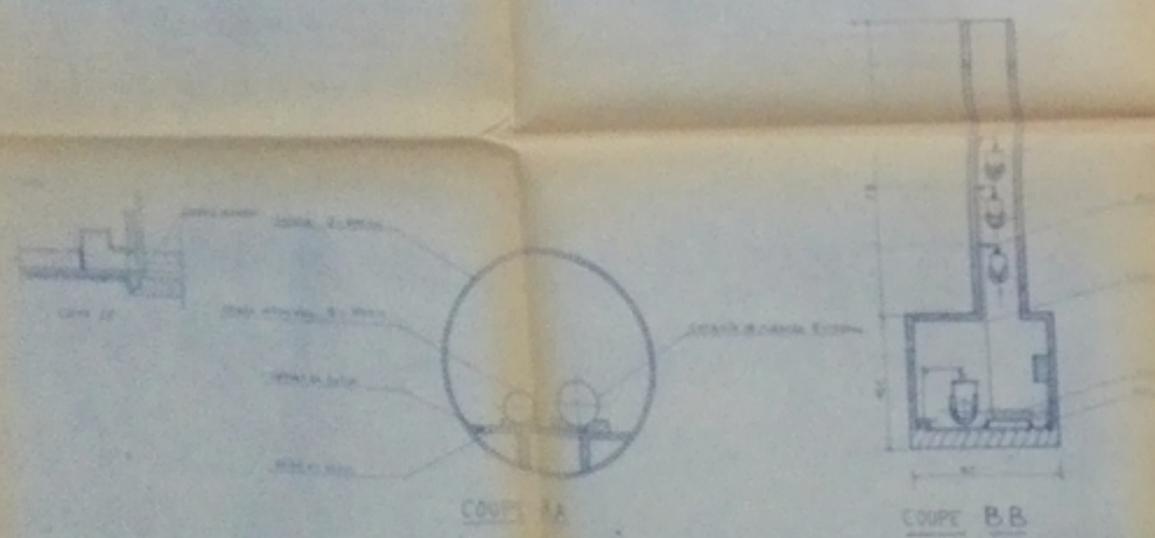
M. KHECHLE

TRACÉ DE LA LIGNE DE SATURATION
ET COUPE TYPE DE BARRAGE

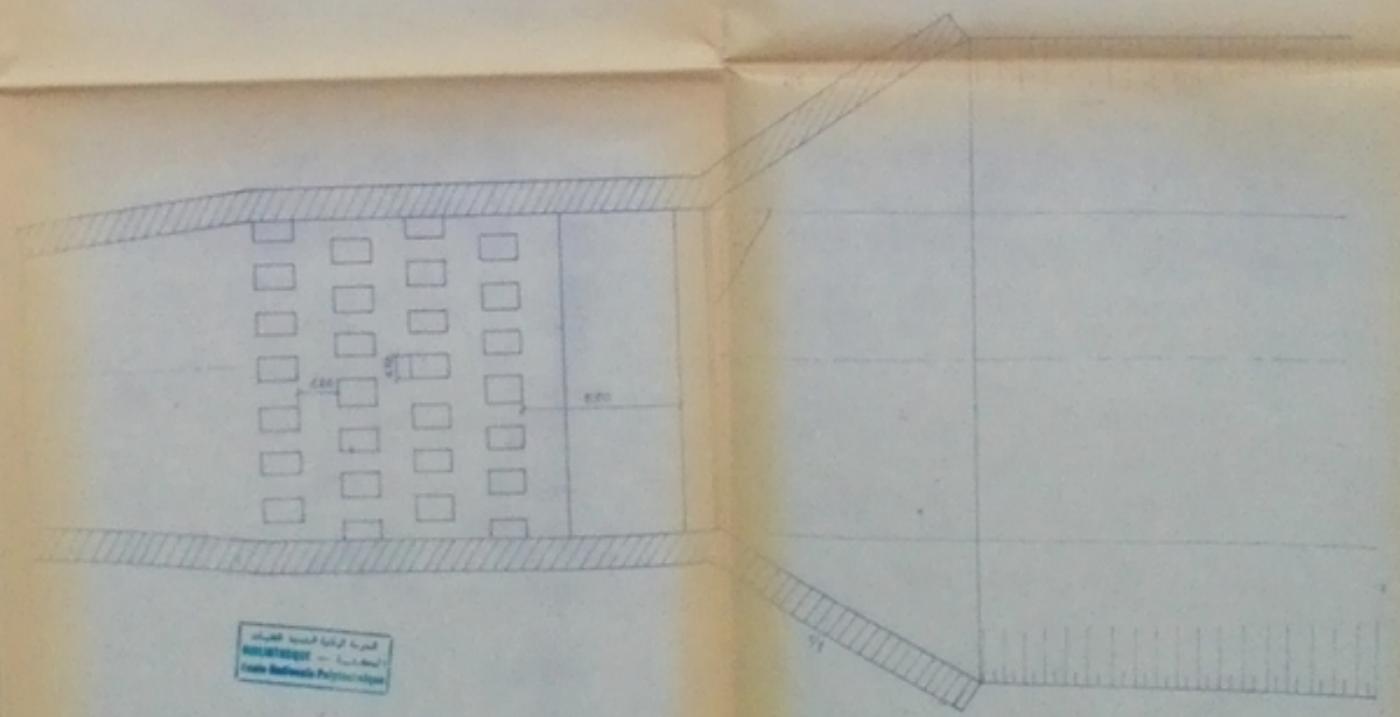
DATE PAR:	MARTELLA A	1968	PLANCHÉ
DATE PAR:	ARNAUD G	1968	102
DATE PAR:	ANTHONY J	1968	103



PH 08686
-7-



- LEGENDE
- ① CORPS DU BARRAGE
 - ② Terrain naturel
 - ③ Gote
 - ④ Tour
 - ⑤ Gouttière pour l'eau
 - ⑥ Fixation des pieux
 - ⑦ Coefficient de frottement



BASSIN DE DISSIPATION
ECH: 1/100

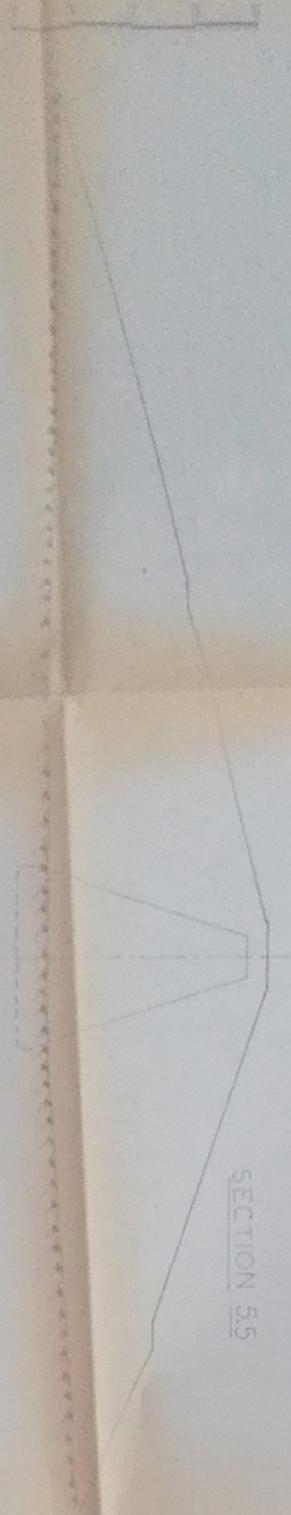
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT: GENE HYDRAULIQUE
PROJET DE FIN D'ETUDES
ETUDE DE FAISABILITE D'UN
BARRAGE SUR OUED EL ARAIS
W-KHENCHA

COUPE LONGITUDINAL DE LA DERIVATION

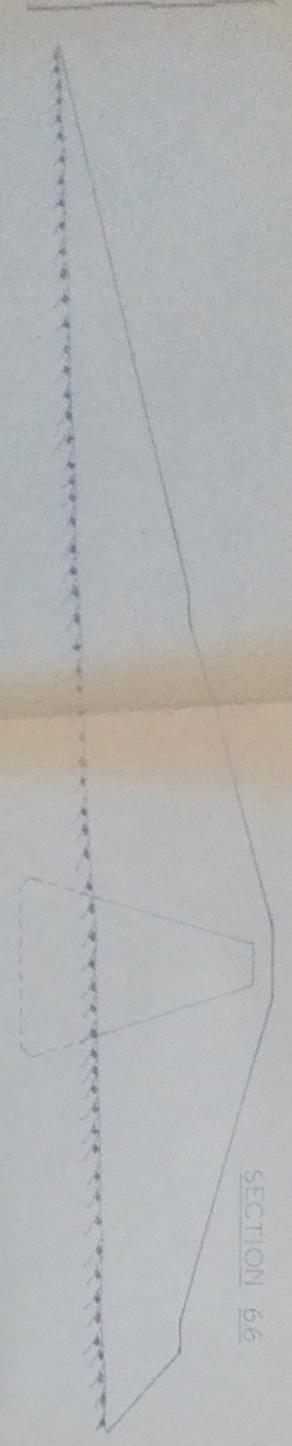
ETUDE PAR	MGAMRAOUM	PLANCHE
	M AZZOUNI	N° 7
DIRIGE PAR	MMOULOUDLY	ECH: 1/250

SECTIONS TRANSVERSALES DE LA DIGUE

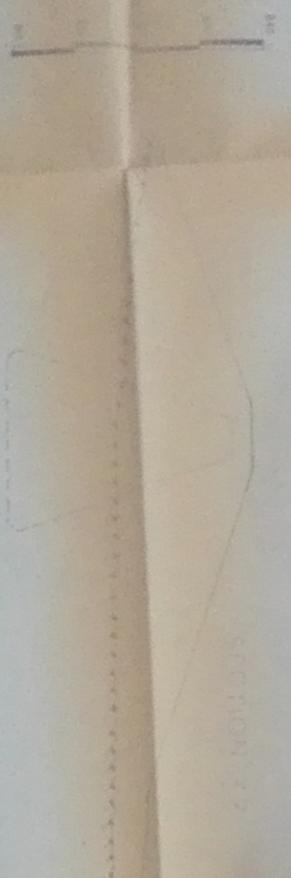
SECTION 35



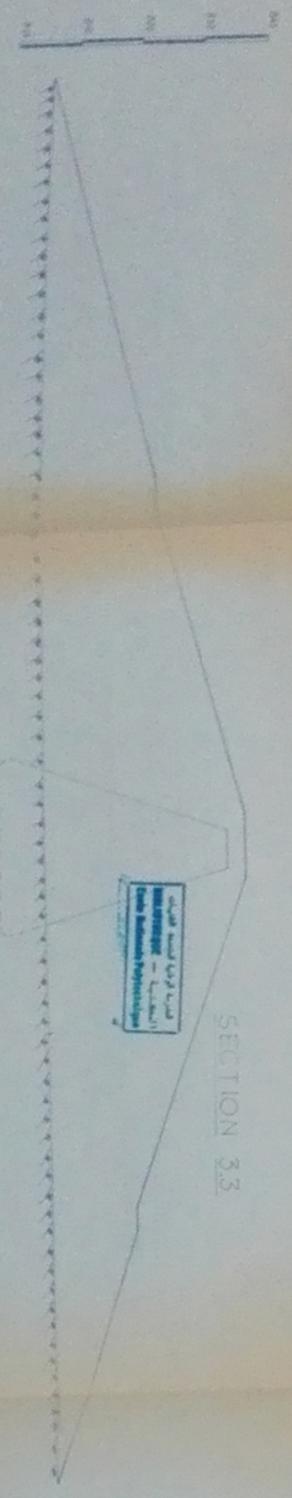
SECTION 66



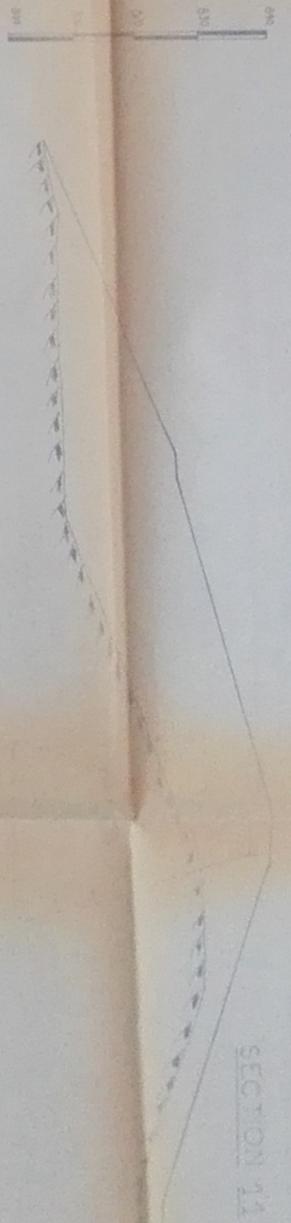
SECTION 72



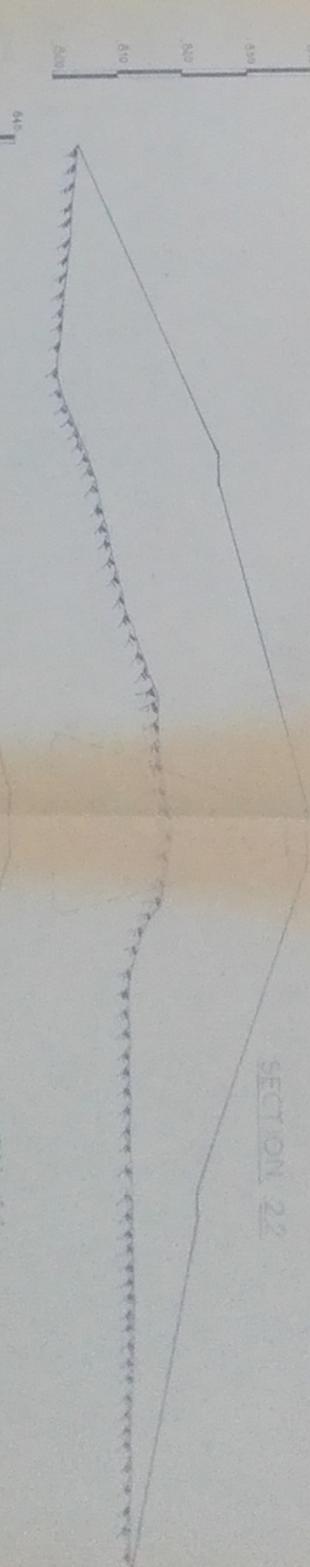
SECTION 33



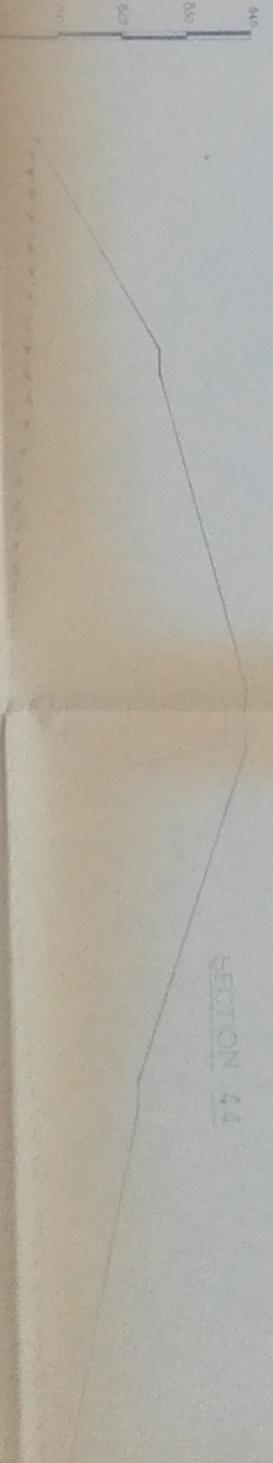
SECTION 11



SECTION 22



SECTION 44



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
 DEPARTEMENT GENE HYDRAULIQUE
 PROJET DE FIN D'ETUDE
 ETUDE DE FAISABILITE D'UN
 BARRAGE SUR QUED EL ARAIS

W. KHENCHLA

CALCUL DES DIFFERENTS
 VOLUMES DE TERRE DE L'OUVRAGE

Etude par	MAZYOUNI	PLAN N°8
Dirige par	MOULOUDY	ECH 1/300

PROJET JUN 86

PH02686

