

31/86

وزارة التعليم و البحث العلمي

20x

Ministere de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

Génie

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE
Hydraulique

Ecole Nationale Polytechnique

Projet De Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingenieur d'Etat

SUJET

ETUDE DE FAISABILITE D'UNE RETENUE COLLINAIRE

SUR OUED EL - HADJAR . AIN EL - KARMA .

W. (EL - TAREF)

8 PLANCHES

Proposé Par :

Etudié Par :

Dirigé Par :

D.H.W. EL-TAREF

DJEMILI. L.

MOULOUDI. Y.

LACHEHEUB. B.

PROMOTION ; JUIN 86

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم و البحث العلمي
Ministere de l'Enseignement et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT Génie

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Projet De Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingenieur d'Etat

SUJET

ETUDE DE FAISABILITE D'UNE RETENUE COLLINAIRE

SUR OUED EL - HADJAR. AIN EL - KARMA.

W. (EL - TAREF)

Proposé Par :

Etudié Par :

Dirigé Par :

D.H.W. EL-TAREF

DJEMILI. L.

MOULOUDI. Y.

LACHEHEUB. B.

PROMOTION ; JUIN 86

DEDICACES



Je dédie ce modeste travail à :

- Ma mère et mon père qui ont tant attendu ce jour;
- mon cousin amor;
- toute la famille;
- Ammar BAHLOUL et Hocine BOURECHROUCHE pour leurs aides matérielle. et morale;
- Tous mes amis dans l'Islam.

DJEMILLI Lakhdar

Je dédie ce modeste travail à :

- la mémoire de ma mère que dieu tout clément la misérecorde;
- à ma belle mère qui m'a longuement soutenu;
- à mon père qui a participé par tous les moyens à ma formation
- mes oncles Aboud, Azzouz et leurs familles;
- mes frères et soeurs;
- à Kaddour et sa famille;
- à Hocine ainsi que tous mes frères dans l'Islam.

LACHEHLUB Belkacem



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier :

- notre promoteur Mr. MOULOUDI Yahia, pour ses conseils et ses orientations.
- Tous les professeurs et responsables ayant contribué à notre formation.
- Mr. BENGOURA "ingénieur à la D.H.W. El-Taref" pour son aide et ses conseils.
- Toute personne ayant contribué à l'élaboration de cette thèse.

S O M M A I R E



INTRODUCTION

I^{ère} PARTIE : REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE

- I.1. Localisation
- I.2. Données du site

II^{ème} PARTIE : ETUDE HYDROLOGIQUE

- II.1. Présentation générale
- II.2. Climat
- II.3. Analyse de la pluviométrie annuelle
- II.4. Evaluation des apports liquides
- II.5. Caractéristiques du bassin versant
- II.6. Caractéristiques du réseau hydrographique
- II.7. Caractéristiques morphométrique
- II.8. Etude des crues
- II.9. Caractéristiques volumétriques de la retenue
- II.10. Composition chimique de l'eau
- II.11. Laminage des crues

III^{ème} PARTIE : ETUDE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

- III.1. Généralité
- III.2. Etude géologique du site
- III.3. Conception du barrage
- III.4. Réseau de l'écoulement
- III.5. Etude de la stabilité

IV^{ème} PARTIE : OUVRAGES ANNEXES

- IV.1. Dérivation provisoire
- IV.2. Evacuateur de crue
- IV.3. Vidange de fond
- IV.4. Prise d'eau

V^{ème} PARTIE : CALCUL ECONOMIQUE

INTRODUCTION :



La région étudiée est caractérisée par l'irrégularité manquante des écoulements superficiels au cours de l'année. Afin de maîtriser ces eaux sauvages de les valoriser pour l'irrigation d'une manière plus rationnelle et planifiée en vue d'une meilleure satisfaction possible des besoins, il a été envisagé la création d'une retenue collinaire sur l'oued "Nelsel-El-Hadjar" Aïn-Kerma.

I^{re} PARTIE : Représentation géographique :

I.1. Localisation :

Le site de la retenue projetée sur l'oued "Nelsel-El-Hadjar" se trouve au Sud des montagnes de la Medjerda, à deux (02) kilomètres environ Nord-Ouest du Centre d'Aïn-Kerma et à 14 km Nord-Est de la daïra de Bouhadjar.

I.2. Données du site :

La digue de la retenue d'El-Hadjar sera implantée dans une section étroite de la vallée, à 65 mètres du point de jonction des oueds "Nelsel-El-Hadjar" et "Chaabet Rebiha".

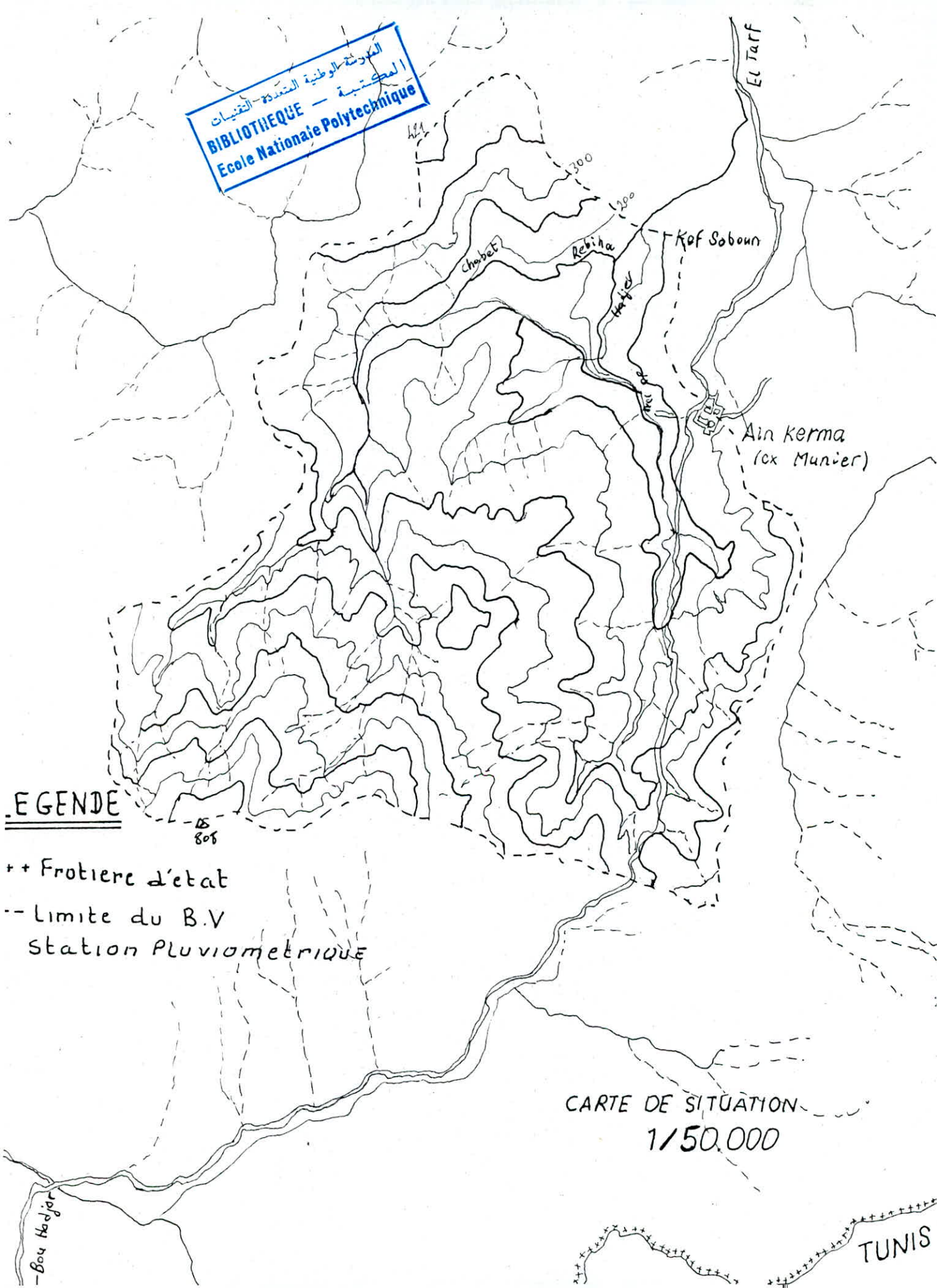
L'axe de la digue a été fixé avec deux points de repère (système LAMBERT).

Rive gauche :	A	$x = 990,600$
		$y = 381,264$
Rive droite :	B	$x = 990,882$
		$y = 380,900.$

Le site proposé possède les coordonnées géographiques en unité de LAMBERT suivant :

x	$=$	$991,00$	m	NGA
y	$=$	$381,400$	m	NGA
z	$=$	$170,00$	m	$NGA.$

المكتبة الوطنية المتعددة التقنيات
المطبخية
BIBLIOTHEQUE —
Ecole Nationale Polytechnique



LEGENDE

- ++ Frontiere d'etat
- Limite du B.V.
- Station Pluviometrique

CARTE DE SITUATION
1/50,000

TUNIS

ETUDE HYDROLOGIQUE

1. Présentation générale : Le bassin versant de l'oued Nelsel - EL-

Hadjar Est un sous bassin de l'oued El-Kébir.

La hiérarchie hydrographique est la suivante (selon la carte au 1/50000)

- oued Labiod
- oued Nielsel El-Hadjar
- oued Zitouna
- oued Douhalloufa
- oued El-Kébir (Est)
- Chaabet Selma
- oued Rebiha (confluence).

Le barrage est envisagé en aval de la confluence de l'oued Nielsel EL-Hadjar et Chaabet Rebiha à 2 km du village Aïn-Kerma direction Nord. Les versants du bassin sont orientés Sud-Nord limités au Sud par les chaînes montagneuses de Medjerdah, dont l'altitude ne dépasse pas 100 m, le plus souvent, elle atteint 600 - 800 m.

Les massifs de montagne Medjerdah sont essentiellement constitués par des terrains de l'éocène supérieur oligocène (dite Numidien); en général, c'est une alternance d'argile et de grés, dont les bancs d'épaisseur est variable de 1 à 30 m.

Les alluvions occupent d'assez grandes surfaces dans les vallées.

2. Climat :

Le climat de la région est typiquement méditerranéen ayant un été sec et un hiver relativement froid et humide. Dans le tableau suivant, nous présentons les données moyennes de la température de l'air d'après les observations fournies par Souk-Ahras et Ben M'Hidi pour une période de 25 ans (de ce point de vue, notre bassin versant est intermédiaire entre ces deux (02) stations de référence).

Tableau n° 1 :

Station	Souk - Ahras			Ben M'Hidi		
Mois	m	M	$\frac{M + m}{2}$	m	M	$\frac{M + m}{2}$
J	1,4	11,1	6,3	6,1	15,5	15,5
F	2,2	12,3	7,3	6,6	16,3	16,3
M	3,5	15,1	9,3	7,9	19,2	19,2
A	5,2	20,1	12,7	8,9	21,6	21,6
M	8,1	23,8	16,0	12,4	25,2	25,2
J	12,3	28,7	20,5	15,9	29,2	29,2
J	14,4	33,4	23,9	18,0	32,7	32,7
A	14,6	33,4	24,0	18,9	33,4	33,4
S	12,7	29,3	21,0	17,2	30,1	30,1
O	8,7	23,0	15,9	13,8	25,8	25,8
N	5,3	17,1	11,2	9,6	21,1	21,1
D	2,3	12,3	7,3	6,9	16,9	16,9
Moyenne	7,6	21,6	14,6	11,9	23,9	23,9

* La température prise est de 17°.

m : la température minimale
M : la température maximale.

2.2. L'humidité :

L'humidité relative de l'air en % à la station d'El-Kala au tableau n° 2 :

Tableau n° 2 :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Moyenne
75	73	72	72	70	68	66	70	73	73	77	72
68	64	69	70	70	69	68	69	66	66	69	68
78	74	75	75	78	72	73	75	77	75	78	76

2.3. Le vent :

La distribution du vent suivant sa vitesse en % compte tenu des données pour la période 1951 - 1954 à la station burgeand est la suivante.

Tableau n° 3 :

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Année
2,5	88	85	91	80	69	80	74	72	78	79	82	91	81
2,5 - 5	82	79	83	70	55	66	56	57	63	68	75	84	70
5 - 7,5	71	67	66	54	34	35	24	31	33	40	54	67	48
85 - 10	54	53	41	25	11	10	4	9	7	14	31	40	25
10 - 15	32	28	17	10	5	4	1	2	1	3	17	17	11
15 - 25	14	9	4	4	3	1	1	1	0,0	0	7	6	4
25	0,1	0,5	0,0	0,6	0,3	0,2	0,4	0,0	0,0	0	1	0,2	0,3

2.4. L'évaporation :

Les références existantes sur la région sont les observations des bar-rages Cheffia et Zardezas, à partir desquelles la répartition annuelle de l'évaporation était évaluée pour cette région comme suit :

Tableau n° 4 :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuelle
E (mm)	133	76	41	34	33	43	59	74	110	152	199	196	1150 mm
%	11,6	6,6	3,6	3,0	2,9	3,7	5,1	6,4	9,6	13,2	17,3	17,0	100 %

Analyse de la pluviométrie annuelle :

- Données disponibles :

Cartes des isohyètes de la pluviométrie moyenne annuelle (1913 - 1963)
d'après M. Chaumout, P = 948.

Séries des mesures des stations pluviométriques suivantes.

Tableau n° 5 :

Noms		Moyenne annuelle	Durée d'observation (ans)	Altitude de station
Aïn-Kerma	03.16.04	880,7	36 ans	235 m
Bouhadjar	03.15.03	569,6	46 ans	300 m

La station 03.16.04 se trouve sur la superficie du bassin versant et les observations sont considérées comme données pluviométriques sur la partie

inférieure du bassin versant; il est remarquable que la station Bouhadjar est faiblement arrosée malgré son altitude plus élevée. Cela s'explique du fait que la station Bouhadjar est située dans une vallée abritée par des hautes montagnes. Alors cette barrière montagneuse s'opposant à la progression des masses d'air humide provoque d'abondantes précipitations sur les versants exposés.

Pour évaluer la pluviométrie moyenne annuelle pour l'ensemble du bassin versant, on a utilisé la formule de M. SELTZER $P = P_0 + 0,45 \cdot A$

où : P_0 : norme de précipitation pour la station de référence (mm)
 A : différence des altitudes (entre la station de référence et l'altitude moyenne du bassin versant).

$$P_{\text{moy.}} = 880,7 + 0,45 (381 - 235) = 946,4 \text{ mm}$$

Tableau n° 6 :

Méthode	Formulation	$P_{\text{moy.}}$ (mm)
Carte Chaumont	-	948
Formule de SELTZER	$P = P_0 + 0,45 A$	946,4

Alors, il nous semble que la pluviométrie moyenne annuelle du bassin versant de l'oued Nelsel EL Hadjar est de l'ordre de 950 mm.

Répartition mensuelle des pluies (selon les observations disponibles).

Tableau n° 7 :

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Aïn-Kerma	47,4	90,3	103,8	146,6	146,5	116,9	113,4	93,3	58,8	20,4	4,0	13,3	954,7
%	5,0	9,5	10,9	15,4	15,3	12,2	11,9	9,8	6,2	2,1	0,4	1,4	100

4. Evaluation des apports liquides :

4.1. Estimation de l'apport moyen annuel selon les formules empiriques :

Notation :

- Q : lame d'eau écoulee (mm)
- P : pluviométrie moyenne (m)
- S : superficie du bassin versant (km²)
- A : apport moyen annuel (m³/an)
- D₁ : densité de drainage
- T : température annuelle (c)
- D : déficit d'écoulement (mm)

1) Formule de SAMIE :

$$Q = P^2 (293 - 2.2 \sqrt{S})$$

2) Formule dite Algérienne :

$$Q = P^2 (1 - 10^{-kp^2}) \quad k = 0,18 - 0,01 \log S$$

$$Q \text{ (mm)}, \quad P \text{ (mm)}$$

3) Formule de MALLET GAUTIER :

(pour les oueds du Nord d'Algérie et de la Tunisie)

$$Q = 0,6 P (1 - 10^{-0,36 P^2})$$

4) Formule de TURC :

$$D = \frac{P}{(0,9 + \frac{P^2}{L^2})^{0,5}}$$

L : coefficient climatique ou (variable thermique)

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

$$Q = P - D$$

Tableau n° 8 :

Formules:	Lame d'eau écoulée Q (mm)	Apport moyen A (hm ³ /an)	Module spécifique q(l/s/km ²)
1	252,5	9,14	8,01
2	274,9	9,95	8,72
3	300,2	10,87	9,52
4	253,0	9,16	8,02

On peut constater que selon les formules empiriques, l'apport moyen de l'oued Nelsel El Hadjar est évalué entre 9,14 et 10,87 hm³/an.

4.2. Référence de mesures réelles, choix des formules adéquates:

Les observations hydrométriques les plus fiables concernant la région ont été effectuées au barrage de Cheffia où le nombre des années observées est de 27 ans et la détermination des apports annuels est incontestablement plus précise.

Les caractéristiques de la série observée sont les suivantes :

$$n = 27 \text{ ans}; \quad A = 152,8 \text{ hm}^3/\text{an}; \quad C_v = 0,57, \quad C_s = 0,8$$

En appliquant les mêmes formules empiriques sur le bassin versant du barrage Cheffia ($S = 575 \text{ km}^2$; $\bar{P} = 900 \text{ mm}$; $T = 17^\circ\text{C}$; $D_d = 2,3$) les résultats sont les suivants :

Tableau n° 9 :

Formules	Q (mm)	A (hm ³ /an)	q (l/s/km ²)
1	194,5	111,9	6,17
2	222,7	128,0	7,06
3	264,1	151,8	8,37
4	221,6	127,4	7,03

Alors c'est la formule n° 3 qui donne le résultat le plus proche aux observations; donc pour l'oued Nelsel El Hadjar la même formule donne 10,87 hm³/an, alors par cette logique, on peut fixer l'apport moyen à 10,9 hm³/an.

4.3. Répartition mensuelle des apports liquides :

Pour déterminer l'évolution saisonnière des apports liquides, nous nous sommes référés aux mesures effectuées entre 1947 - 1955 pour l'oued Bounamoussa au barrage Cheffia.

Selon les mesures, 80 % des apports liquides s'écoulent au cours de la période hivernale (Décembre - Mars). Pour notre site, cette répartition est acceptable vu la courte distance géographique et les similitudes climatiques.

Tableau n° 10 :

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
%	0	1	8	16	25	19	18	10	3	0	0	0	100 %

Module de l'écoulement :

$$Me = \frac{A}{T}$$

où : A : apport moyen inter-annuel 10^6 m^3

T : période annuelle $T = 31 \cdot 10^6 \text{ s}$

$$Me = \frac{10,9 \cdot 10^6}{31 \cdot 10^6} = 0,351 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Module de l'écoulement relatif :

$$Mr = \frac{Me}{S}$$

où : Me : module de l'écoulement (m^3/s)

S : superficie du bassin versant (km^2)

$$Mr = \frac{0,351}{36,2} = 9,7 \text{ l/s/km}^2$$

Coefficient de variation : l'application de certaines formules empiriques nous permet d'évaluer le coefficient de variation Cv.

a.- Méthode de Rubki Forster : cette méthode est basée sur les observations.

b.- Formule de (Pradah) :

$$Cv = \frac{0,93}{Mr^{0,23}} \cdot K$$

où : K : coefficient de réduction (0,25 + 1)

Mr: module d'écoulement relatif (l/s/km^2)

$$Cv = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{8,400}{25}} = 0,570 = Cv$$

$$Cs = \frac{\sum (k_i - 1)^3}{(n - 1) Cv^3} = \frac{3,706}{25 \cdot (0,57)^3} = 0,8004$$

c.- Formule de (Ucriviprodoz) :

$$Cv = \frac{0,7}{Mr^{0,125}}$$

Mr : module relatif de l'écoulement (l/s/km^2).

Apponts A_i (hm^3)	$K_i = \frac{A_i}{A}$	$(K_i - 1)$	$(K_i - 1)^2$	$(K_i - 1)^3$
2,72	0,238	- 0,761	0,579	- 0,440
2,93	0,257	- 0,742	0,551	- 0,409
3,04	0,266	- 0,733	+ 0,537	- 0,393
3,70	0,324	- 0,675	0,455	- 0,307
4,89	0,429	- 0,570	0,325	- 0,185
5,84	0,512	- 0,487	0,237	- 0,115
6,74	0,591	- 0,408	0,166	- 0,068
6,96	0,611	- 0,388	0,151	- 0,0586
7,22	0,633	- 0,366	0,134	- 0,0490
7,94	0,697	- 0,302	0,0917	- 0,0277
8,91	0,782	- 0,217	0,0474	- 0,01028
9,13	0,801	- 0,198	0,0392	- 0,0077
10,72	0,941	- 0,0588	0,00346	- 0,000203
11,63	1,021	0,021	0,00044	0,0000093
11,96	1,0500	0,0500	0,0025	0,000125
13,37	1,173	0,173	0,0302	0,00522
13,91	1,221	0,221	0,0489	0,0108
15,65	1,374	0,374	0,1398	0,0523
16,09	1,412	0,412	0,1702	0,0701
16,85	1,479	0,479	0,229	0,1100
17,72	1,555	0,555	0,308	0,1714
18,48	1,622	0,622	0,387	0,241
21,48	1,885	0,885	0,784	0,696
25,00	2,194	1,194	1,427	1,704
26,20	2,300	1,300	1,690	2,197

Les résultats :

Tableau n° 11 :

Formules	Cv
a	0,57
b	0,55
c	0,54

On prend la valeur de Cv = 0,57.

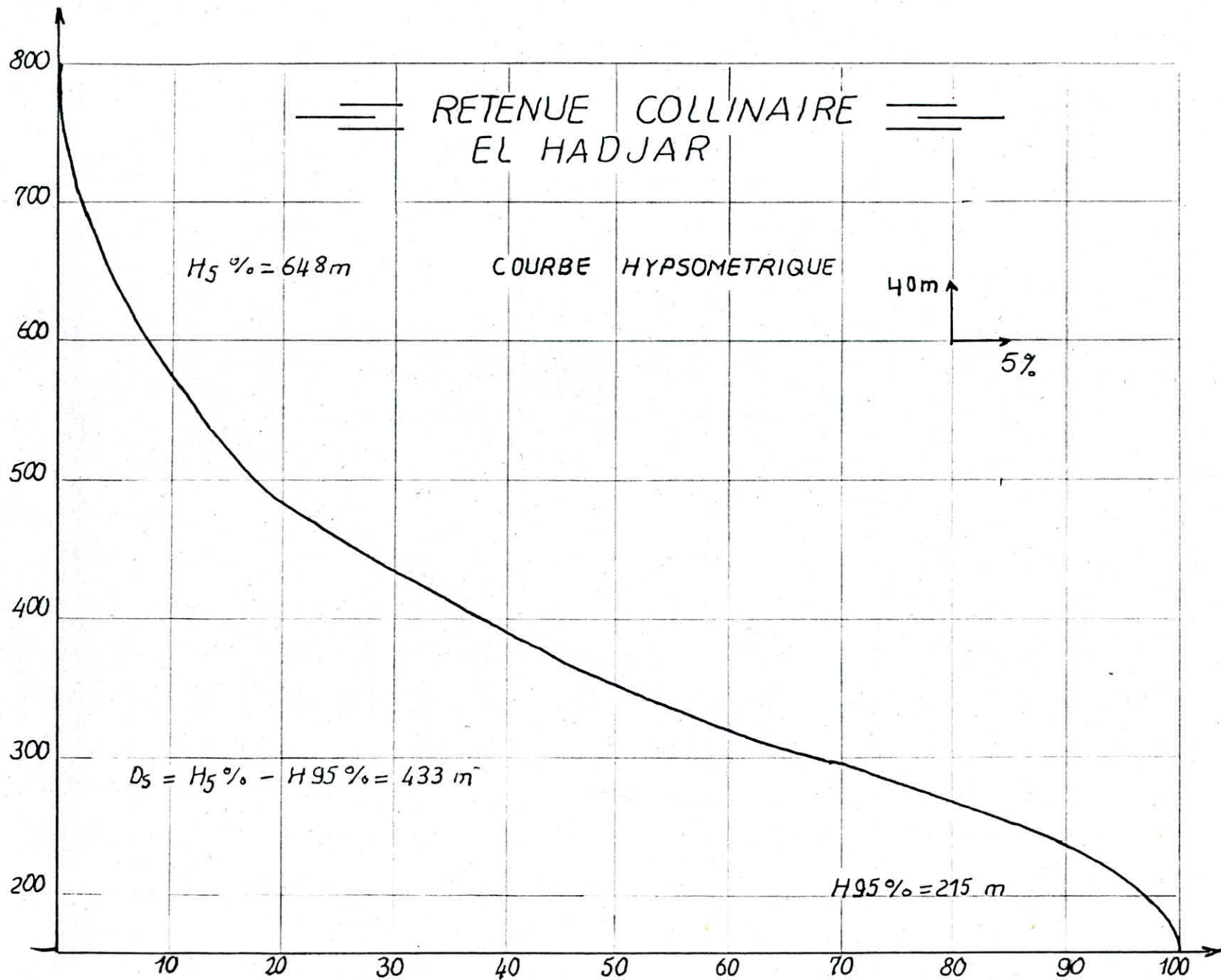
5. Caractéristiques du bassin :

5.1. Courbe hypsométrique du bassin :

Les latitudes maximales et minimales sont respectivement 808 m, 170 m; la superficie totale du bassin versant est 36,2 km². Son hypsométrie est donnée par le tableau suivant :

Tableau n° 12 :

N°	Altitudes (m)	Surfaces par- tielles (km ²)	Surfaces cumulées (km ²)	% partiels	% Cumu- lés
1	170 - 200	0,905	0,905	2,5	2,5
2	200 - 300	1,81	2,715	5	7,5
3	300 - 400	3,62	6,335	10	17,5
4	400 - 500	7,24	13,575	20	37,5
5	500 - 600	10,86	24,435	30	67,5
6	600 - 700	10,86	35,295	30	97,5
7	700 - 800	0,905	36,2	2,5	100



5.2. Caractéristiques de forme :

Les paramètres de formes définissant le bassin versant de l'oued El - Hadjar sont les suivants :

* coefficient de compacité : d'après la formule de (Gravelius)

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

où : P : périmètre du bassin versant (km)
S : surface du bassin versant (km²)

* Rectangle équivalent :

$$\begin{cases} L \\ l \end{cases} = \frac{K \cdot \sqrt{S}}{1,12} \cdot \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right)$$

où : L : longueur équivalente (km)
l : largeur équivalente (km)
K : indice de compacité

* Indice de pente :

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

$$D = ALT_{5\%} - ALT_{95\%}$$

$$ALT_{5\%} = 648 \text{ m}$$

$$D = 433 \text{ m}$$

$$ALT_{95\%} = 215 \text{ m}$$

$$P = \frac{433}{10200} = 0,042$$

6. Caractéristiques du réseau hydrographique:

* Densité de drainage :

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

où : $\sum L_i$: longueur de tous les talwegs de la superficie $\sum L_i = 100$ km
S : superficie du bassin versant

$$D_d = \frac{100}{36,2} = 2,8$$

* Coefficient de torrentialité :

$$C_t = D_d \cdot F$$

où : D_d : densité de drainage = 2,8

F : coefficient de drainage $F = \frac{N}{S}$

N : nombre de drains d'après la classification de Horton

S : superficie du bassin versant.

* Temps de concentration :

- Définition : d'après la formule de Giandotti :

$$T = \frac{4 \sqrt{S} + 1,5 L}{0,8 (H_{\text{moy.}} - H_{\text{min.}})^{1/2}}$$

où : S : superficie du bassin versant (km²)

L : longueur du talweg (km)

$H_{\text{moy.}}$: altitude moyenne du bassin versant (m)

$H_{\text{min.}}$: altitude minimale du bassin versant (m)

T = 3,32 heures.

Caractéristiques morphométriques :

Tableau n° 13 :

Types de paramètres	Unités	
Surface du bassin versant	S (km ²)	36,2
Périmètre du bassin versant	P (km)	27,5
Rectangle équivalent		
- longueur	L (km)	10,20
- largeur	l (km)	3,55
Altitude (m N G A)		
- Max	H (m)	808
- Moy.		381
- Min.		170
Densité spécifique	D (m)	435
Indice de pente		0,042
Longueur de talweg principal	L _p (km)	9,7
Longueur de tous les talwegs	L _i (km)	100
Densité de drainage	Dd	2,8
Coefficient de torrentialité	Ct	20
Temps de concentration	T (heures)	3,32
Indice de compacité	K	1,28

8. Etude des crues :

8.1. Répartition maximale journalière des pluies, d'après les analyses régionales effectuées à l'I.N.R.H., la pluie journalière maximale ($P_{j \text{ max.}}$) est de l'ordre de 70 mm/j et son coefficient de variation $C_v = 0,40$.

Pour contrôler les chiffres, nous avons examiné les séries existantes des stations Bouhadjar et Aï-Kerma.

Les résultats :

Tableau n° 14 :

Stations	Bouhadjar	Aï-Kerma
Nombre d'années	46 ans	40 ans
$P_{j \text{ max.}}$	54,7 mm	72,2 mm
C_v	0,43	0,36

Sur cette base, nous avons adopté les valeurs suivantes pour nos calculs :

$$\bar{P}_{j \text{ max.}} = 70 \text{ mm}, \quad C_v = 0,40$$

Avec ces paramètres, les valeurs des précipitations maximales tombées pendant 24 heures pour les fréquences voulues, ont été déterminées par la formule :

$$P_{j \%} = \frac{\bar{P}_{j \text{ max.}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \cdot e^{u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

où : u : variation de Gauss.

Tableau n° 15 :

Fréquence	0,1	0,5	1	2	5	10	20
Période de retour en crue	1000	200	100	50	20	10	5
Variable	3,089	2,579	2,327	2,057	1,636	1,279	0,839
P _j max. (mm/j)	213,7	175,6	158,9	143,2	122,2	106,4	89,8

8.2. Les pluies de courte durée :

D'après la fonction de précipitation $P_t = P_j \left(\frac{t}{24}\right)^b$.

La valeur de l'exposant climatique (b) a été évaluée à 0,45; selon les études régionales de l'I.N.R.H.

Les résultats :

Tableau n° 16 :

t durée (heures)	1	2	3,31	6	12	24	
F	0,1 %	51,1	69,2	87,5	114,5	156,4	213,7
r	0,5 %	42	57,4	71,9	94,1	128,5	175,6
é	1 %	38	51,9	65,1	85,1	116,3	158,9
q	2 %	34,3	46,8	58,6	76,7	104,8	143,2
u	5 %	29,2	39,9	50	65,5	89,5	122,2
e	10 %	25,5	34,8	43,6	57,0	77,9	106,4
n	20 %	21,5	29,4	36,8	48,1	65,7	89,8
c							
e							
s							

8.3. Débit journalier maximal :

L'étude consiste à rechercher une estimation des débits de crue et de rechercher l'hydrogramme type de crues exceptionnelles pour le dimensionnement des ouvrages.

L'estimation des débits va être effectuée à partir des différentes méthode empirique, suivant les données d'observation disponibles.

Formule de M. SAMIE :

$$Q_j = \frac{P_j \cdot r/100 \cdot S \cdot 10^6 \text{ Ka}}{86400}$$

où : Ka : coefficient de l'amortissement de la crue (Ka = 0,8)

S : surface du bassin versant (S = 36,2 km²)

r/100: coefficient de l'apport de crue

P_j : précipitation maximale journalière de la fréquence considérée (mm)

r/100 (10 %) = 0,65

r/100 (1 %) = 0,8

r/100 (0,1 %) = 0,9

Les résultats :

Tableau n° 16 :

Fréquence %	10	1	0,1
r/100	0,65	0,8	0,9
P _j (mm)	106,4	158,9	213,7
Q _j (m ³ /J)	23,2	42,6	64,5

8.4. Débits instantanés (de pointe) :

$$\frac{Q_{\text{pointe}}}{Q_j} = \frac{P_{tc}}{P_j} \cdot \frac{24}{tc}$$

Formule de GIANDOTTI où:

P_{tc} : lame précipitée en (mm) pour le temps de concentration t_c

P_j : la précipitée journalière

Les résultats :

Tableau n° 17 :

Fréquences %	P_{tc} (mm)	P_j (mm)	Q_j (m ³ /s)	Q_{max} (m ³ /s)
0,1	87,5	213,7	64,5	192,1
1	65,1	158,9	42,6	126,9
10	43,6	106,4	23,2	69,1

Formule de TURAZZA:

$$Q_{max.}(m^3/s) = \frac{1}{3,6} C_e \cdot \frac{P_{tc} \cdot B}{t_c} \cdot S$$

où : C_e : coefficient d'écoulement instantané

B : coefficient de réduction de la pluie de courte durée (0,75)

t_c : temps de concentration

S : superficie du bassin versant

P_{tc} : la lame précipitée pour le temps de concentration.

Les résultats :

Tableau n° 18 :

Fréquences %	Ce	P _{tc} (mm)	P _{tc} . B	Q _{max.} (m ³ /s)
0,1	0,95	87,5	65,6	190,0
1	0,85	65,1	48,8	126,5
10	0,70	43,6	32,7	69,7

Tableau récapitulatif et fixation des débits max des crues de projet :

Fréquence %	Q _j (m ³ /s)	Débit de pointe Q _{max.} (m ³ /s)		
		TURAZZA	GIANDOTTI	Valeurs retenues
0,1	64,5	190	192,1	190
1	42,6	126,5	126,9	130
10	23,2	69,7	69,1	70

8.6. Hydrogramme des crues : Pour la détermination de

L'hydrogramme des crues de l'oued Nelsel El Hadjar, nous avons utilisé la méthode de Skolovski :

$$\text{pour la crue } Q_x = Q_{\text{max}} \% \left(\frac{x}{t_1}\right)^m$$

$$\text{pour la décrue } Q_z = Q_{\text{max}} \% (t_2 - z)^n / (t_2)^n$$

où : Q_x : débit de la crue en "x" heures à partir de la crue

Q_z : débit de la décrue

Q_{max.} % débit max.

t_1 : temps de montée (en heures) pris égal au temps de concentration calculé par la formule de GIANLOTTI :

$$t_1 = 3,3 \text{ heures}$$

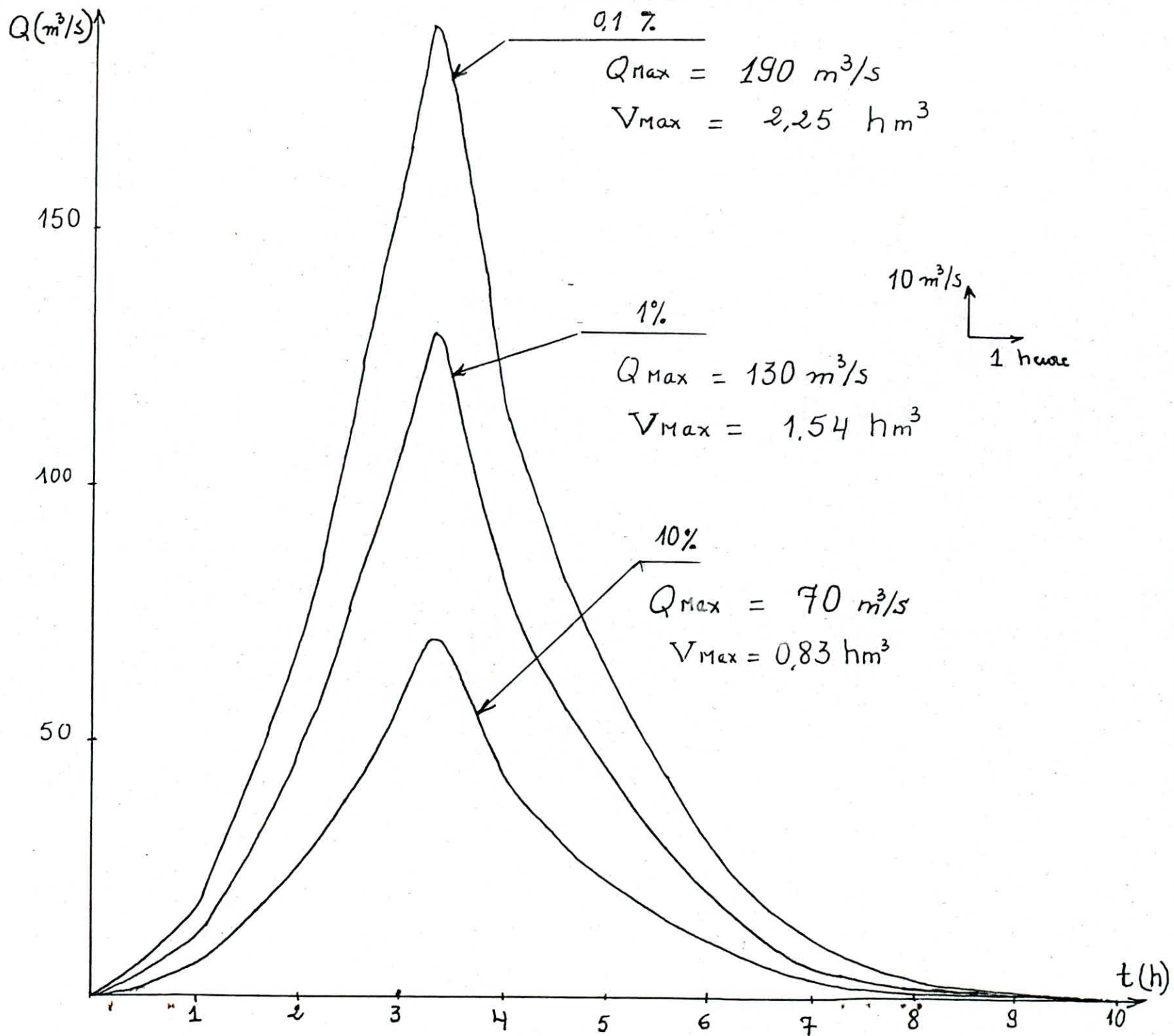
t_2 : temps de décrue $t_2 = t_1 K$ $K = 2$

z : temps après la crue max.

$$m = 2; \quad n = 2$$

Tableau 19 :

heures	$Q_i / Q_{\max.}$	$Q_{0,1} \%$	$Q_1 \%$	$Q_{10} \%$
1	0,09	17,1	11,7	6,3
2	0,36	68,4	46,8	25,2
3	0,82	155,8	106,6	57,4
3,3	1	190	130	70
4	0,61	115,9	79,3	42,7
5	0,34	64,6	44,2	23,8
6	0,16	30,4	20,8	11,2
7	0,061	11,59	7,93	4,27
8	0,014	2,66	1,82	0,98
9	0,01	1,9	1,3	0,70
10	0,000	0,000	0,000	0,000



9. Caractéristiques volumétriques de la retenue :

9.1. Variation du volume et de la surface avec la hauteur :

Les surfaces correspondantes à chaque altitude sont déterminées par planimétrie.

Les surfaces élémentaire correspondantes à chaque couche sont :

$$\Omega_{e1} = \frac{2}{3} \Omega_{p1}$$

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

Les volumes élémentaires sont déterminés par :

$$DV_1 = \Omega_{e1} \cdot DH_1$$

$$DV_{i+1} = \Omega_{ei+1} \cdot DH_{i+1}$$

où : DH_i : différence des côtes entre deux (2) courbes de niveau.

Le volume retenu par chaque couche est déterminé par :

$$V_i = DV_i + DV_{i+1}$$

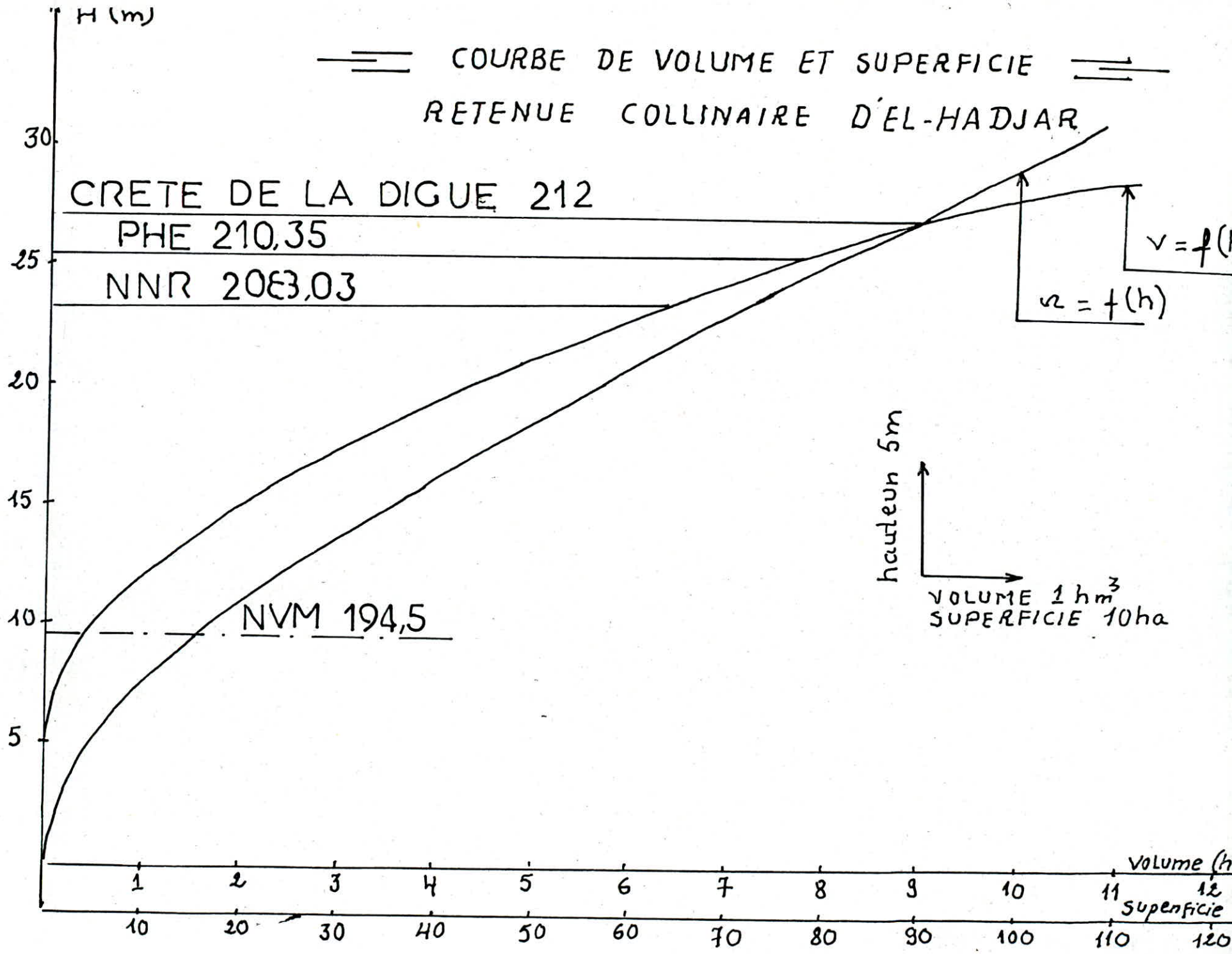
Les résultats :

Tableau n° 20 :

Côtes (m)	Hauteurs (m)	Surface de la cuvette km ²		Volume 10 ⁶ m ³	
		Ω_p	Ω_e	DV	V _i
185	0	0	0,0183	0,0915	0,00
190	5	0,0275	0,0937	0,4685	0,0915
195	10	0,160	0,25	1,25	0,56
200	15	0,340	0,47	3,625	1,81
205	20	0,60	0,725	4,8625	4,56
210	25	0,850	0,9725		8,185
215	30	1,095			13,045

COURBE DE VOLUME ET SUPERFICIE

 RETENUE COLLINAIRE D'EL-HADJAR



9.2. Estimation du transport solide :

Les observations régulières du transport solide sur l'oued Bouhalloufa recouvrent une très courte période entre Janvier et Août 1955. L'érosion spécifique sur cette base est de $470 \text{ t/km}^2/\text{an}$. Evidemment, il est impossible de faire des conclusions à partir d'une période d'observation si brève, mais selon les visites sur le site, l'érosion de la vallée n'est pas importante (végétation protectrice) pour la comparaison, nous présentons les érosions spécifiques sur les oueds proches.

Tableau n° 4 :

Oued	Stations	Bassin versant	E_s : Erosion spécifique
Bouamoussa	Cheffia	575 km^2	$320 \text{ t/km}^2/\text{an}$
Kébir Est	Aïn-El-Assel	682 km^2	$900 \text{ t/km}^2/\text{an}$
Saf Saf	Zerdezas	340 km^2	$700 \text{ t/km}^2/\text{an}$

Vu ces chiffres dispersés, il nous semble que pour le transport solide spécifique de l'oued Nelsel-El-Hadjar, la valeur de $500 \text{ t/km}^2/\text{an}$ est acceptable; il faut remarquer que la même valeur a été évaluée pour l'oued Bouhalloufa sous une étude.

9.3. Envasement :

Le volume de solides véhiculé par l'oued pendant 30 ans, est calculé par la formule :

$$V = \frac{T_a \cdot T \cdot S}{\sigma}$$

- où :
- T_a : taux d'abrasion ($\text{t/km}^2/\text{an}$)
 - T : temps de fonctionnement (années)
 - S : superficie du bassin versant (km^2)
 - σ : poids spécifique (t/m^3) $\sigma = 1,6$

$$V = \frac{500 \cdot 30 \cdot 36,2}{1,6} = 0,34 \text{ hm}^3$$

$$V_M = 0,34 \text{ hm}^3$$

La hauteur correspondante au volume mort est de $h = 9,5$ m d'où le niveau du volume mort sera :

$$N_{VM} = 185 + 9,5 = 194,5 \text{ m}$$

$$N_{VM} = 194,5$$

9.4. Volume utile :

Le volume utile est la quantité d'eau pouvant être emmagasinée dans une retenue et répondant à différents besoins (AEP, irrigation etc...). On peut déterminer le volume utile par deux méthodes :

a.- Méthode graphique :

Ayant la répartition cumulée des apports et de la consommation, on peut tracer les courbes $A_p = f(t)$ et $\text{cons} = f(t)$. A partir de ces deux courbes, on détermine le volume utile nécessaire en faisant la somme de déficit max. et l'excès max. $\implies V_u = 5,85 + 0,6 = 6,45 \text{ hm}^3$.

b.- Méthode analytique :

Ayant la répartition cumulée des apports et de la consommation, on peut déterminer le volume utile en faisant la différence entre les apports et la consommation.

$$V_u = |DV^+| + |DV^-|$$

Tableau n° 22 :

Apport	Apport cumulé	Cons	Cons . c	Différente	
				+	-
0,07025	0,07025	0	0	0,070	
0,562	0,6323	0	0	0,632	
1,124	1,756	0	0	1,756	
1,175	2,931	0	0	2,931	
1,334	4,265	0	0	4,265	
1,2645	5,529	0	0	5,529	
0,7025	6,229	0,351	0,351	5,878	
0,21075	6,439	1,053	1,404	5,035	
0	6,439	1,405	2,809	3,63	
0	6,439	1,756	4,565	1,874	
0	6,439	1,405	5,970	0,469	
0	6,439	1,053	7,023		0,584

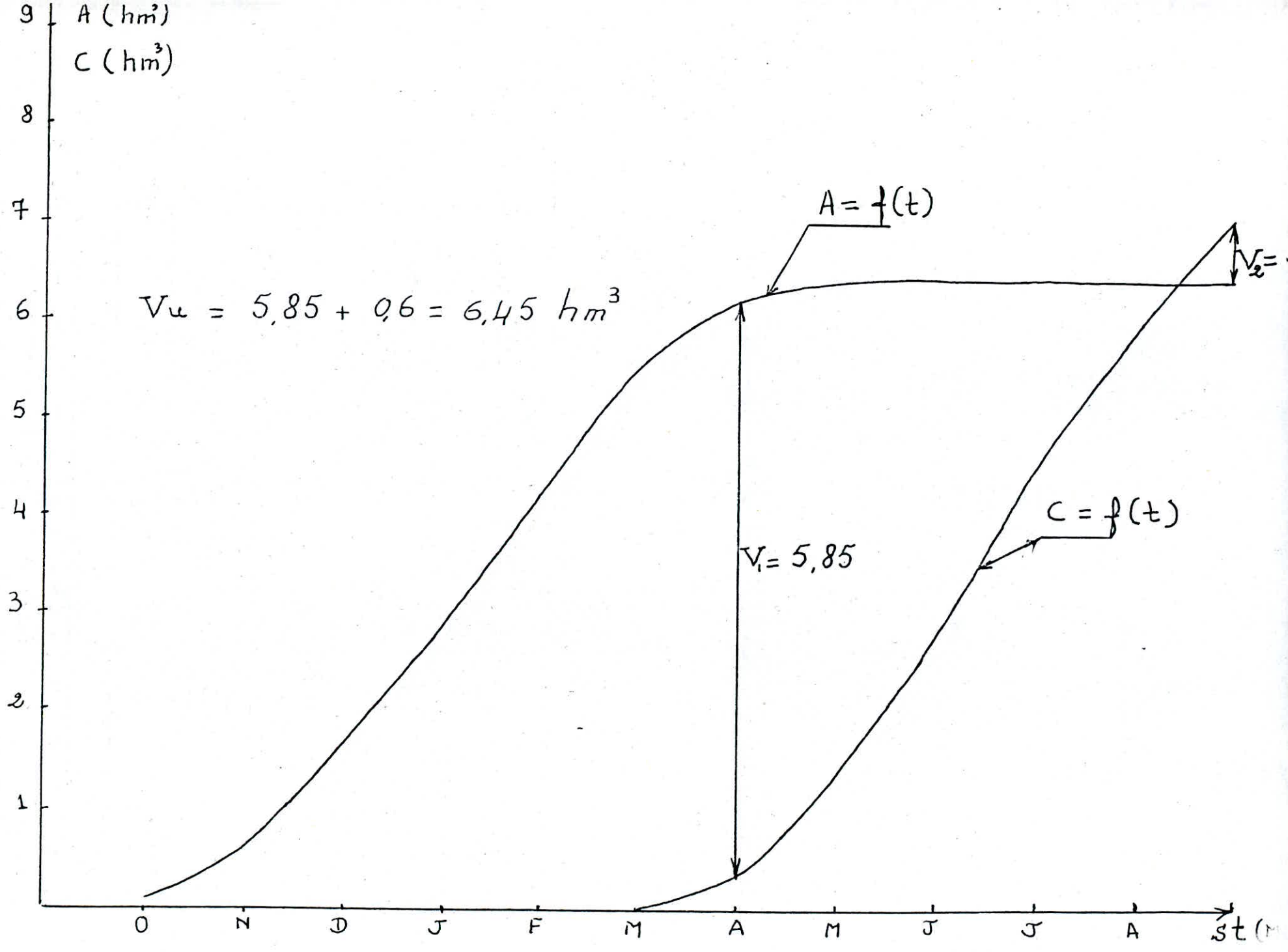
$$V_u = |DV^+| + |DV^-|$$

$$V_u = 5,878 + 0,584 = 6,462 \text{ hm}^3 \Rightarrow V_u = 6,462 \text{ hm}^3$$

$$V_u = \frac{6,462 + 6,45}{2} = 6,456 \text{ hm}^3$$

le niveau de la retenue normal :

$$\text{NRN} = 208,03 \text{ m}$$



10. Composition chimique :

Nous présentons les analyses effectuées en 1976 dont les résultats donnent une idée sur la concentration des sels.

Tableau n° 23 :

Dates	Teneur en Mg par litre							pH	Résidu sec g/l
	Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	CO ₃		
01/01	110	35	10	106	230	112	232	8,4	0,865
14/01	68	26	9	60	115	76	159	8,2	0,539
27/01	90	44	9	80	155	112	275	8,3	0,787
16/02	54	13	3	40	40	84	171	8,4	0,423
19/02	66	13	3	44	45	124	177	8,3	0,488

Ces analyses se rapportent à la période d'étiage. Le résidu sec est compris entre 400 - 900 mg/l, il se réduit en fonction de l'augmentation du débit d'eau.

11. Laminage des crues :

11.1. But :

Protection du barrage contre la submersion et éviter les dégats à l'aval de la construction.

L'étude se base sur l'équation différentielle :

$$Q_e(t)dt = Q_s(t).dt + A(z) dz$$

où : Q_e : débit de crue entrant dans la retenue

Q_s : débit sortant de la retenue

- z : côté du plan d'eau
- dt : intervalle de temps considéré
- A(z): surface du plan d'eau à la côte z
- $Q_e(t).dt$: volume entrant
- $Q_s(t).dt$: volume sortant
- A(z).dt : variation du volume dans la retenue.

11.2. Méthode utilisée : Méthode de CREAGER.

Elle consiste à tracer la courbe V(h) à partir de la côte NNR ainsi que les courbes $V + \frac{DV}{2}$ et $V - \frac{DV}{2}$ avec l'hypothèse, que la longueur du déversoir est déjà choisie (L = 24 m). On fait correspondre à une hauteur de déversement un débit évacué laminé par intersection avec la courbe des volumes.

Notons toutefois que d'après le tableau (25), le plan d'eau atteindra la côte correspondante à une lame déversante de 2,32 m pour 1 débit de 182 m³/s.

Tableau n° 24 :

h	Q _d	Q d/2	$\frac{DV}{2} = \frac{Qd}{2} \cdot Dt \cdot 10^6 \text{ m}^3$
0,5	18,25	9,125	0,033
1	51,65	25,83	0,093
1,5	94,87	47,44	0,171
2	146,07	73,1	0,263
2,5	204,14	102,07	0,367
3	268,36	134,18	0,483
3,5	338,17	169,085	0,61
4	413,168	206,584	0,744

d'après $Q = C L H^{3/2}$

avec $c = m \sqrt{2g} = 2,17$

$m = 0,49$

$L = 24 \text{ m}$

on fait varier H (charge).

Tableau n° 25 :

T(h)	$Q_{en} \text{ (m}^3/\text{s)}$	Dt (t)	DV (10^6 m^3)	Charge H (m)	$Q \text{ sortant (m}^3/\text{s)}$
1	17,1	0 - 1	0,1539	0,1	15
2	68,4	1 - 2	0,331	0,85	42
3	155,8	2 - 3	0,934	1	52
3,3	190	3 - 3,3	0,826	1,85	136
4	115,9	3,3 - 4	0,3249	2,32	182
5	64,6	4 - 5	0,171	1,84	135
6	30,4	5 - 6	0,0755	1,61	104
7	11,59	6 - 7	0,02565	1,3	78
8	2,66	7 - 8	0,008208	-	-
9	1,9	8 - 9	0,00342	-	-
10	0,0001	9 - 10	-	-	-

$hd = 2,32$

$Q_d = 182 \text{ m}^3/\text{s}$.

1. Généralité : ETUDE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

L'étude d'un barrage nécessite une bonne reconnaissance sur :

- la géologie et la topographie du site;
- les caractéristiques géotechniques des divers matériaux de construction de notre ouvrage; afin de prévoir des mesures nécessaires durant l'élaboration du projet.

2. Etude géologique du site :

Les affleurements montagneux de la région correspondent aux formations argileuses et gréseuses numidiennes d'âge oligocène et pliocène.

Sur la rive droite, se trouvent quelques grands blocs de grès descendus sur la pente argileuse et dans les lits de l'oued d'où la dénomination "Oued - El-Hadjar".

La vallée est recouverte par les argiles de Numidie d'âge pliocène. Les marnes du crétacé afflurent dans les entailles et chaâbets et parfois sur le lit de l'oued.

2.1. Hydrogéologie :

Le terrain de fond composé de marnes compactes est pratiquement imperméable.

Les formations superficielles composées par les argiles brunes plastiques dans la cuvette sont imperméables.

Les argiles sableuses sont moyennement perméables et les dépôts alluviaux du lit d'oued sont perméables.

2.2. Sismicité du site :

La région d'Aïn-Kerma se trouve dans la zone II, déterminée par le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme pour l'Algérie. Alors le coefficient sismique K, définissant la fraction d'accélération de la pesanteur utilisée dans l'étude de la stabilité de la digue soumise à des tremblements de terre peut être évalué à 0,17 \Rightarrow K = 0,17.

2.3. Choix du type de barrage :

Un tel choix dépend de deux facteurs :

- la topographie du site;
- la disponibilité des matériaux sur place.

En examinant la géologie du bassin versant, nous remarquons que les argiles brunes et grises de numidie présentent des qualités favorables à la construction de la digue (barrage homogène avec un tapis horizontal).

Remarque :

Lorsqu'on dispose sur place et en quantité suffisante de matériaux terreux permettant d'obtenir après compactage des conditions d'étanchéité et de stabilité satisfaisante, le type de barrage et le plus facile à réaliser est le barrage homogène.

2.4. Caractéristiques géotechniques des matériaux :

a.- Matériaux de la digue :

Argiles de numidie (brune)

- densité sèche $1,73 \text{ g/cm}^3$;
- teneur en eau naturelle 20,3%;
- densité humide $2,08 \text{ g/cm}^3$;
- degrés de saturation $S_2 = 98\%$;
- perméabilité $1,9 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s.}$;
- cohésion 0,18 bars;
- angle de frottement = 25° .

b.- Nature de l'assise :

Le terrain de fond marneuse constituera une bonne assise pour la digue et une grande étanchéité de la cuvette.

Les caractéristiques de substratum sont données par :

- densité sèche 1,69 g/cm³;
- densité saturée 2,05 g/cm³;
- poids spécifique 2,70
- angle de frottement 24° 19'
- cohésion 20 Kpa
- perméabilité 10⁻¹⁰ cm/s.

2.5. Zone d'emprunt :

L'argile nécessaire pour la construction de cette digue sera exploitée à partir de la cuvette même du barrage à environ 100 à 500 m de son axe. Pour la construction du tapis, des transitions, du revêtement du talus amont, les matériaux seront exploités à partir de la carrière Ain-Damous existant à 11 km de la retenue.

3. Conception du barrage :

3.1. Dimensionnement de la digue :

La hauteur totale du barrage sera égale à la hauteur normale de la retenue des eaux majorées de la charge maximale, au dessus du déversoir de crues et de la revanche.

Notons qu'un décapage de 2 m de profondeur est prévu.

3.1.2. Détermination de la revanche :

La revanche est une tranche comprise entre la côte des plus hautes eaux et la crête du barrage.

Pour la déterminer, on doit tenir compte de la hauteur des vagues qui se forment sur le plan d'eau, de la projection de l'eau vers le haut du barrage due à la vitesse de propagation des vagues lorsque celles-ci rencontrent le barrage. pour une estimation meilleure de la valeur de la revanche, on utilise plusieurs formules :

- Formule de DEVIS :

$$R = 0,75 h_v + \frac{v^2}{2g} + h_s$$

où : $h_s = 0,5$ (hauteur de sécurité due à l'affaissement du corps)

V : vitesse de propagation des vagues.

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

où : h_v : hauteur des vagues déterminée par :

1) Formule de STEVENSON $h_v = 0,76 + 0,032 (\sqrt{W \cdot L} - 0,26 \sqrt{L})$

où : W : vitesse du vent évaluée à 25 m/s

$$W = 90 \text{ km/h}$$

L : Fetch en km = 1,6 km.

2) Formule de MALLET et PAQUANT :

$$h_v = 0,5 + 0,33 (\sqrt{L} - 0,91)$$

L - Fetch (km)

3) Formule de MALLTOR : $h_v = 0,75 + 0,032 (\sqrt{L \cdot W} - 0,26 \sqrt{2}) = 0,84$

où : W : vitesse du vent (km/h)

L : Fetch (km).

On peut calculer aussi la revanche par la formule simplifiée :

$$R = 1 + 0,3 \sqrt{L} , \quad L - \text{Fetch (km)}.$$

Tableau n° 26 :

Formules	Hauteurs des vagues (m)	Revanche (m)
STEVENSON	0,85	1,66
MALLET - PAQUANT	0,91	1,70
MALLTOR	0,84	1,65
SIMPLIFIEE	/	1,37

La valeur adoptée pour la suite de notre étude est $R = 1,65 \text{ m}$.

3.1.3. Détermination de la hauteur du barrage :

$$H_b = H_d + H_M + R$$

- où : H_d : hauteur du décapage
 H : hauteur correspondante au N.Max.R
 R : revanche

d'où $H_b = 29$ m.

3.1.4. Longueur en crête du barrage :

La longueur est mesurée directement sur le plan à échelle 1 : 1000

$$L = 380 \text{ m.}$$

3.1.5. Largeur en crête du barrage :

La largeur peut être évaluée par :

- Formule de KHAPPEN :

$$b = 1,65 \sqrt{H_b} = 8,9 \text{ m}$$

où : H_b : hauteur du barrage (m).

- Formule de PREELE :

$$b = 1,1 \sqrt{H_b} + 1 = 7 \text{ m}$$

- Formule de RECHERCHE :

$$b = \frac{H_b}{5} + 3 = 9 \text{ m.}$$

tableau 27 :

Largeur en crête (m)	6,78	8,90	8,8
Formules	PREELE	KHAPPEN	RECHERCHE

La valeur adoptée est de 7,00 m.

3.1.6. Risbermes :

Deux risbermes un à l'aval, un à l'amont larges de 6 m, ils contribueront à la stabilité de l'ouvrage et permettront le passage des engins.

3.2. Pentes et talus :

La pente des talus des barrages en terre est fixée par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations en ce qui concerne le massif; pour déterminer la pente des parements on se donne en général des pentes qui apparaissent optimales, compte tenue de la nature des matériaux et on vérifie par une étude de stabilité que le barrage présente une sécurité suffisante avec ces pentes.

A titre indicatif, le tableau ci-après donne quelques valeurs qui devront être confirmées par une étude de stabilité.

Hauteur du barrage (m)	Types du barrage	Pentes et talus	
		Amont	Aval
Inférieur à 5 m	- Homogène	1/2,5	½
	- à zones	½	½
5 à 10 m	- homogène, granularité étendue	½	½
	- homogène à fort pourcentage d'argile	1/2,5	1/2,5
	- à zones	½	1/2,5
10 à 20 m	- homogène, granularité étendue	1/2,5	1/2,5
	- homogène, à fort pourcentage d'argile	1/3	1/2,5
	- à zones	½	1/3

Les valeurs des pentes adoptées sont :

- Amont :

$\frac{1}{3}$ de la côte 185 jusqu'à la côte 195 m

$\frac{1}{2,5}$ de la côte 195 jusqu'à la crête du barrage.

- Aval :

$\frac{1}{3}$ de la côte 188 jusqu'à la côte 201 m

$\frac{1}{2,5}$ de la côte 201 jusqu'à la crête du barrage.

3.3. Protection des talus :

Le profil de la digue étant établi de façon à assurer l'ouvrage une stabilité suffisante, il faut encore prévoir une protection des talus contre l'érosion due au ruissellement et au vent. De plus, le parement amont devra être protégé contre le battillage.

Talus amont :

Sur le talus amont, on prévoit en général un enrochement en vrac ou un perré de pierres arrangé à la main, qui repose sur une couche drainante de gravier et de sable de 30 cm formant un filtre. Le filtre a pour but de faciliter le drainage du massif tout en arrêtant les éléments fins qui pourraient être entraînés à travers les vides de l'enrochement.

L'enrochement protège le filtre contre l'action des vagues.

L'épaisseur de l'enrochement varie en général de 0,30 m à 1,0 m.

Talus aval :

Sur le talus aval, la protection la plus économique consiste à ébenner le parement après avoir, si nécessaire recourir le talus d'une couche de 5 à 10 cm de terre végétale.

4. RESEAU D'ECOULEMENT :

4.1. Infiltration :

Les infiltrations à travers une digue donnent naissance à un réseau d'écoulement à l'intérieur de celle-ci.

Si ces infiltrations augmentent en intensité, elles provoquent le phénomène de Renard et par conséquent la destruction totale de l'ouvrage.

4.2. Ligne de saturation :

La ligne de saturation est déterminée sur la base de la parabole de KOZENY qui fut le premier à avoir étudié un tel écoulement.

Toute fois CASAGRANDE apporta quelques précisions en spécifiant que l'écoulement serait correctement représenté, si on fait la parabole théorique d'un point situé à $0,3 b$ du point B où b est la projection horizontale de la partie mouillée du parement amont.

La ligne de saturation partira d'un point situé à l'intersection du plan d'eau et du parement amont.

D'après KOZENY; c'est une parabole d'équation $(x + y_0)^2 = x^2 + y^2$
 $y^2 - y_0^2 - 2xy_0 = 0$

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

où : H : hauteur d'eau correspondante au niveau normal de la retenue (m)

x, y : les coordonnées de la parabole

y_0 : ordonnée de la parabole

H = 23,03; d = 81,00 graphiquement $y_0 = 3,74$ m

$$y^2 = 13,98 + 7,48 x$$

Dans notre cas, il s'agit d'un barrage en terre homogène muni d'un tapis horizontal qui rabat la ligne de saturation à l'intérieur du barrage.

Dans ce cas, le parabole de KOZENY a pour foyer l'extrémité amont du tapis horizontal auquel se raccorde la ligne de saturation.

Les coordonnées x et y qui définissent la parabole de KOZENY sont représentées au tableau suivant :

x	0	2	4	8	12	16	30	35	40	45	50	55
y	3,74	5,37	6,60	8,59	10,18	11,59	15,44	16,6	17,0	18,72	19,69	20,62

4.3. Evaluation du débit de fuite :

L'écoulement étant permanent, la loi de DARCY permet d'écrire :

$$q = K.I.A$$

où : K : perméabilité du corps du barrage

A : aire soumise à l'infiltration par unité de largeur $A = y.1$

I : gradient hydraulique

$$I = \frac{dy}{dx} \implies qdx = Ky dy$$

En utilisant la propriété de la parabole de KOZENY, on obtient :

$$q = K \cdot y \cdot \frac{dy}{dx} = K y_0$$
$$\Rightarrow q = K y_0 = K \left(\sqrt{H^2 + d^2} - d \right)$$
$$\begin{array}{l} H = 23,03 \\ d = 81,00 \\ K = 1,9 \cdot 10^{-7} \end{array} \Rightarrow q = 7,052 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Conclusion :

Ce débit est largement suffisant (admissible).

4.4. Tapis filtrant :

Du fait de la charge hydraulique à l'amont du barrage, l'eau s'infiltré progressivement dans le massif même du barrage et dans ses fondations, bien que le choix des matériaux de construction et de l'implantation de l'ouvrage aient été faits de manière à limiter les débits d'infiltration, il importe donc d'éviter les resurgences des eaux infiltrées à l'aval ne nuisent à la stabilité de l'ouvrage par création du renard ou par destruction partielle au pied aval du barrage.

A cet effet, on doit prévoir à l'intérieur du massif du barrage et éventuellement dans les fondations de celui-ci un dispositif drainant qui interceptera les eaux d'infiltration, ce dispositif est en général composé de drains et de filtres.

- Un drain est un organe qui évacue les eaux provenant d'une filtration à travers un massif ou d'un ressuyage;

- un filtre est un organe destiné à bloquer la migration des particules fines éventuellement entraînées par la circulation de l'eau dans un massif.

Filtres et drains sont associés, le filtre pouvant jouer lui-même le rôle de drain surtout dans les petits ouvrages (notre cas).

Constitution des filtres :

Les filtres sont constitués de couches successives de matériaux perméables, de granulométrie de plus en plus fines assurant la transition entre le drain et les éléments fins des terres drainées. Dans un filtre chaque couche doit jouer le rôle de filtre vis-à-vis de la précédente dans le sens d'écoulement de l'eau.

Un filtre ne doit ni se dégrader par entrainement de ses éléments, ni se colmater. Il est conseillé pour cela d'utiliser des sables dont le coefficient d'uniformité $C = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 2$.

Disposition des drains-tapis dans un barrage en terre :

Pour intercepter les infiltrations dans le massif d'un barrage en terre, on dispose habituellement dans la partie aval du massif, un drain-tapis filtrant destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieure du massif. Ce drain s'étend sur $\frac{1}{4} + \frac{1}{3}$ de l'emprise du barrage.

4.5. Etanchéité de l'assise :

L'étanchéité de l'assise étant assurée par les marnes constituant la fondation de notre ouvrage. Par conséquent, il n'y aura aucun risque d'affouillement.

4.6. Prisme de drainage :

Un drain permettant de recueillir les eaux d'infiltration sera projeté du talus aval.

5. ETUDE DE LA STABILITE :

5.1. Exposé du problème :

L'étude de la stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation. Il n'existe pas de méthode globale permettant de calculer la stabilité d'un tel système sans faire l'hypothèse. Pour arriver à un résultat, on est obligé de se donner la forme de la surface de rupture au contact de laquelle il peut y avoir glissement. On prend en général une surface cylindrique circulaire à axe horizontal qui apparait comme un cercle appelé cercle de glissement dans une coupe verticale de la digue. Il existe plusieurs méthodes de calcul. La méthode la plus couramment utilisée est celle de "FELLENIUS" perfectionnée par "BISHOP" elle peut donner lieu à une application graphique qui est décrite plus loin sous le nom de METHODE DE COURTNEY.

5.2. Procédé de la méthode :

On admet que la rupture a lieu suivant une surface de glissement en forme de cylindre circulaire et qu'elle se produit instantanément et simultanément le long de la surface à axe horizontal de cercle "O" et de rayon "r".

Inventaire des forces :

On considère une tranche d'ordre "n" :

- G_n : poids de la tranche
- N_n : composante normale de G
- T_n : composante tangentielle de G
- X_n : composante horizontale due à l'action de la tranche voisine (n - 1)
- Z_n : composante verticale due à l'action de la tranche voisine (n - 1)

$$\begin{array}{l} Z_n + 1 - Z_n = 0 \implies Z_n + 1 = Z_n \\ X_n + 1 - X_n = 0 \implies X_n + 1 = X_n \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} Z_n + 1 - Z_n = 0 \\ X_n + 1 - X_n = 0 \end{array}} \right\} \text{Il n'y a pas d'INTERACTION}$$

Classification des forces glissantes :

a.- Forces stabilisatrices :

* force de frottement :

$$(N - P dl) \operatorname{tg} \varphi$$

où : N : composante normale de G

P : pression hydrostatique

dl : longueur de l'arc délimitant la base de la tranche.

* Force de cohésion :

$$C \cdot dl$$

où : C : cohésion du sol

dl : longueur de l'arc délimitant la base de la tranche.

La somme des moments correspondant aux forces de frottement par rapport au centre de glissement "O" est donnée par :

$$\sum M^t (F)_f = \sum \int (N - P dl) \operatorname{tg} \varphi + C \cdot dl \int R.$$

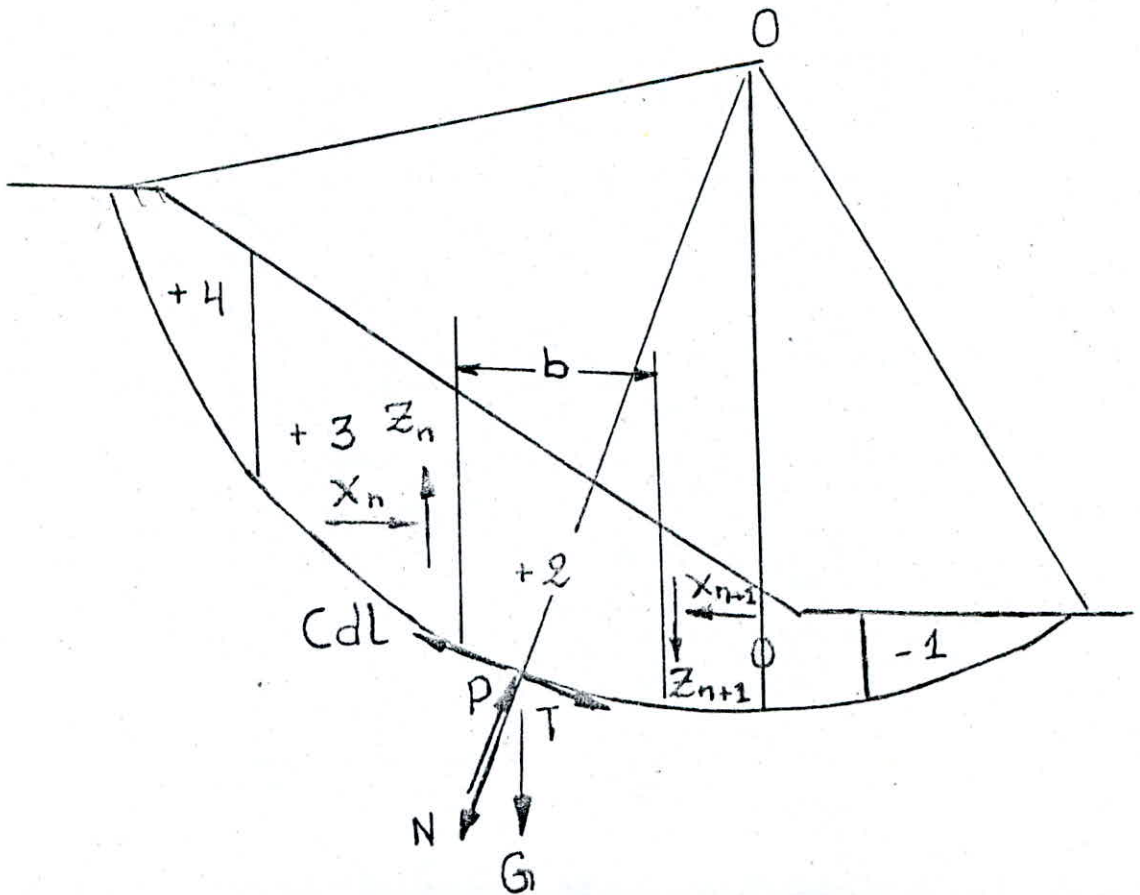
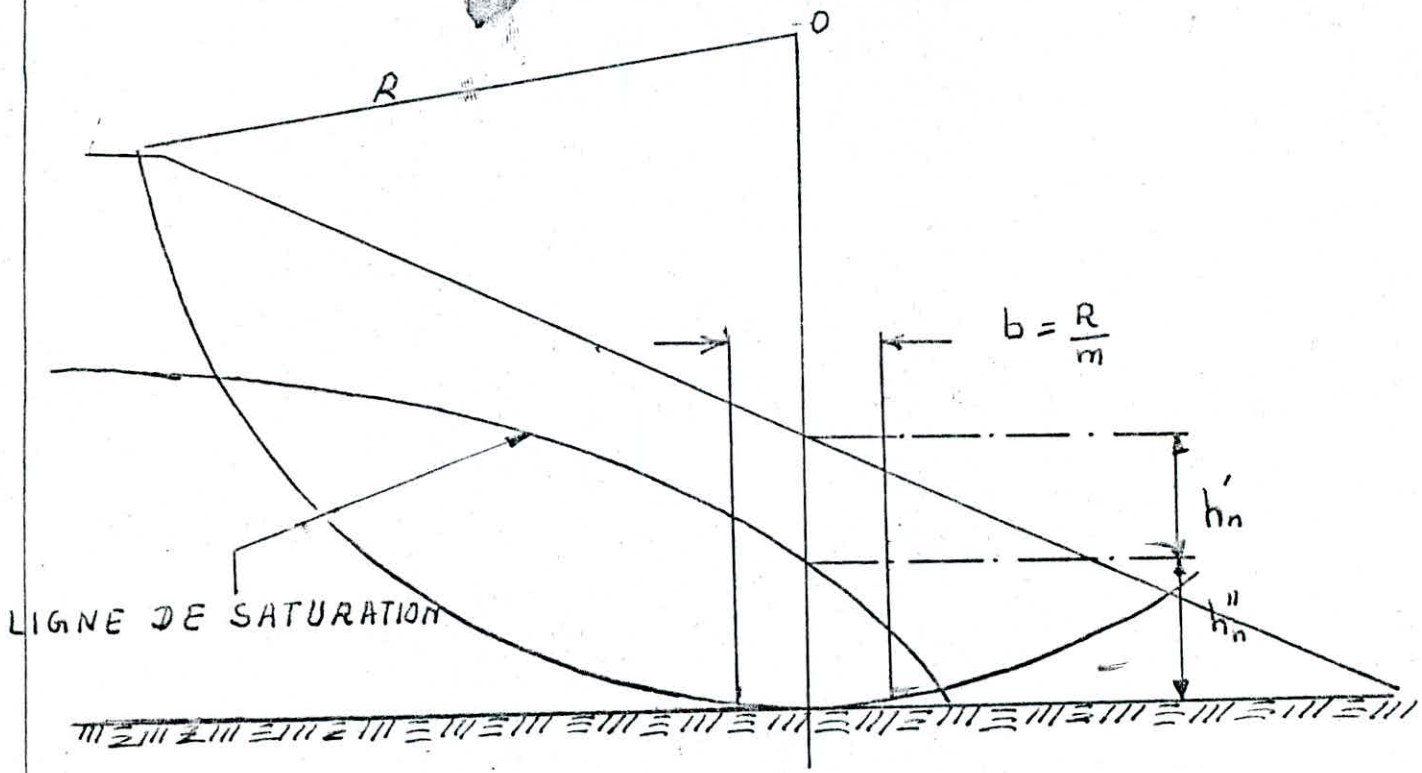
b.- Forces motrices :

T : composante tangentielle de G.

Cette force motrice à tendance à entrainer le glissement. La somme des moments par rapport au centre de glissement de cette force est donnée par :

$$\sum M^t (T)_m = \sum R \cdot T = R \int T$$

Pour le calcul de la stabilité des talus, on introduit un coefficient de sécurité pour obtenir les conditions normales compatibles avec la bonne tenue de l'ouvrage.



Le coefficient de sécurité contre le glissement est défini comme le rapport du moment des forces résistantes à celui des forces motrices.

$$K_s = \frac{\sum M^t (F)_f + \sum M^t (F)_c}{\sum M^t (F)_m}$$

$$K_s = \frac{R \sum [(N - Pdt) \text{tg} + Cd] }{R \sum T}$$

$$C \neq 0$$

$$K_s = \frac{\sum [(N - Pdl) + cd]}{\sum T}$$

Le découpage des tranches dans la partie du massif susceptible au glissement se fait ainsi :

- avec : R : rayon du cercle de glissement (m)
- N_t : nombre de tranches (on prend N_t = 10)

la largeur d'une tranche est :

$$b = \frac{R}{N_t} = c \text{ te}$$

La tranche interceptée par la verticale menée du cercle au centre " O " portera le numéro zéro (0).

Pour le talus aval les tranches se trouvent à droite se voient numérotées négativement, celle de gauche positivement, à l'amont c'est l'inverse.

Le poids d'une tranche d'ordre " n " est déterminée par l'expression :

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

- où : b : largeur de la tranche
- γ₁ : densité de la zone du massif situé au dessus de la ligne de saturation (densité sèche)

γ_2 : densité de la zone située 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.

(Pour notre cas, $h'''_n = 0$ \Rightarrow n'intervient pas dans le calcul)

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

La force tangentielle est donnée par :

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

La composante normale du poids de la tranche est donnée par :

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

avec :

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

où : n : numéro de la tranche considérée

n_t : nombre total des tranches

$$\Rightarrow \cos \alpha_n = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_n}$$

α_n : angle formé par l'intersection de la tranche d'ordre "n" avec la verticale.

La pression hydrostatique due aux infiltrations des eaux est donnée par :

$$Pd_l = \gamma \cdot h_p \cdot dl$$

$$dl_n = ln = \frac{b}{\cos \alpha_n}$$

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

Types de fonctionnement considérés lors de l'étude de la stabilité des talus.
On considère deux types de fonctionnement pour chaque talus.

a.- Talus amont :

- fin de construction (réservoir vide);
- vidange rapide.

Une fois le réservoir est vide, il reste dans le corps du barrage une certaine quantité d'eau du fait de la rapidité de vidange. Cette quantité est la cause d'une pression qui contribue en partie à l'équilibre du massif mouillé.

On admet que la composante normale sera égale à :

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

$(\gamma_{\text{sat}} - 1)$: densité immergée

$$n = h_n \cdot \cos \alpha_n$$

d'où : $(N - Pdl) = (\gamma_{\text{sat}} - 1) \cdot b \cdot h_n \cdot \cos \alpha_n$

la composante tangentielle sera :

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

où : $t = h_n \cdot \sin \alpha_n$

$$\Rightarrow T = \gamma_{\text{sat}} \cdot b \cdot h_n \cdot \sin \alpha_n$$

Cette force est génératrice d'un mouvement d'entraînement.

b.- Talus aval :

- fin de construction (réservoir vide);
- fonctionnement normal (réservoir plein) d'où la naissance d'un écoulement continu vers l'aval;

- sollicitation due aux séismes :

Dans ce cas, on tient compte de la force due à l'accélération d'un tel mouvement :

$$K_{SS} = \frac{\sum (N_n - p_n \cdot dl_n) \operatorname{tg} \varphi + \sum C \cdot dl}{\sum T_n + \frac{1}{R} \sum a \cdot G_n \cdot dn}$$

où : $a \cdot G_n$: force due au séisme

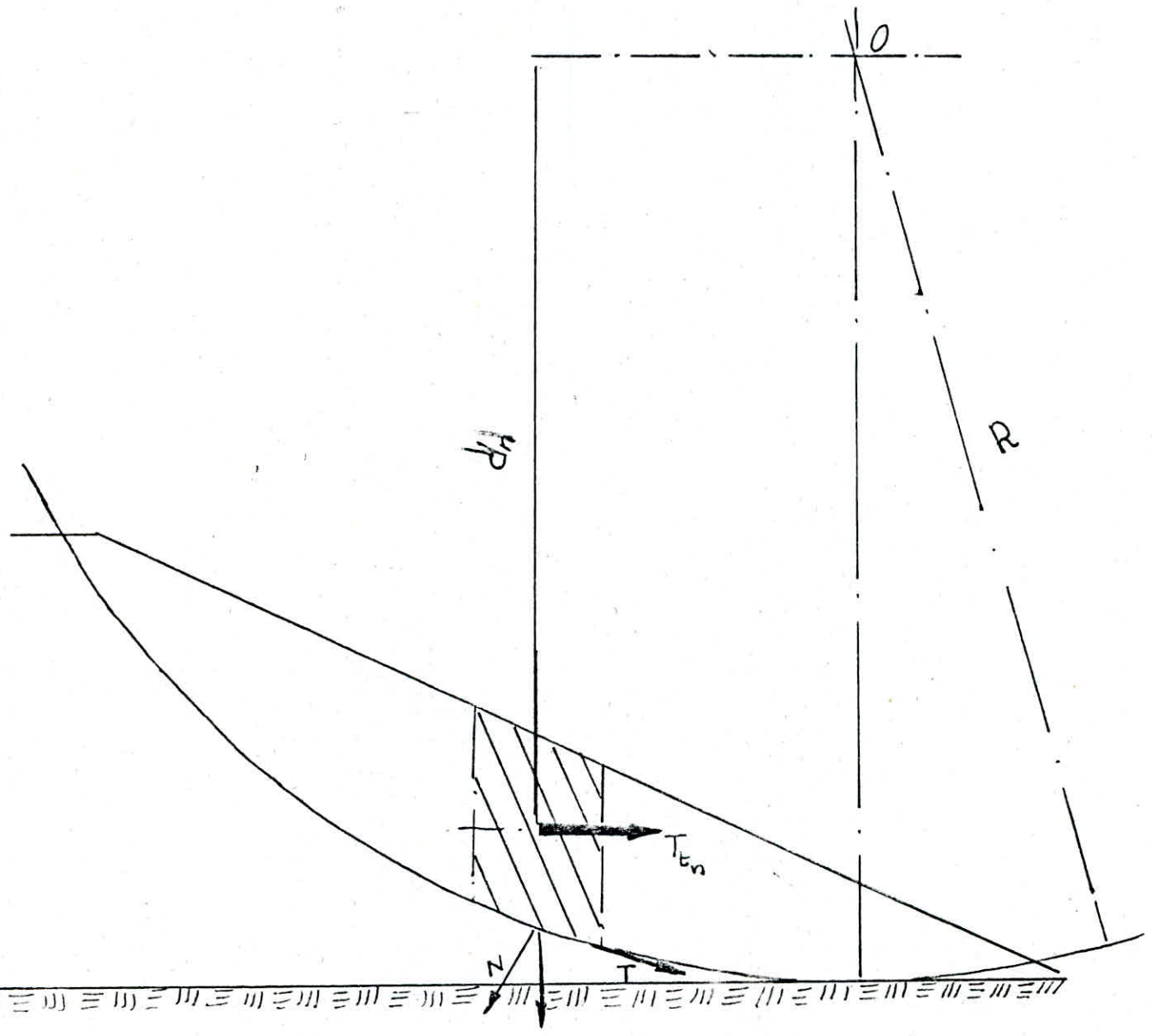
dn : bras de levier

a : coefficient sismique ($a = 0,17$)

φ : accélération du mouvement sismique

$$\varphi = a \cdot g$$

SOLLICITATIONS DUES AUX SEISMES



FIN DE CONSTRUCTION AMONT $R = 52 \text{ m}$

N° des través	b	h'	f ₁	G _m	Sin α	cos α	G _m Sin α	G _m cos α	tg α	G _m cos tg α	Ln	U Ln	d _n	T _{en}	d _n T _{en}		
-4	2,6	3	1,73	13,49	-0,4	0,92	-5,40	12,37	0,47	5,77	2,84	0,51	46,8	2,29	107,36		
-3	"	6,2	"	55,78	-0,3	0,95	-16,73	53,21	"	24,81	5,45	0,98	46,7	9,48	443,75		
-2	"	9,2	"	82,76	-0,2	0,98	-16,55	81,09	"	37,81	5,31	0,96	46,4	14,07	652,84		
-1	"	11,2	"	100,76	-0,1	0,99	-10,08	100,25	"	46,75	5,23	0,94	46,0	17,13	787,91		
0	"	11,8	"	106,15	0	1	0	106,15	"	49,50	5,20	0,94	46,2	17,05	833,72		
1	"	13,6	"	122,35	0,1	0,99	12,23	121,73	"	56,76	5,23	0,94	44,8	20,80	931,78		
2	"	15	"	134,94	0,2	0,98	26,89	132,21	"	61,65	5,31	0,96	43,6	22,94	1000,18		
3	"	15,8	"	142,14	0,3	0,95	42,64	135,59	"	63,23	5,45	0,98	42	24,16	1014,86		
4	"	16	"	143,14	0,4	0,92	57,57	131,92	"	61,52	5,67	1,02	40	24,47	978,76		
5	"	15,4	"	138,54	0,5	0,87	69,27	119,98	"	55,95	6,0	1,08	37,4	23,55	880,83		
6	"	14	"	125,94	0,6	0,80	75,57	100,76	"	46,98	6,50	1,17	35,0	21,41	749,37		
7	"	11,8	"	106,15	0,7	0,71	74,31	75,81	"	35,35	7,28	1,31	32,0	18,05	577,47		
8	"	8,0	"	71,97	0,8	0,60	57,57	43,18	"	20,14	8,67	1,56	28,4	12,23	347,46		
9	2,2	2,8	4	10,66	0,9	0,44	9,59	4,65	"	2,17	5,05	0,91	24,8	1,81	44,39		
				Σ 376,88					Σ 568,39			Σ 14,26					Σ 9350,68

$$K_S = \frac{568,39 + 14,26}{376,88} = 1,545$$

$$K_{SS} = \frac{568,39 + 14,26}{376,88 + \frac{9350,68 \cdot 1}{52}} = 1,046$$

FIN DE CONSTRUCTION AMONT $R = 41,5 \text{ m}$

$h = \text{ds}$ vande	b	h'	f	Gn	Sin α	cos α	Gn. Sin α	Gn. cos α	tg α	Gn cos α tg α	Ln	Ci Ln	d _n	T _{en}	d _n . T _{en}
6	0,8	0,4	1,73	0,55	-0,6	0,80	-0,33	0,44	0,47	0,21	1,0	0,18	33,8	0,09	3,18
5	4,14	3,4	"	24,35	-0,5	0,87	-12,18	21,09	"	9,83	4,78	0,86	34,4	4,14	142,41
4	"	6,4	"	45,84	-0,4	0,92	-18,34	42,01	"	19,59	4,52	0,81	34,8	7,79	278,18
3	"	9,3	"	66,61	-0,3	0,95	-19,98	63,54	"	29,63	4,33	0,78	35,0	11,32	396,32
2	"	10,8	"	77,35	-0,2	0,98	-15,47	75,79	"	35,34	4,22	0,76	35,4	13,15	465,50
1	"	12	"	85,95	-0,1	0,99	-8,59	85,52	"	39,88	4,16	0,75	35,6	14,61	520,15
0	"	14	"	100,27	0	1	0	100,27	"	46,76	4,14	0,74	34,4	17,05	586,38
1	"	15,2	"	108,87	0,1	0,99	10,89	108,32	"	50,51	4,16	0,75	33,6	18,51	677,36
2	"	16,3	"	116,74	0,2	0,98	23,34	114,38	"	53,33	4,22	0,76	32,6	19,85	646,99
3	"	17	"	121,76	0,3	0,95	36,53	116,15	"	54,16	4,34	0,78	31,4	20,70	649,94
4	"	16,8	"	120,32	0,4	0,92	48,13	110,28	"	51,42	4,52	0,81	28,8	20,46	589,11
5	"	16,4	"	117,46	0,5	0,87	58,73	101,72	"	47,43	4,78	0,86	28,0	19,97	559,11
6	"	15,4	"	110,28	0,6	0,80	66,18	88,24	"	41,15	5,18	0,93	25,4	18,75	476,27
8	"	13,2	"	94,54	0,7	0,71	66,18	67,56	"	31,48	5,80	1,04	23,0	16,07	369,65
8	"	10,2	"	73,05	0,8	0,60	58,44	43,83	"	20,44	6,90	1,24	19,2	12,41	238,44
9	3,2	5,6	"	31,00	0,9	0,44	27,90	13,51	"	6,30	7,34	1,32	15,8	5,27	79,05

$K_s = 1,713$

$K_{ss} = 1,141$

FIN DE CONSTRUCTION AMONT $R = 45\text{ m}$

N ^o Des tranches	b	h'	f _i	G _n	S _{inc}	cos α	G _{n. cos}	G _{n. sin}	tg α	G _{n. cos. tgα}	L _n	Ci. L _n	d _n	T _{en}	d _n . T _{en}
-5	2	1,4	1,73	4,84	-0,5	0,86	4,19	-2,42	0,47	1,95	2,31	0,42	38,4	0,82	31,62
-4	4,5	4,4	"	34,25	-0,4	0,92	31,39	-13,71	"	14,64	4,91	0,88	39,0	5,82	227,10
-3	"	7,8	"	60,72	-0,3	0,95	57,93	-18,21	"	27,01	4,71	0,85	39,2	10,32	404,65
-2	"	10,2	"	79,41	-0,2	0,98	77,80	-15,88	"	36,28	4,59	0,83	39,0	13,49	526,46
-1	"	11,6	"	90,35	-0,1	0,99	89,85	-9,03	"	41,89	4,52	0,813	38,9	15,35	595,65
0	"	12,2	"	94,97	0	1	94,98	0	"	44,28	4,50	0,81	38,9	16,15	628,08
1	"	14,0	"	108,99	0,1	0,99	108,44	10,89	"	50,57	4,52	0,814	37,8	18,53	700,37
2	"	14,8	"	115,21	0,2	0,98	112,89	23,04	"	52,64	4,59	0,83	37,0	19,59	724,72
3	"	15,4	"	119,89	0,3	0,95	114,37	35,96	"	53,33	4,71	0,85	36,0	20,38	733,72
4	"	15,6	"	121,45	0,4	0,92	111,31	48,58	"	51,90	4,91	0,88	33,8	20,65	697,83
5	"	15,2	"	118,33	0,5	0,86	102,48	59,17	"	47,79	5,20	0,94	31,8	20,12	639,70
6	"	13,8	"	107,43	0,6	0,80	85,94	64,46	"	40,07	5,63	1,012	29,4	18,26	536,95
7	"	11,8	"	91,86	0,7	0,71	65,60	64,30	"	30,59	6,30	1,13	25,8	15,62	402,90
8	"	8,4	"	65,39	0,8	0,60	39,24	52,32	"	18,30	7,50	1,35	22,8	11,12	253,47
9	2,8	3,6	"	17,44	0,9	0,44	7,60	15,69	"	3,54	6,42	1,16	19,2	2,96	56,92

$$K_s = 1,676$$

$$K_{ss} = 1,114$$

FONCTIONNEMENT NORMAL $R = 49.8 m$

№ bande	b (m)	h' (m)	h'' (m)	f ₁ (t/12)	f ₂ (t/12)	G.n	Sin α	cos α	G.n. Sin	G.n. cos	Wφ	log e	Ln	(G.n. cos - Wφ) / e	c. Ln	dn	T _{en}	T _{en} · dn
4	2,4	1,4	0	1,73	2,08	5,81	-0,4	0,92	-2,3	5,33	0	0,47	2,61	2,48	0,47	45,2	0,98	44,66
3	4,98	4,0	0	"	"	34,46	0,3	0,95	-10,33	32,87	0	"	5,22	15,33	0,94	45,4	5,85	265,97
2	"	7,4	0	"	"	63,75	0,2	0,98	-12,75	62,47	0	"	5,08	29,13	0,91	45	10,84	487,72
1	"	10,0	0	"	"	86,15	0,1	0,99	-8,62	85,72	0	"	5,00	39,97	0,90	44,8	14,65	656,15
0	"	12,2	0	"	"	105,10	0	1	0	105,10	0	"	4,98	49,01	0,89	44	17,86	786,21
1	"	11,4	2,6	"	"	125,15	0,1	0,99	12,51	124,52	13,01	"	5,00	51,99	0,9	43	21,26	914,83
2	"	12,0	3,2	"	"	136,53	0,2	0,98	27,30	133,77	16,26	"	5,08	54,79	0,91	41,8	23,21	970,19
3	"	11,4	3,0	"	"	129,29	0,3	0,95	38,78	123,34	15,66	"	5,22	50,21	0,94	39	21,98	857,19
4	"	11	2,6	"	"	121,7	0,4	0,92	48,68	111,54	14,13	"	5,43	45,42	0,98	38	20,68	786,19
5	"	11,8	1,2	"	"	114,09	0,5	0,86	57,04	98,80	6,9	"	6,75	42,85	1,035	36	19,39	698,24
6	"	11,8	0	"	"	101,66	0,6	0,8	60,99	81,33	0	"	6,23	37,92	1,120	34	17,21	587,60
7	"	9,0	0	"	"	82,71	0,7	0,7	57,89	59,06	0	"	6,97	27,54	1,25	31,8	14,04	447,108
8	"	6,0	0	"	"	51,69	0,8	0,6	41,35	31,01	0	"	8,3	14,46	1,49	27,6	8,78	242,54
9	1,8	2,0	0	"	"	6,23	0,9	0,43	5,605	2,71	0	"	4,12	1,263	0,74	23,8	1,058	24,35

Σ 316,14

Σ 462,36 Σ 13,47

Σ

$$K_s = \frac{462,36 + 13,47}{316,14} = 1,505$$

$$K_{ss} = \frac{462,36 + 13,47}{316,14 + 7768,95 \cdot \frac{1}{49,8}} = 1,01$$

' FONCTIONNEMENT NORMAL $R = 51,4 \text{ m}$

	b (m)	h' (m)	h'' (m)	σ_1 t/m ²	σ_2 t/m ²	G _n	Sin α	cos α	G _n Sin α	G _n cos α	W _φ	tg α	L _n	(G _n cos α - w _φ) tg α	C.Ln	d _n	T _{en}	T _{en} · d _n
-4	3,2	2,0	0	1,73	2,08	11,07	-0,4	0,92	-4,43	10,15	0	0,47	3,49	4,73	0,63	46,8	1,88	88,08
-3	5,14	5,0	0	"	"	44,46	-0,3	0,95	-13,34	42,41	0	"	5,38	19,78	0,97	46,4	7,56	350,71
-2	"	7,6	0	"	"	67,58	-0,2	0,98	-13,52	66,22	0	"	5,25	30,87	0,94	46,2	11,48	530,78
-1	"	11,0	0	"	"	97,81	-0,1	0,99	-9,78	97,32	0	"	5,16	47,38	0,93	45,8	16,63	761,58
0	"	13,2	0	"	"	117,38	0	1	0	117,38	0	"	5,14	54,74	0,92	45,0	19,95	897,93
1	"	12	2,8	"	"	136,64	0,1	0,99	13,66	135,96	14,46	"	5,16	56,65	0,93	44,0	23,23	1022,08
2	"	11,8	3,2	"	"	139,14	0,2	0,98	27,83	136,33	16,78	"	5,25	55,74	0,94	43,0	23,65	1017,12
3	"	10,6	3,8	"	"	134,88	0,3	0,95	40,46	128,67	20,47	"	5,38	50,45	0,97	42,0	22,93	963,07
4	"	11,6	3,0	"	"	135,22	0,4	0,91	54,08	123,93	16,82	"	5,61	49,95	1,009	40,6	22,98	933,31
5	"	12,3	1,5	"	"	125,41	0,5	0,86	62,71	108,61	8,9	"	5,93	46,49	1,068	37,4	21,32	797,36
6	"	12,4	0	"	"	110,26	0,6	0,80	66,16	88,21	0	"	6,43	41,13	1,15	35	18,74	656,06
7	"	11,2	0	"	"	99,59	0,7	0,71	69,71	71,12	0	"	7,19	33,16	1,29	31,8	16,9	538,39
8	"	6,0	0	"	"	53,35	0,8	0,60	44,68	32,01	0	"	8,56	14,93	1,54	27,8	9,07	252,15
9	1,2	1,6	0	"	"	3,321	0,9	0,43	2,98	1,41	0	"	2,75	0,675	0,49	24,4	0,56	13,78

Σ 341,12

Σ 506,67 Σ 13,77

Σ 8822,40

$$K_s = \frac{506,67 + 13,77}{341,12} = 1,528$$

$$K_{ss} = \frac{506,67 + 13,77}{341,12 + 8822,40 \cdot \frac{1}{514}} = 1,014$$

FONCTIONNEMENT NORMAL $R = 54.6 \text{ m}$

Σ Des ranch	b (m)	h' (m)	h'' (m)	f ₁ t(m)	f ₂ t(m)	G _n	Sin α	cos α	G _n sin α	G _n cos α	w _f	tg ϵ	L _n	(G _n · cos α · w _f) ²	C · L _n	d _n	T _{1n}	T _{1n} · d _n
4	3.4	1.8	0	1.73	2.08	10.58	-0.4	0.92	-4.23	9.71	0	0.47	3.71	4.52	0.67	47	1.79	84.59
-3	5.46	5.0	0	"	"	47.23	-0.3	0.95	-14.16	45.05	0	"	5.72	21.008	1.03	47.2	8.03	378.96
-2	"	8.2	0	"	"	77.45	-0.2	0.98	-15.49	75.89	0	"	5.57	35.38	1.00	47	13.16	618.87
-1	"	10.4	0	"	"	98.24	-0.1	0.99	-9.82	97.74	0	"	5.48	45.57	0.98	46.2	16.7	771.55
0	"	11.4	2.4	"	"	134.93	0	1	0	134.93	13.10	"	5.46	56.81	0.98	45.4	22.9	1041.45
1	"	12.4	3.0	"	"	151.2	0.1	0.99	15.12	150.44	16.46	"	5.49	62.47	0.98	44	25.7	1130.96
2	"	10.8	4.0	"	"	147.4	0.2	0.98	29.48	144.5	22.29	"	5.57	56.96	1.003	43.6	25.06	1092.83
3	"	11.4	3.8	"	"	150.84	0.3	0.95	45.25	143.89	21.75	"	5.72	56.95	1.03	42.6	25.64	1092.37
4	"	12.4	2.6	"	"	146.66	0.4	0.92	58.66	134.41	15.48	"	5.95	55.45	1.07	40.4	24.9	1007.23
5	"	13.0	1.6	"	"	140.96	0.5	0.86	70.48	122.08	10.08	"	6.3	52.22	1.13	38.0	23.9	910.64
6	"	12.8	0	"	"	120.91	0.6	0.80	72.54	96.72	0	"	6.8	45.10	1.23	35.0	20.55	719.39
7	"	10.4	0	"	"	98.24	0.7	0.71	68.76	70.15	0	"	7.64	32.71	1.37	31.0	16.7	517.7
8	"	5.0	0	"	"	47.23	0.8	0.60	37.78	28.33	0	"	9.10	13.21	1.64	28.6	8.028	229.63

$\Sigma 357.37$

$\Sigma 538.36 \Sigma 14.11$

$\Sigma 9596.17$

$$K_s = \frac{538.36 + 14.11}{357.37} = 1.559$$

$$K_{ss} = \frac{538.36 + 14.11}{357.37 + 9596.17 \cdot \frac{1}{54.6}} = 1.042$$

FIN DE CONSTRUCTION AVAL

$R = 49,8m$

N ^o Des cours	b	h'	σ_i	G _n	Sin α	cos α	G _n Sin α	G _n cos α	tg α	G _n cos α tg α	L _n	C. L _n	d _n	T _{en}	T _{en} · d _n		
-4	2,4	1,4	1,43	5,81	-0,4	0,92	-2,33	5,33	0,47	2,48	2,62	0,47	45,2	0,99	44,67		
-3	4,98	4,0	"	34,46	-0,3	0,95	-10,33	32,87	"	15,33	5,22	0,94	45,4	5,86	265,97		
2	"	7,4	"	63,75	-0,2	0,98	-12,75	62,46	"	29,13	5,08	0,91	45,0	10,84	487,72		
1	"	10,0	"	86,15	-0,1	0,99	-8,6	85,72	"	39,97	5,00	0,90	44,8	14,65	656,15		
0	"	12,2	"	105,10	0	1	0	105,10	"	49,01	4,98	0,89	44,0	17,87	786,21		
1	"	14,0	"	120,62	0,1	0,99	12,06	120,01	"	55,96	5,01	0,901	43,0	20,50	881,70		
2	"	15,2	"	130,95	0,2	0,98	26,19	128,31	"	59,83	5,08	0,91	41,8	22,26	930,57		
3	"	14,4	"	124,06	0,3	0,95	37,22	118,35	"	55,19	5,22	0,94	39,0	21,09	820,00		
4	"	13,6	"	117,17	0,4	0,92	46,87	107,38	"	50,07	5,43	0,97	38,0	19,92	756,91		
5	"	13,0	"	112,0	0,5	0,86	56,00	96,99	"	45,23	5,75	1,035	36,0	19,04	685,44		
6	"	11,8	"	101,66	0,6	0,80	60,99	81,33	"	37,92	6,23	1,12	34,0	17,28	587,60		
7	"	9,6	"	82,71	0,7	0,71	57,89	59,06	"	27,54	6,97	1,26	31,8	14,06	447,12		
8	"	6,0	"	51,69	0,8	0,60	41,35	31,01	"	14,46	8,30	1,49	27,6	8,78	242,54		
9	"	2,0	"	6,23	0,9	0,43	5,60	2,71	"	1,27	4,13	0,74	23,8	1,05	24,35		
				Σ 310,16					Σ 483,07				Σ 13,48				Σ 7031,88

$$K_s = \frac{483,07 + 13,48}{310,16} = 1,602$$

$$K_{ss} = \frac{483,07 + 13,48}{310,16 + \frac{7031,88 \cdot 1}{49,8}} = 1,072$$

FIN DE CONSTRUCTION AVAL

$R = 51,4 \text{ m}$

Ni Des tranché	b	h'	ξ_1	G_n	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$G_n \cdot \sin \alpha$	$G_n \cdot \cos \alpha$	t_{ge}	$G_n \cdot \cos \alpha \cdot t_{ge}$	L_n	$C \cdot L_n$	d_n	T_{tn}	$T_{tn} \cdot d_n$
-4	3,2	2,0	1,73	11,07	-0,4	0,92	-4,42	10,15	0,47	4,73	3,49	0,63	46,8	1,88	88,09
-3	5,14	5,0	"	44,46	-0,3	0,95	-13,34	42,81	"	19,78	5,39	0,97	46,4	7,56	350,71
-2	"	7,6	"	67,58	-0,2	0,98	-13,52	66,22	"	30,88	5,25	0,94	46,2	11,49	530,79
-1	"	11,0	"	97,81	-0,1	0,99	-9,78	97,32	"	45,38	5,17	0,93	45,8	16,62	761,58
0	"	13,2	"	117,38	0	1,0	0	117,38	"	54,73	5,14	0,93	45,0	19,95	897,93
1	"	14,8	"	131,60	0,1	0,99	13,16	130,94	"	61,06	5,17	0,93	44,0	22,37	984,40
2	"	15,0	"	133,38	0,2	0,98	26,78	130,69	"	60,94	5,25	0,94	43,0	22,68	975,03
3	"	14,4	"	128,05	0,3	0,95	38,41	122,15	"	56,95	5,39	0,97	42,0	21,77	914,26
4	"	14,6	"	129,83	0,4	0,92	51,93	118,99	"	55,48	5,61	1,01	40,6	22,07	896,20
5	"	13,8	"	122,71	0,5	0,87	61,36	106,27	"	49,56	5,94	1,07	37,4	20,86	780,07
6	"	12,4	"	110,26	0,6	0,80	66,16	88,81	"	41,13	6,41	1,16	35,0	18,74	656,07
7	"	11,2	"	99,59	0,7	0,71	69,71	71,12	"	33,17	7,19	1,03	31,8	16,93	538,39
8	"	6,0	"	53,35	0,8	0,60	42,68	32,01	"	14,93	8,57	1,54	27,8	9,07	252,15
9	1,2	1,6	"	3,32	0,9	0,44	2,99	1,45	"	0,68	2,75	0,50	24,4	0,56	13,78

$\Sigma 332,12$

$\Sigma 528,72$

$\Sigma 13,55$

$\Sigma 8639,45$

$K_s = \frac{528,72 + 13,55}{332,12} = 1,636$

$K_{ss} = \frac{528,72 + 13,55}{332,12 + 8639,45 \cdot \frac{1}{51,4}} = 1,086$

FIN. DE CONSTRUCTION AVAL

$R = 54,6m$

N ^o de tranchée	b (m)	h' (m)	β_1	Gn	Sin α	cos α	Gn. sin α	Gn. cos α	log e	Gn cos α log e	L _n	C.L _n	d _n	T _{en}	T _{en} · d _n		
-4	3,40	1,8	1,73	10,59	-0,4	0,92	-4,24	9,71	0,47	4,52	3,71	0,66	4,7	1,79	84,59		
-3	5,46	5,0	"	47,23	-0,3	0,95	-14,16	45,05	"	21,00	5,72	1,03	47,2	8,02	378,96		
-2	"	8,2	"	77,45	-0,2	0,98	-15,49	75,89	"	35,38	5,57	1,00	47	13,16	618,87		
-1	"	10,4	"	98,23	-0,1	0,99	-9,82	97,74	"	45,57	5,48	0,98	46,2	16,7	771,55		
0	"	13,8	"	130,35	0	1	0	130,35	"	60,78	5,46	0,98	45,4	22,16	1006,057		
1	"	15,4	"	145,46	0,1	0,99	14,54	144,74	"	67,49	5,48	0,987	44	24,73	1088,08		
2	"	14,8	"	139,8	0,2	0,98	27,95	136,97	"	63,49	5,57	1,003	43,6	23,76	1036,18		
3	"	15,2	"	143,57	0,3	0,95	43,07	136,96	"	63,86	5,72	1,03	42,6	24,41	1039,78		
4	"	15,0	"	143,58	0,4	0,92	57,43	131,59	"	61,36	5,96	1,07	40,4	24,41	1039,77		
5	"	14,6	"	141,68	0,5	0,86	70,84	122,71	"	57,22	6,31	1,13	38,0	24,04	973,106		
6	"	12,8	"	137,90	0,6	0,80	82,74	110,32	"	51,44	6,82	1,23	35,0	23,44	890,89		
7	"	10,4	"	120,90	0,7	0,71	84,63	86,34	"	40,26	7,65	1,37	31,0	20,55	719,39		
8	"	5,0	"	98,24	0,8	0,60	78,59	58,94	"	27,48	9,1	1,63	28,6	16,70	517,71		
				Σ 416,71					Σ 599,85				Σ 14,10				Σ 9125,15

$$K_s = \frac{599,85 + 14,10}{416,71} = 1,477$$

$$K_{ss} = \frac{599,85 + 14,10}{416,71 + 9125,15 \cdot \frac{1}{54,6}} = 1,0$$

VIDANGE RAPIDE $R = 49,0 \text{ m}$

N ^o des tranch	b	h"	f ₂	Sinx	cosx	G _n	G _n .Sinx	N-Pl _n	tgx	(N-Pl _n)tgx	L _n	CiL _n	dn	T _{tn}	T _{tn} .dn
-3	2	0,9	2,08	-0,3	0,95	3,74	-1,12	1,69	0,47	0,78	2,09	0,37	45,4	0,63	28,89
-2	4,9	2,4	"	-0,2	0,98	24,46	-4,89	11,97	"	5,98	5,0	0,90	45,6	4,16	189,62
-1	"	3,9	"	-0,1	0,99	39,75	-3,97	20,35	"	9,42	4,92	0,89	44,8	6,75	302,72
0	"	5,0	"	0	1	50,96	0	26,46	"	12,34	4,90	0,88	44,4	8,06	384,65
1	"	5,6	"	0,1	0,99	57,07	5,57	29,22	"	13,62	4,92	0,89	43,0	9,70	417,22
2	"	5,4	"	0,2	0,98	55,04	11,0	26,91	"	12,55	5,0	0,90	42,4	9,36	396,71
3	"	5,5	"	0,3	0,95	56,01	16,82	25,22	"	11,76	5,13	0,92	41,0	9,53	390,71
4	"	5,2	"	0,4	0,92	52,99	21,19	20,77	"	9,68	5,34	0,96	38,2	9,01	344,17
5	"	4,6	"	0,5	0,86	46,88	23,40	14,58	"	6,79	5,65	1,018	35,0	7,97	278,95
6	"	3,2	"	0,6	0,8	32,61	19,56	6,49	"	3,023	6,12	1,102	31,6	5,54	175,20
7	2,1	1,8	"	0,7	0,71	7,86	5,5	0,32	"	0,15	2,94	0,53	28	1,33	37,43

$\Sigma 93,06$

$\Sigma 85,94$

$\Sigma 9,36$

$$K_s = \frac{85,94 + 9,36}{93,06} = 1,021.$$

VIDANGE RAPIDE $R = 55,2 \text{ m}$

Nº Dos traml	b	h"	f_2	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	G_m	$G_m \cdot \sin \alpha$	$N \cdot PL_n$	γ_{ge}	$(N \cdot PL_n) \gamma_{ge}$	L_n	$C_i \cdot L_n$	d_n	T_{zn}	$T_{zn} \cdot d_n$
-3	4,6	2,0	2,08	-0,3	0,95	25,8	-7,3	14,93	0,47	6,96	4,82	0,87	52,2	4,38	228,6
-2	5,52	4,4	"	-0,2	0,98	68,0	-13,6	41,84	"	19,51	5,63	1,01	52,0	11,56	601,17
-1	"	7,0	"	-0,1	0,99	108,19	-10,82	68,82	"	32,09	5,55	0,99	51,6	18,32	949,06
0	"	9,0	"	0	1	139,10	0	89,42	"	41,7	5,52	0,99	51,0	23,65	1206,03
1	"	10,6	"	0,1	0,99	163,83	16,38	104,21	"	48,6	5,55	0,99	49,4	27,85	1375,87
2	"	11,0	"	0,2	0,98	170,01	34,0	104,71	"	48,78	5,63	1,03	49,0	28,90	1416,23
3	"	10,2	"	0,3	0,95	157,65	47,29	91,36	"	42,61	5,78	1,04	47,6	26,8	1275,72
4	"	10,6	"	0,4	0,92	163,83	65,53	86,33	"	40,25	6,02	1,08	45,6	27,85	1270,03
5	"	10,0	"	0,5	0,87	154,56	77,28	70,11	"	32,70	6,35	1,15	43,2	26,27	1137,08
6	"	4,4	"	0,6	0,80	68,0	40,8	24,04	"	11,21	6,90	1,24	40,4	11,56	467,08
7	"	6,0	"	0,7	0,71	92,74	64,91	19,85	"	9,26	7,73	1,40	37,0	15,76	583,31
8	3,4	2,8	"	0,8	0,60	26,66	21,32	-0,12	"	0,59	5,66	1,02	33,8	4,53	175,83

$\Sigma 335,78$

$\Sigma 334,26$

$\Sigma 12,81$

$$K_s = \frac{334,26 + 12,81}{335,78} = 1,033$$

VIDANGE RAPIDE $R = 56,8 \text{ m}$

$N \equiv \text{Des}$ tranche	b	h''	$\sqrt{2}$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	G_m	$G_m \sin \alpha$	$N - PL_n$	$\log e$	$(N - PL_n) \log e$	L_n	$C_i L_n$	d_n	T_{en}	$T_{en} \cdot d_n$
-3	3,0	1,2	2,08	-0,3	0,95	10,44	-3,13	6,15	0,47	2,88	3,14	0,57	54,4	1,77	96,55
-2	5,68	3,4	"	-0,2	0,98	56,0	-11,2	35,17	"	16,39	5,78	1,04	54,2	9,56	516,03
-1	"	6,2	"	-0,1	0,99	102,12	-10,21	65,70	"	30,88	5,70	1,03	53,2	17,36	934,05
0	"	8,2	"	0	1	136,72	0	89,58	"	41,77	5,68	1,02	53,0	23,24	1231,82
1	"	10,0	"	0,1	0,99	164,7	16,47	105,96	"	49,80	5,70	1,03	52,0	28,0	1456,12
2	"	10,2	"	0,2	0,98	168,01	33,62	105,52	"	49,20	5,78	1,04	51,0	28,56	1456,68
3	"	9,4	"	0,3	0,95	154,84	46,95	91,12	"	42,78	5,95	1,07	50,0	28,32	1316,11
4	"	9,8	"	0,4	0,92	161,43	64,57	87,78	"	40,67	6,20	1,12	49,2	27,44	1311,74
5	"	9,2	"	0,5	0,87	151,54	75,77	71,49	"	33,06	6,56	1,18	47,8	25,76	1169,60
6	"	8,0	"	0,6	0,80	131,78	79,06	48,62	"	22,67	7,10	1,28	42,4	22,4	956,56
7	"	5,4	"	0,7	0,71	88,95	62,26	20,20	"	9,59	7,95	1,43	39,0	15,12	589,73
8	3,0	2,4	"	0,8	0,60	20,88	16,70	0,52	"	0,25	5,0	0,90	35,0	3,55	124,24

$\Sigma 370,86$

$\Sigma 359,79$

$\Sigma 12,71$

$$K_s = \frac{359,79 + 12,71}{370,86} = 1,004$$

1. Dérivation provisoire :

Pour la construction d'un barrage, il est nécessaire de dériver le cours de l'oued, afin de pouvoir édifier l'ouvrage à l'abri de l'eau.

Il faut donc capter dans la zone amont tous les débits pouvant passer dans le cours d'eau pendant la période de construction du massif.

Un batardeau amont est nécessaire pour barrer la rivière et entonner les eaux dans la galerie.

Le tracé a été choisi en tenant compte de la topographie et de la géologie du site.

Nous envisageons pour notre acas une galerie de profil circulaire de 177,5 m.

1.2. Détermination de la hauteur du batardeau :

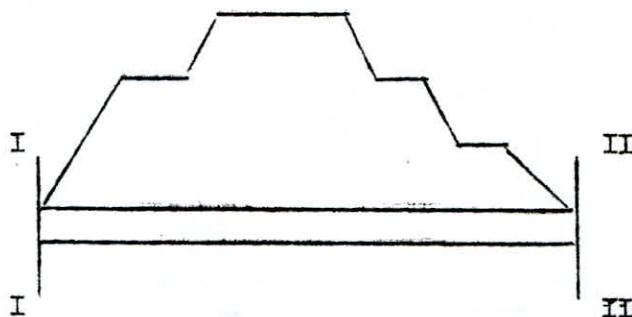
Un diamètre de $\varnothing 3\text{ m}$ a été choisi pour dériver un débit décenal $Q = 70\text{ m}^3/\text{s}$.

Un simple calcul nous permet de déterminer la hauteur du batardeau.

Hypothèse de calcul :

- écoulement en charge dans la galerie;
- dans la hauteur du batardeau est exclue la revanche;
- écoulement permanent.

En application de l'équation de Bernoulli entre les sections I et II, nous



$$H_1 + JL - H_2 = \frac{V^2}{2g} \left(\sum y_i + f \frac{L}{D} \right) \Rightarrow (1)$$

H_b : hauteur du batardeau revanche exclue

L : longueur de la galerie suivant le tracé choisi

D : diamètre de la conduite : $D = 3,0 \text{ m}$

$\sum y_i$: somme des pertes de charge : y entrée = 0,5; y sortie = 1

J : pente du terrain le long du tracé : $J = 0,03$

H_2 : hauteur d'eau au bref aval : $H_2 = 2 \text{ m}$

f : coefficient de frottement correspondant au régime turbulent rugueux donné par la formule de NIKURADZE :

$$f_r = (1,14 - 0,86 \ln \frac{\epsilon}{D_h})^{-2}$$

où : ϵ : rugosité absolue de la paroi : $\epsilon = 10^{-3}$

D_h : diamètre hydraulique : $D_h = D = 3,0 \text{ m}$

de (1), on peut déduire :

$$H_b = H_2 - JL + \frac{v^2}{2g} (f \cdot \frac{L}{D} + \sum y_i)$$

avec : $v = \frac{Q}{A}$

$$\Rightarrow H_b = H_2 - JL + \frac{Q^2}{A^2 \cdot 2g} (f \cdot \frac{L}{D} + \sum y_i)$$

* Application numérique :

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

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

$$\epsilon = 10^{-3} \text{ m}$$

$$f_r = 0,015$$

$$L = 177,5 \text{ m}$$

$$H_b = 8,71 \text{ m}$$

Vérification du régime :

$$\frac{\epsilon}{D_h} = \frac{10^{-3}}{3} = 0,00033$$

$$R = \frac{Q}{A} \cdot \frac{D}{4}$$

où : ν : viscosité cinématique : $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$R = \frac{70,3}{7,064 \cdot 10^{-6}} = 29,72 \cdot 10^6$$

$$R = 29,72 \cdot 10^6$$

$$\frac{C}{Dh} = 0,00033$$

diagramme de MOODY \longrightarrow Régime turbulent rugueux.

aucune correction n'est à faire.

Donc la hauteur du batardeau sera égale à 8,71 + revanche de 1,0 m

$$H_b = 10 \text{ m}$$

Remarques :

A la fin de la construction et pour des raisons économiques, le batardeau sera incorporé dans le corps de la digue avec les mêmes matériaux et la galerie de dérivation provisoire servira pour transiter les eaux de vidanges et de passage pour la conduite de prise d'eau.

2. Evacuateur de crue :

2.1. But :

Pour éviter la submersion du barrage, vu les matériaux constitutifs, il est nécessaire d'instaurer un évacuateur de crue. Afin d'aboutir à sa réalisation, la connaissance de la topographie et la géologie est nécessaire.

2.2. Choix du type d'évacuateur de crue :

Suivant les données hydrologiques et les conditions topographiques de notre région, nous avons opté pour un déversoir latéral de surface à seuil libre pour évacuer la crue du projet. Ce déversoir sera à profil pratique type CREAGER, celui-ci est le meilleur qui puisse s'adapter à la lame déversante.

2.3. Emplacement de l'évacuateur :

L'emplacement de l'évacuateur obéit à des conditions géologiques, topographiques et économiques. Avec un emplacement sur la rive droite du site, le tracé sera plus court, économique, de plus cette rive offre une bonne assise.

2.4. Profil type du déversoir :

Le déversoir envisagé est à profil pratique type "CREAGER". On l'obtient à partir du profil correspondant à la charge unitaire ($H = 1,0$ m). En tenant compte du coursier correspondant à $H = 1$ m, on déduit le profil correspondant à une charge H , nous allons appliquer la loi de similitude de "RECH-FROUDE" les forces d'inerties et de pesanteur sont prépondérantes devant les forces de viscosité.

Le rapport des dimensions linéaires étant constant, on peut écrire :

$$= \frac{H_1}{H} = \frac{X_1}{H} \quad \Rightarrow \quad X_1 \cdot H = H_1 \cdot X$$

avec : $H = 1$ m $\Rightarrow X_1 = H_1 \cdot X$

$$= \frac{H_1}{H} = \frac{Y_1}{Y} \quad \Rightarrow \quad Y_1 \cdot H = H_1 \cdot Y$$

avec : $H = 1$ m $\Rightarrow Y_1 = H_1 \cdot Y$

En se servant des coordonnées X et Y correspondant à la charge $H = 1$ m, on détermine les coordonnées de la charge $H_1 = 2,32$ m à partir de ces coordonnées, on peut tracer le profil point par point.

Les résultats : (voir tableau).

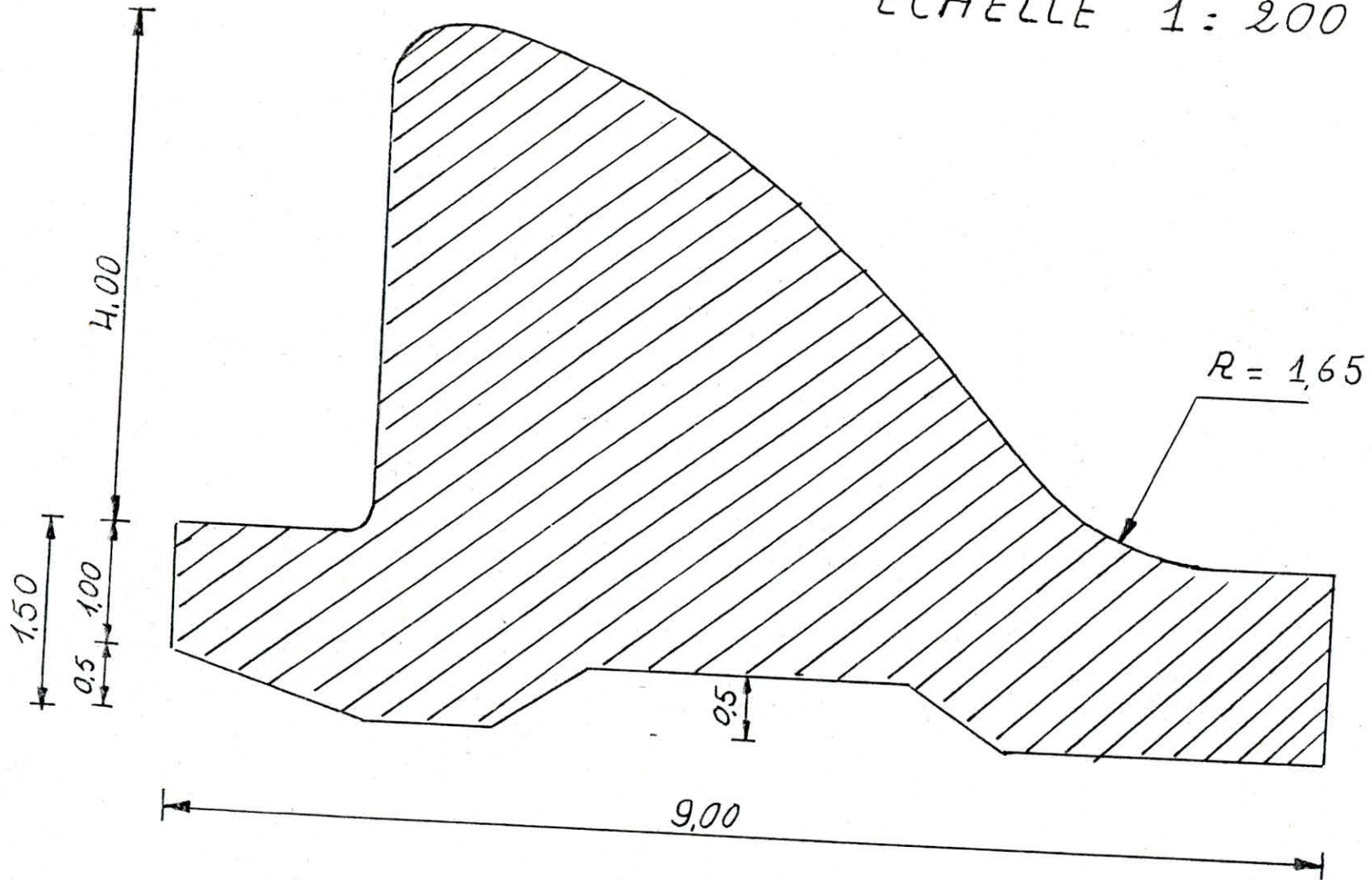
2.5. Stabilité de l'évacuateur de crues :

Pendant son exploitation, l'ouvrage est soumis à divers sollicitations qui sont variables dans le temps. Nous devons prévoir son comportement dans plusieurs cas de charge.

PROFIL $H = 1\text{ m}$		PROFIL $H = 2,32\text{ m}$	
X	Y	X_1	Y_1
0,0	0,126	0,0	0,292
0,1	0,036	0,232	0,083
0,2	0,007	0,464	0,016
0,3	0,00	0,696	0,000
0,4	0,006	0,928	0,005
0,5	0,027	1,160	0,062
0,6	0,060	1,392	0,139
0,7	0,100	1,624	0,232
0,8	0,146	1,856	0,338
0,9	0,198	2,088	0,459
1,0	0,256	2,32	0,593
1,1	0,321	2,55	0,744
1,2	0,394	2,78	0,914
1,3	0,475	3,01	1,102
1,4	0,564	3,24	1,308
1,5	0,661	3,48	1,533
1,6	0,764	3,71	1,772
1,7	0,873	3,94	2,025
1,8	0,987	4,17	2,289
1,9	1,108	4,40	2,570
2,0	1,235	4,64	2,865
2,1	1,369	4,87	3,176

PROFIL EVACUATEUR DE CRUES

ECHELLE 1:200



Dans notre présente étude, nous vérifions la stabilité contre :

- le glissement;
- le renversement;
- le soulèvement.

a.- Stabilité contre le glissement :

$$kg = \frac{\sum \text{forces stabilisatrices}}{\sum \text{forces d'entraînement}}$$

$$kg = \frac{f (G - W_{\phi})}{P}$$

où : f : coefficient de frottement : f = 0,65 + 0,75

G : poids de l'ouvrage

W_{ϕ} : pression de l'eau d'infiltration

$$G = \frac{1}{2} \gamma_b \cdot h \cdot b$$

où : γ_b : poids spécifique du béton = 2,4 t/m³

h : hauteur au niveau du seuil : h = 4 m

b : base de l'ouvrage : b = 9 m

$$G = 43,32 \text{ T/ml}$$

$$W_{\phi} = \frac{1}{2} \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot h \cdot b$$

où : α : coefficient = (0,5 + 1,0)

γ : poids spécifique de l'eau sur le parement amont

$$W_{\phi} = 18 \text{ t/ml}$$

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

où : P : poussée de l'eau sur le parement amont P = 8 t/ml

$$kg = 2,047$$

b.- Stabilité contre le renversement :

$$K_r = \frac{\sum \text{moments retenant/C}}{\sum \text{moments renversant/C}}$$

$$K_r = \frac{2/3 \cdot b (G - W_{\phi})}{1/3 \cdot P \cdot h}$$

$$1,3 \leq K_r \leq 1,5$$

c.- Stabilité contre le soulèvement :

$$K_s = \frac{\sum \text{forces empêchant le soulèvement}}{\sum \text{forces provoquant le soulèvement}}$$

$$K_s = \frac{G + P_1}{W_{\phi}}$$

où : P_1 : poids de l'eau sur la console à la base du déversoir

$$P_1 = \gamma_{\text{eau}} \cdot b_1 \cdot h = 6$$

où : b_1 : largeur de la console de la base

$$b_1 = 1,5 \text{ m}$$

$$K_s = 2,73.$$

Conclusion :

Suivant les résultats obtenus, on voit que la stabilité est largement vérifiée.

2.6. Caractéristique de l'évacuateur de crues :

L'évacuateur de crue se caractérise par un déversoir type "CREAGER" un canal d'aménée trapézoïdal, canal d'évacuation en béton et d'un bassin de dissipation.

a.- Calcul hydraulique :

* hauteur critique au dessus du seuil du déversoir :

$$K = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \text{ (m)}$$

où : q : débit unitaire (m²/s)

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

Q : débit de pointe à évacuer (m³/s) \Rightarrow Q = 182 m³/s pour
H_d = 2,32 m

b : largeur du déversoir : b = 24 m

g : accélération de la pesanteur : g = 9,8 m²/s

$$q = 7,58 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$K = 1,803$$

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

$$H = h + H_d = 4 + 2,32 = 6,32$$

$$H + = \frac{6,32}{1,803} = 3,50 \quad \left(\frac{18 \text{ a}}{\quad} \right) \quad h_t + = 0,40$$

$$\Rightarrow h_t = h_t + \cdot K = 0,40 \cdot 1,80 = 0,72 \text{ m}$$

$$h_t = 0,72 \text{ m}$$

2.7. Canal d'évacuation :

Le débit évacué par le déversoir sera canalisé à l'oued par un canal de section trapézoïdal. Ce dernier sera convergent pour atteindre la largeur de 10 m.

L'écoulement dans le canal est un écoulement graduellement non uniforme dont l'équation caractéristique est l'équation différentielle suivante :

$$dl = \frac{1 - Q^2 \cdot e / g \cdot h^3}{J_u - J} dh$$

$$L_{1-2} = \int_{h_1}^{h_2} \frac{1 - Q^2 \cdot e / g \cdot h^3}{J_u - J} dh$$

La détermination de la courbe de Remous se fait par l'intégration de l'équation différentielle où :

- dl : distance entre deux sections consécutives (m)
- Q : débit véhiculé (m³/s)
- e : largeur du plan d'eau
- g : accélération de la pesanteur
- s : section mouillée (m²)
- J_u : pente géométrique du canal
- J : gradient de perte de charge
- dh : différence des profondeurs d'eau des 2 sections
- L₁₋₂ : longueur développée entre 2 sections (1) et (2)./

Les résultats sont obtenus par un programme sur TI 59 établi par Monsieur G. LAPRAY ex.- professeur à l'E.N.P.A.

3. VIDANGE DE FOND :

À l'exception des petites retenues construites de façon sommaire, la plupart des barrages doivent être munis d'un ouvrage de vidange placé en fond de retenue et ayant une capacité d'évacuation plus importante que celle d'un simple ouvrage de prise.

Les rôles de cet organe sont les suivants :

- laisser passer le débit courant de la rivière ou une petite crue éventuelle, pendant la construction du barrage;
- vider la retenue pour la surveillance, l'entretien et les réparations du barrage et de ses ouvrages annexes;

L_i	b_i	h_i	K_i	h_u
REMOUS DESCENDANT TYPE P_2 T. R TORRENTIEL SUPNORMAL				
2.290	23.93	0.71	1.807	0.508
4.790	23.79	0.70	1.814	0.5100
7.546	23.63	0.69	1.820	0.5122
7.576	23.55	0.6899	1.826	0.5133
7.600	23.557	0.6898	1.826	0.5133
7.634	23.555	0.6897	1.826	0.5134
7.660	23.553	0.6896	1.826	0.51343
7.692	23.552	0.6895	1.8264	0.51345
7.720	23.550	0.6894	1.826	0.5134
7.750	23.548	0.6893	1.8266	0.5135
7.779	23.540	0.6892	1.826	0.51353
7.78	23.546	0.6891	1.8267	0.5135

REMOUS ASCENDANT TYPE P_3 T. R TORRENTIEL SUPNORMAL

8.22	23.51	0.6907	1.828	0.5138
8.45	23.042	0.6915	1.8533	0.5207
8.73	23.00	0.6924	1.854	0.5210
9.006	23.00	0.6933	1.8549	0.5212
10.18	22.96	0.6972	1.857	0.5218
11.07	22.91	0.7002	1.860	0.5220
13.10	22.81	0.7072	1.866	0.5243
15.88	22.64	0.7172	1.874	0.5266
18.009	22.52	0.7252	1.881	0.528
26.83	22.19	0.7622	1.9002	0.533
98	21.94	0.782	1.914	0.537

33,34	21,65	0.7942	1.931	0.542
42,25	21,26	0.7982	1.954	0.548
43,75	21,17	0.7982	1.96	0.549
55,01	20,51	0.801	2.00	0.561
56,01	20,44	0.8011	2.006	0.562
64,31	17,73	0.8012	2.206	0.618
74,93	17,30	0.8014	2.24	0.628
81,76	17,03	0.8015	2.267	0.634
90,31	16,69	0.8016	2.29	0.634
102,09	16,25	0.8017	2.33	0.654
124,75	15,50	0.8018	2.41	0.675
152,27	15,61	0.8019	2.42	0.673
61,27	13,62	0.802	2.63	0.730
65,45	13,33	0.8022	2.69	0.755
72,11	13,02	0.8023	2.71	0.761
74,94	12,89	0.8024	2.72	0.766
77,55	12,77	0.8025	2.74	0.771
182,29	12,56	0.8027	2.77	0.780
186,57	12,88	0.8030	2.819	0.792
190,50	12,19	0.8031	2.830	0.796
94,17	12,03	0.8032	2.858	0.804
195,92	11,95	0.8033	2.870	0.8076
197,63	11,88	0.8034	2.890	0.814
00,91	11,74	0.8036	2.906	0.818
02,50	11,66	0.8037	2.917	0.821
04,04	10,05	0.8038	2.920	0.825

- permettre la réparation de la conduite de prise d'eau en cas de défaillance.

Un dispositif de vidange est absolument indispensable pour tout barrage de retenue qui représente un investissement notable. La conduite de vidange est généralement disposée sous le barrage. Exceptionnellement pour de gros ouvrages, il peut être intéressant de prévoir une galerie latérale.

Pour des raisons topographiques et économique, la galerie de dérivation provisoire fonctionnera comme vidange de fond lors de la mise en exploitation de l'ouvrage.

4. PRISE D'EAU :

4.1. But :

Le but de l'ouvrage de prise est le prélèvement d'un débit destiné pour l'industrie, l'AEP ou l'irrigation.

4.2. Différents types de prise d'eau :

L'ouvrage de prise est généralement groupé avec l'ouvrage de vidange, sauf lorsque la prise se fait par pompage ou par siphonage par dessous le barrage.

La prise d'eau proprement dite peut être fixée au fond de la retenue. Elle peut consister en un simple piquage en dérivation à l'extrémité aval de la conduite de vidange.

Dans certains cas, il peut être intéressant de prélever l'eau soit en surface de la retenue, soit en différents niveaux de celle-ci, en fonction de la température de l'eau, notamment on y parvient au moyen d'une prise flottante ou d'une tour de prise.

4.3. Calcul hydraulique :

D'après la répartition mensuelle, des apports, on voit que pendant quatre mois, l'apport est nul par conséquent pendant cette période, la demande se fera plus sentir, la valeur retenue pour le volume de prise est de 25 % du volume utile du réservoir par mois :

$$V_u = V_{NNR} - V_m$$

où : V_{NNR} : volume correspondant au niveau normal

V_m : volume mort

$$V_u = 6,45 \cdot 10^6 - 0,34 \cdot 10^6 = 6,11 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$Q_p = \frac{V_p}{T}$$

où : Q_p : débit de prise

T : période de 01 mois

V_p : volume de prise

$$Q_p = \frac{6,11 \cdot 10^6 \cdot 0,25}{31 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_p = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous proposons une conduite en acier de $\varnothing = 700 \text{ mm}$; calcul de la vitesse dans la conduite :

$$V = \frac{Q_p}{S} = \frac{Q_p}{\pi D^2} = \frac{0,57}{\pi \cdot (0,7)^2}$$

$$V = 1,48 \text{ m/s} \quad \underline{\text{admissible}}$$

4.4. Dispositif de la prise d'eau :

Pour notre projet, l'ouvrage de prise sera constitué par une tour munie de deux (02) fenêtres, l'une disposée à un niveau de 208,03 m, l'autre à un niveau de 194,5 m.

La prise d'eau s'effectue par une conduite en acier de diamètre 700 mm logée dans la galerie suspendue à sa partie supérieure.

Protection de la conduite de prise :

La conduite sera en acier mais une protection s'avère indispensable du fait de sa fragilité à la corrosion, elle se fera par application de couches de peinture à l'extérieur de la conduite.

Dissipateur d'énergie :

En raison de la topographie de l'endroit, il est indispensable de faire une dissipation d'énergie. Nous prévoyons un saut de ski comme dissipateur d'énergie.

Le rayon de courbure des déflecteurs est en fonction de la pression exercée sur le radier. En pratique $R \geq 5 h.$, où :

R : rayon en mètres

h : hauteur d'eau au niveau du saut de ski (m)

$$h = 0,82 \Rightarrow R = 5 \cdot 0,82 = 4,5 \text{ m}$$

$$R = 4,5 \text{ m.}$$

Tracé du jet :

D'après le schéma, nous avons :

$$X = (v \cos \alpha) t \quad (1)$$

$$Y = (v \sin \alpha) t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (2)$$

de (1), on tire : $t = \frac{X}{v \cos \alpha}$

d'où : $Y = (v \sin \alpha) \cdot \frac{X}{v \cos \alpha} - \frac{1}{2} g \left(\frac{X}{v \cos \alpha} \right)^2$

$$Y = X \operatorname{tg} \alpha - \frac{X^2}{4 h_c \cos^2 \alpha}$$

avec : $h_c = \frac{V^2}{2g}$

La portée est déterminée à partir de la relation suivante :

$$X = 1,8 \left(h + \frac{V^2}{2g} \right) \sin^2 \alpha$$

où V : vitesse au départ du saut (m/s)

$$V = \frac{Q_{\text{évac}}}{A} = \frac{Q_{\text{évac}}}{h \cdot b} = \frac{182}{10 \cdot 0,82} = 22,2 \text{ m/s}$$

où : α : angle correspondant à la portée égale à 30°

$$X = 1,8 \left(0,82 + \frac{(22,2)^2}{19,6} \right) \sin^2 60^\circ = 40,5 \text{ m}$$

$$X = 40,5 \text{ m.}$$

Calcul économique :

Généralement les prix unitaires varient en fonction de l'emplacement du chantier et ceci en raison du coût du transport.

Le tableau qui suit nous donne les coûts approximatifs de l'ouvrage.

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Décapage de la terre végétale				
- du site de la digue	m ²	318,00	15	477.000
- de la zone d'emprunt	m ²	1.866.70	15	28 000 50
Corps de la digue	m ³	219.206.00	95	208.245.70
Tapis drainant	m ³	502050	170	85 42 500
Revetement en enrochement	m ³	12.093	100	1209300
Déversoir + canal d'évacuation				1.387.580
Prise d'eau avec équipement				4300.000
			∑	39,54.10 ⁶ DA

CONCLUSION :

Une fois que notre étude est terminée, nous nous sommes assurés que **la stabilité est** vérifiée et en tenant compte de toutes les conditions telles que hydrologiques, topographiques, techniques ..., la réalisation de la retenue collinaire sur Oued El-Hadjar est possible du point de vue économique, du moment que les matériaux de construction sont directement extraits de la cuvette. Toute fois notre étude n'est pas définitive et nécessite une analyse plus approfondie des facteurs nécessaires à l'étude d'un projet pareil.

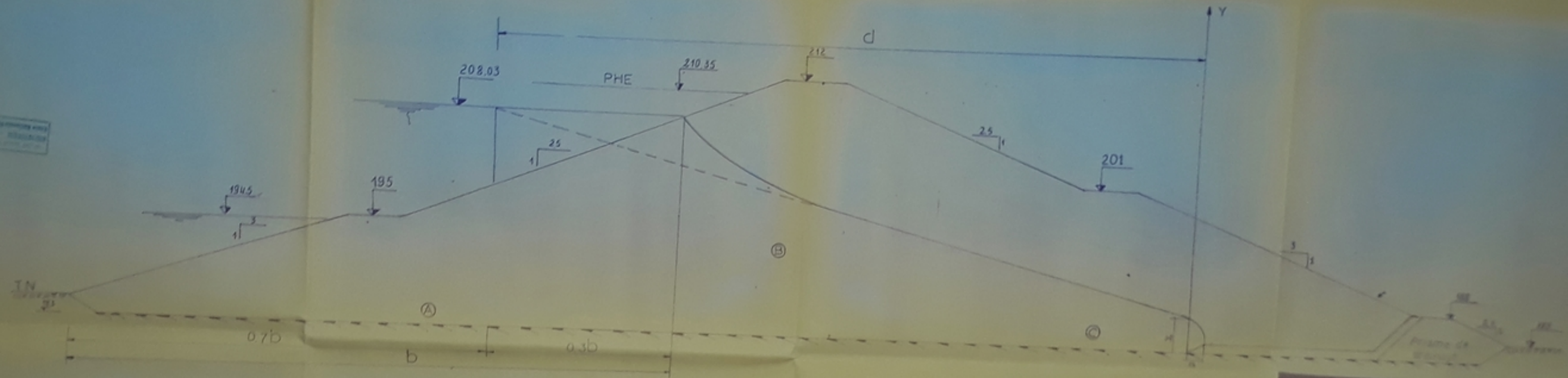
NOMONCLATURE DES PLANCHES

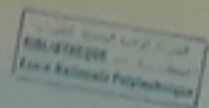
- Planche n° 1 : Tracé de la ligne de saturation.
- Planche n° 2 : Etude de la stabilité.
- Planche n° 3 : Profil type de la digue.
- Planche n° 4 : Coupes géologiques suivant l'axe de la digue.
- Planche n° 5 : Coupes transversales.
- Planche n° 6 : Vue en plan de la digue.
- Planche n° 7 : Galerie de vidange et de prise.
- Planche n° 8 : Profil longitudinal de l'évacuateur de crues.

BIBLIOGRAPHIE

- REMENIERAS G. Eléments d'hydrologie de l'ingénieur.
- SCHNEEBELI G. Hydraulique souterraine.
- Technique des barrages et aménagement rural.
- LAPRAY G. Théorie de la longueur fluïdo-dynamique.
- CARLIER M. Hydraulique générale et appliquée.
- ROCHE M. Hydrologie de surface.
- E.N.P.A. Thèse de fin d'étude.
- BELEKONEV B. Barrages en matériaux locaux.
- CH. MAILLET et J. PAQUANT Les barrages en terres.
- F. VARLET Usines de retenue.
- R. GINOCCHIO Aménagements hydro-électriques.

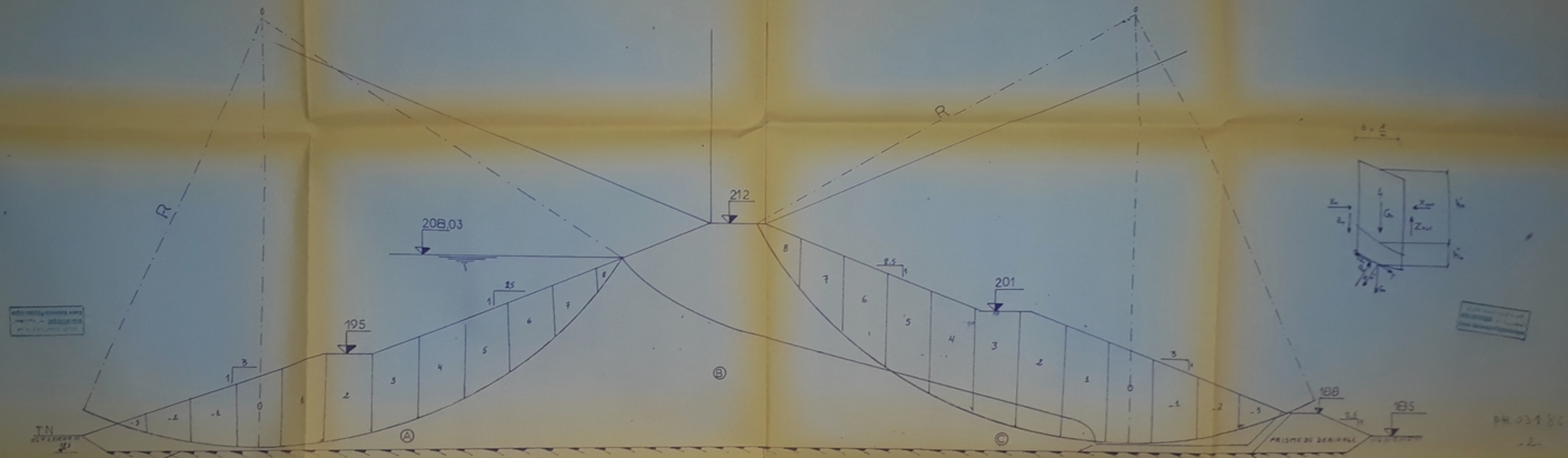
TRACÉ DE LA LIGNE DE SATURATION




 { A
B
C } ARGIL

TITRE DE L'ETUDE	RETENUE (COLLINAIRE) SUR (DIEI) EL HADJOUR
titre du dessin	TRACE DE LA LIGNE DE SATURATION
dressé par	DJEMIL LACHENEUB B
contrôlé par	M ^r MOULOUDI Y
promoteur	M ^r MOULOUDI Y

ETUDE DE LA STABILITE



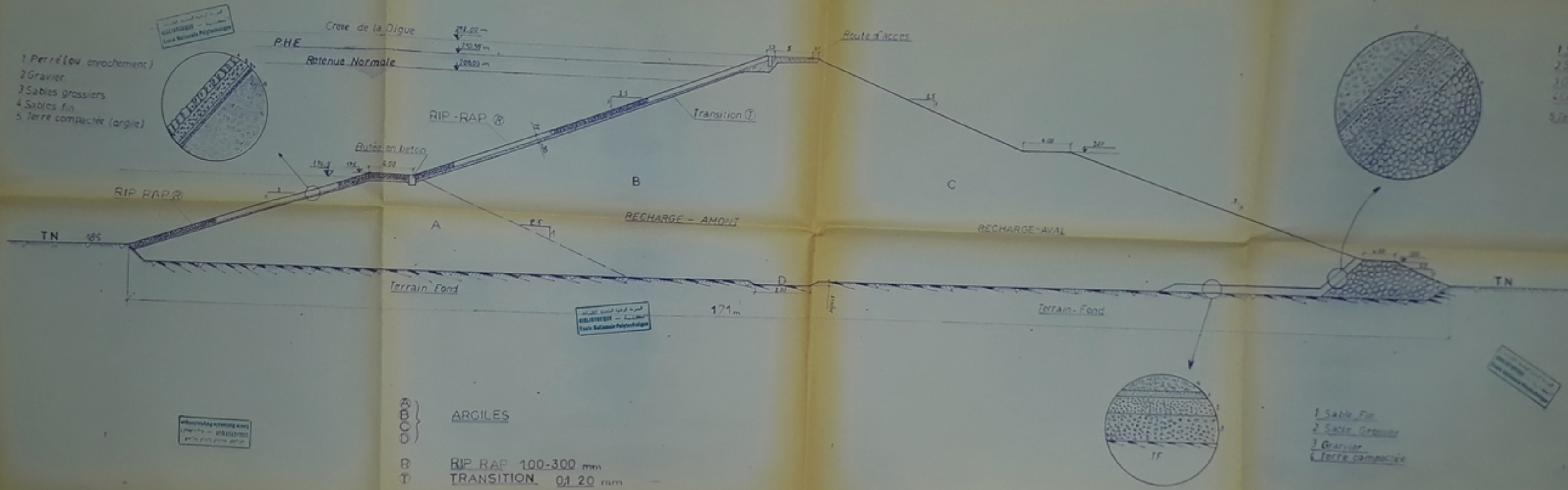
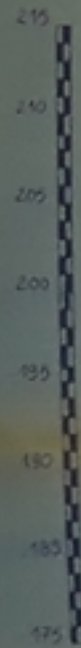
(A) ARGILE

H₀ = 29 m

5H₀ = 145 m

TITRE DE L'ETUDE	RETENUE (COLLIMIER) S'UR (DIE) EL HADJER
titre du dessin	ETUDE DE LA STABILITE
dressé par	DJEMLI L LACHEHEUB B
contrôlé par	MI MOULOUDI Y
promoteur	MI MOULOUDI Y

PROFIL TYPE DE LA DIGUE



- 1 Perré (ou enrochement)
- 2 Gravier
- 3 Sables grossiers
- 4 Sables fin
- 5 Terre compactée (argile)

- 1 Sable fin
- 2 Sable Grossier
- 3 Gravier
- 4 Enrochement
- 5 Terre compactée (argile)

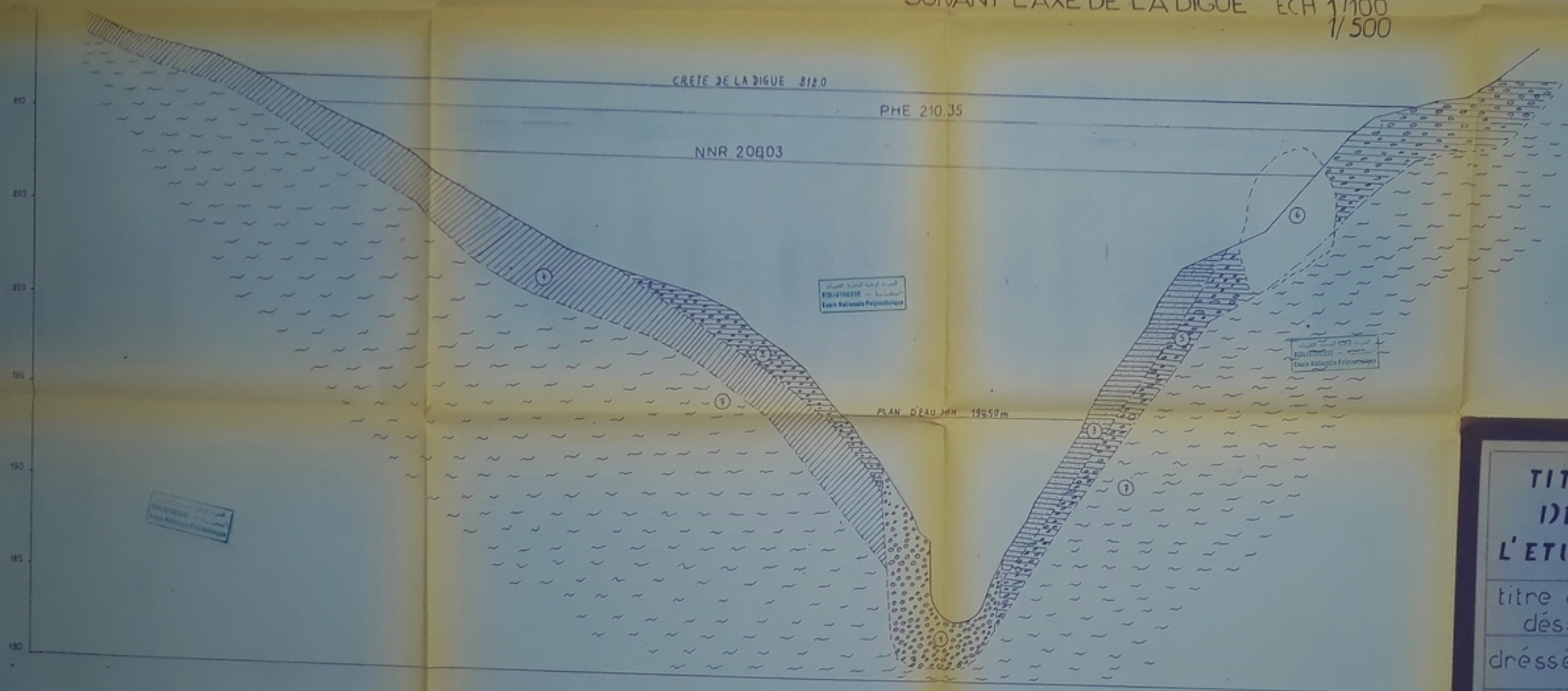
- 1 Sable Fin
- 2 Sable Grossier
- 3 Gravier
- 4 Terre compactée

- ARGILES
- B RIP RAP 100-300 mm
- T TRANSITION 0/1 20 mm

PH 03136
-3-

TITRE DE L'ETUDE	RETENUE COLLIMIERE SUIR (UEI) EL HAOUJUR		
titre du dessin	PROFIL TYPE DE LA DIGUE		
dressé par	DJEMIL LACHMEUR B	date	jun 116
contrôlé par	M MOULOUDI Y	échelle	1/200
promoteur	M MOULOUDI Y	planche	N° 3

COUPE GEOLOGIQUE
SUIVANT L'AXE DE LA DIGUE ECH 1/100
1/500



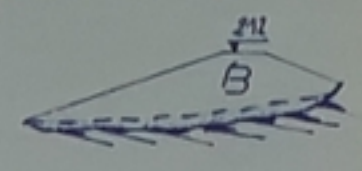
• LEGENDE •

- 1 GRES EN GRANDS BLOCS
- 2 ARGILE AVEC GALETS
- 3 ARGILE SABLEUSE
- 4 ARGILE BRUNE
- 5 ARGILE AVEC GRÉS
- 6 GRES EN GRANDS BLOCS
- 7 PIARNE

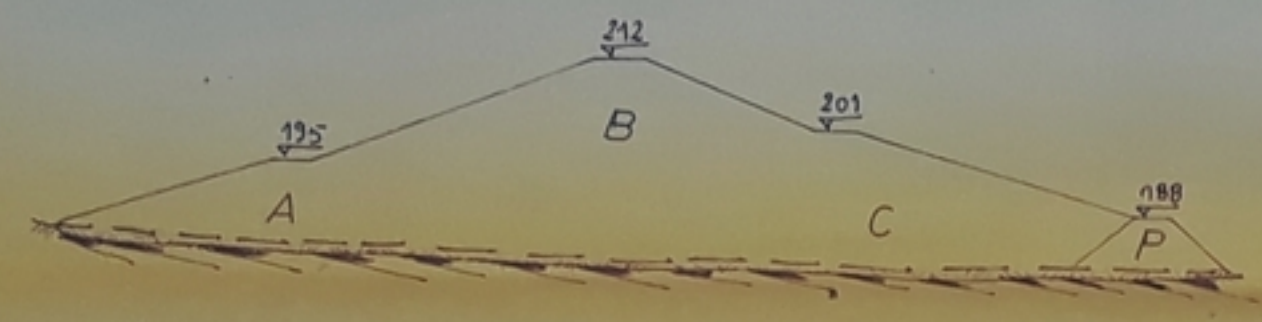
PM03186

TITRE DE L'ETUDE	RETENUE (COLLINAIRE) SUR (DIE) EL HADJAJR	date
titre du dessin	COUPE GEOLOGIQUE SUIVANT L'AXE DE LA DIGUE	juin 06
dressé par	DJEMILI L LACHEHEUB IB	échelle
contrôlé par	M: MOULOUDI Y	1/200
promoteur	M: MOULOUDI Y	planche

'(COLI)PES' TIRANS'VEIRS'ILES'



المكتبة الوطنية للتقنيات
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique



A } ARGILE
B }
C }
P) PRISME

المكتبة الوطنية للتقنيات
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

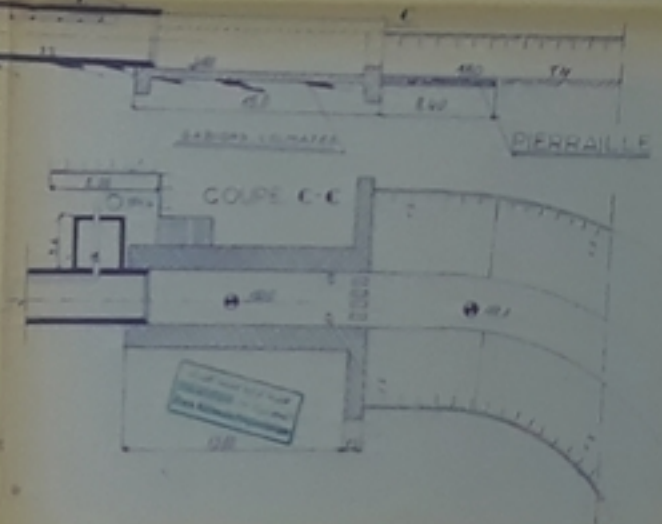
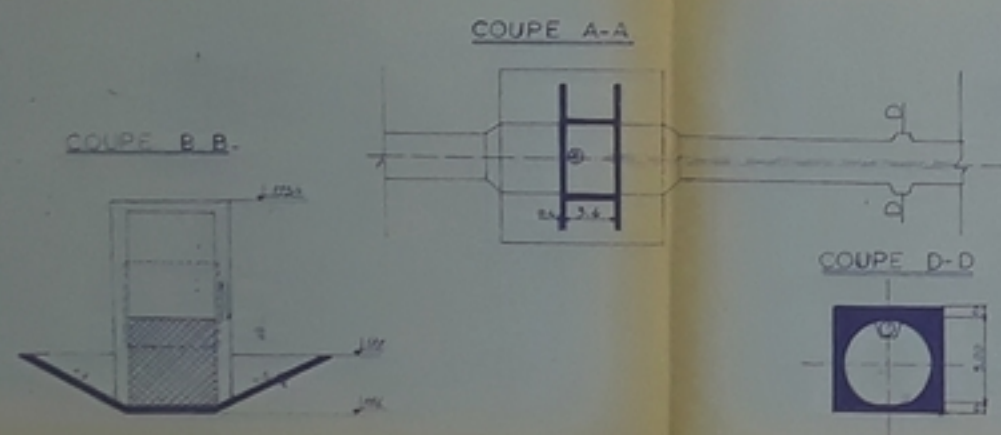
TITRE DE L'ETUDE	RETENUE COLLINAIRE SUR (MIE) EL HANJAJR		
	titre du dessin COUPES TRANSVERSALES		
dréssé par	DJEMILI L. LACHEHEUB. B		date juin 86
controlé par	M ^e MOULOUDI Y		échelle 1/1000
promoteur	M ^e MOULOUDI Y		planche N° 5



TITRE DE L'ETUDE		RETENUE (COLLINEIRE) SUR (OUEI) EL HADJAR	
titre du dessin		VUE EN PLAN DU BARRAGE	
dressé par	DJEMIL L. LACHEHEUB I.B.	date	jun 16
contrôle par	MEMMOUCDI Y.	échelle	1/200
promoteur	MEMMOUCDI Y.	plancha	1/1

GALERIE DE VIDANGE ET TOUR DE PRISE

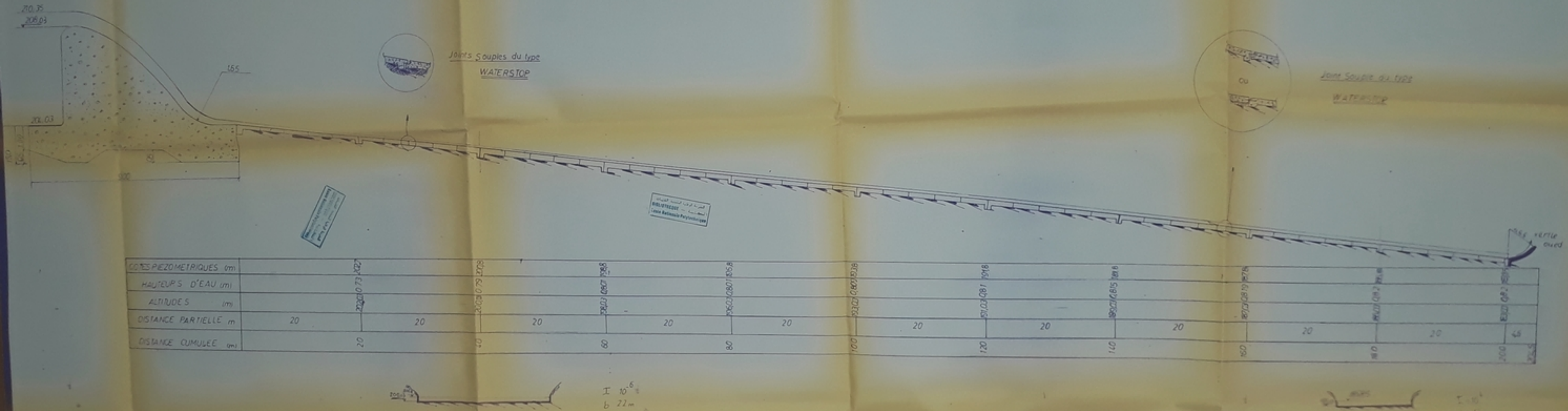
pl 03170
7.



A) Argile
B) Argile
C) Argile

TITRE DE L'ETUDE	RETENUE (COLLIMATRE) SUR (DIE) EL HADJAJR		
titre du dessin	GALERIE DE VIDANGE ET TOUR DE PRISE		
dressé par	DJEMILI L. LACHEMEUB I.B.	scale	date jun 1965
contrôlé par	M. MOULOUDI Y.	scale	échelle 1/200
promoteur	M. MOULOUDI Y.	scale	plancha N° 7

PROFIL LONGITUDINAL DE L'EVACUATEUR DE CRUES



TITRE DE L'ETUDE	RETENUE COLLINAIRE SUIR (DIE) EL HADJAJR
titre du dessin	PROFIL LONGITUDINAL DE L'EVACUATEUR DE CRUES
dressé par	DJEMILI L. LACHEMEUB B. date: juin 13
contrôlé par	M. MOULOUDI Y. échelle: 1/200
promoteur	M. MOULOUDI Y. planche: N° B

