

REPUBLIQUE ALGRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud MAMMERY Tizi Ouzou
Faculté du génie de la construction
Département de génie civil

Mémoire de fin d'étude

En vue d'obtention du diplôme Master en génie civil.
Option : constructions Hydrauliques et Aménagements.

THEME

**ETUDE ET CONCEPTION D'UNE VARIANTE DE
BARRAGE SUR L'OUED BOUGDOURA PRES DE SOUK
TLETA**

Dirigé par Mr S.GABI

Réalisé par : Mr CHITTI BOUDJEMAA

Mr DEMDOUM HAKIM

Année 2012-2013



Remerciements

Nous remercions avant tout ALLAH, le tout puissant de nous avoir donné la force nécessaire pour mener ce projet à terme.

Nous tenons à témoigner notre profonde gratitude et nos remerciements les plus sincères à notre promoteur Mr GABI de nous avoir encadré, suivi et soutenu tout au long de ce travail.

Nous remercions nos familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous terminions nos études.

Nos remerciements les plus vifs vont également aux membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Nous adressons de chaleureux remerciements à tous les enseignants et les travailleurs du département de Génie-Civil.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leur encouragement.



Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Etude du milieu

Introduction	1
I.1 Étude topographique	1
I.1.1 Situation géographique du site	1
I.1.2 Topographie	3
I.2 L'étude Géologique	3
I.2.1 Géologie régionale.....	3
I.2.2 Géologie de la cuvette	5
I.2.3 Etanchéité de la cuvette.....	6
I.2.4 Stabilité des versants.....	6
I.2.5 Géologie du site	6
I.2.6 Perméabilité.....	10
I.2.7 Tectonique	11
I.2.8 Sismicité	12
I.3 Etude géotechnique	12
I.3.1 Travaux de reconnaissances	12
I.3.2 Reconnaissance géotechnique	13
I.3.2.1 Description des essais.....	13
I.3.2.2. Interprétation des essais in situ	17
I.3.2.3 Résultats des essais au laboratoire	18
I.3.2.3.1 Roches de fondation.....	18
I.3.2.2.2. Matériaux de construction	21
Conclusion	26

Chapitre II : Etude hydrologique

Introduction.....	27
II.1 Le bassin versant	27
II.1.1 Caractéristiques physico-géographiques du bassin versant.....	27
II.1.2 Caractéristiques physiques du bassin versant	28
II.1.2.1 Les caractéristiques géométriques	28
II.1.2.2 Caractéristiques morphologiques.....	29
II.1.3 Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius	30
II.2 Paramètre du relief.....	31
II.2.1 La courbe hypsométrique.....	31
II.2.2 Altitude moyenne du bassin versant.....	34
II.2.3 Altitude médiane.....	34
II.3 Indice de pente global.....	34
II.4 Indice de pente moyenne	35
II.5 Dénivelée spécifique ..	36
II.6 Temps de concentration.....	36
II.6.1 La formule de GIANDOTTI	37
II.6.2 La formule de POSSINI	37
II.6.3 La formule de CALIFORNIA	37
II.7 Caractéristiques hydrographiques	38
II.7.1 Chevelu hydrographique	38
II.7.2 Rapport de confluence	39
II.8 Vitesse moyenne de ruissellement.....	39
II.9 Densité de drainage	39
II.10 Coefficient de sinuosité	40
II.11 Caractéristique climatique	42
II.11.1 Climat	42
II.11.2 Température	42
II.11.3 Evaporation	43
II.11.4 Humidité.....	43
II.11.5 Vents.....	44
II.12 Étude pluviométrique	45
II.12.1 Données disponible	45
II.12.2 Analyse des pluviométries annuelles.....	46

Conclusion.....	48
II.12.3 Pluies moyennes annuelles	49
II.12.4 Pluies moyennes mensuelles.....	49
II.12.5 Pluies journalières maximales ONM	50
Conclusion	53
II.12.6 Pluies de courtes durées	53
II.12.7 Intensités de courtes durées	54
Conclusion	57

Chapitre III : Etude des apports

Introduction.....	58
III.1 Les apports liquides.....	58
III.2 Les apports solides.....	61
III.2.1 Méthodes empiriques	62
III.2.2 Taux de rétention des sédiments production	63
Conclusion	64
III.3 Courbes caractéristiques de la retenue	64
III.4 Calcul du volume mort de la retenue	66
III.5 Le volume utile de la retenue	66
Conclusion	66

Chapitre IV : Etude des crues

Introduction.....	67
IV.1 Evaluation Des Débits Maximum Des Crues	67
IV.1.1 Les Formules Empiriques	67
IV.1.2 Les Lois Statistiques	70
IV.2 Hydrogramme De Crue.....	72
IV.3 Laminage des crues.....	76
Conclusion	77

Chapitre V : Choix et dimensionnement du barrage

Introduction.....	78
V.1 Choix du site de la retenue	78
V.2 Choix du type du barrage	79

V.3 Cote en crête du barrage	80
V.3.1 Niveau des plus hautes eaux.....	80
V.3.2 Calcul de la revanche	80
V.4 Conception de la digue	82
V.4.1 Largeur en crête.....	82
V.4.2. Longueur en crête	83
V.4.3 Pente des talus.....	83
V.4.4 Variantes de la digue	84
Conclusion.....	84
V.4.5 Protection des talus.....	84
Conclusion.....	87
V.4.6 les bermes.....	87
V.5. Le Noyau arg.....	87
V.5.1 Largeur en crête du noyau.....	87
V.5.2 Pente du noyau	88
V.5.3 Largeur à la base du noyau	88
V.5.4 Vérification des dimensions du noyau.....	88
Conclusion	89
V.6 Protection de la crête.....	90
V.7 Drainage du barrage.....	90
V.8 Fondation.....	90
V.9 Dispositif des drains et filtres.....	90
V.9.1 Les drains.....	90
V.9.2 Dimensionnement du Drain tapis.....	90
V.9.3 Dimensionnement du drain prisme	91
V.9.4 Les filtres.....	91
V.10 Calcul d'infiltration	91
V.10.1 Objectif de calcul d'infiltration	91
V.10.2 Hypothèses de calcul de la ligne de saturation	92
V.10.3 Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue	94
V.11 La stabilité	95
V.11.1 Généralités sur l'étude de stabilité des barrages.....	95

V.11.2 Principe de la méthode des tranches.....	96
Conclusion	102

Chapitre VI : ouvrages annexes

Introduction.....	103
VI.1 Dérivation provisoire et batardeau.....	103
VI.2 L'évacuateur de crues.....	103
VI.2.1 Différents types d'évacuateurs de crue.....	104
a. Evacuateur de crues en puits (tulipe).....	104
b. Evacuateur de crues latéral à entonnement latéral	104
c. Evacuateur de crue latéral à entonnement frontal	104
VI.2.2 Choix de l'évacuateur de crue.....	105
Conclusion.....	105
VI.2.3 Constituants de l'évacuateur de crue.....	106
VI.3 Vidange de fond.....	107
VI.4 Prise d'eau	108
VI.5 Hangar de dépôt et de commande.....	108

Chapitre VII : Organisation de chantier

Introduction.....	109
VII.1 Succession des travaux.....	109
VII.1.1 Travaux préparatoires.....	109
VII.1.2 Exécution de l'ouvrage (Planning et phasage des travaux).....	109
a. Réalisation de la digue	110
b. Réalisation de l'évacuateur de crue	112
c. Réalisation de la dérivation provisoire.....	112

VII.2 Planification	113
VII.3 Devis estimatif du barrage et des ouvrages annexes (Barrage Souk Tlata Avant projet détaillé).....	113

Chapitre VIII : Protection et sécurité de travail

Introduction.....	116
VIII.1 Comite de sécurité	116
VIII.2 Instructions structurelles sur la sécurité.....	116
VIII.3. Causes des accidents de travail.....	117
VIII.4 Causes des maladies professionnelle.....	118
VIII.5 Conditions dangereuses dans le chantier	120
VIII.6 Actions dangereuses.....	120
VIII.7 Methodes et moyens de prévention	120
VIII.8 Plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation.....	120
Conclusion.....	122
Conclusion générale.....	123

Bibliographie

Annexes

LISTE DES FIGURE

Figure I.1 : Localisation du site du barrage de Souk Tleta.....	1
Figure I.2 : Localisation du site du barrage de Souk Tleta.....	2
Figure I.3 : Esquisse géologique du massif cristallophyllien Kabyle	4
Figure I.4 : coupe géologique, rive gauche.....	5
Figure 1.5 : Esquisse géologique du site.....	7
Figure I.6 : coupe géologique ; axe du barrage.....	8
Figure I.7 : coupes lithostratigraphiques des grés	9
Figure I.8.Appareille triaxial	15
Figure I.9 : Appareil granulométrique.....	16
Figure I.10 : Situation des zones d'emprunts.....	23
Figure II.1: Bassin versant oued Bougdoura	28
FigureII.2 : Caractéristiques géométrique.	29
Figure II.3 : Classes d'altitudes	32
Figure II.3 : Courbe hypsométrique.....	33
Figure II.4 : Chevelu hydrographique.....	38
Figure II.5 : Répartition mensuelle de la température.....	42
Figure II.6 : Répartition mensuelle de l'évaporation	43
Figure II.7 : répartition mensuelle de l'humidité.....	44
Figure II.8 : Répartition mensuelle du Vent.....	45
Figure II.9 : La répartition des pluies annuelles moyennes de 1968 à 2002 (Tizi Meden).....	49
Figure II.10:Pluies moyennes mensuelles.....	50
Figure II.11 : ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales observées à Tizi-Meden de 1970 à 2009	52
Figure II.12 : ajustement à la loi Normal des pluies journalières maximales observées à Tizi-Medede 1970 à 2009.....	53
Figure II.13.: Courbe des pluies des courtes durées	56
Figure II.14 : Courbes (intensité- durée-fréquence).....	56
Figure (III.1) : Courbe capacité Hauteur.	65
Figure IV.1 : Ajustement à la loi de Gumbel.....	71
Figure IV.2 : Ajustement a la loi Normal.....	72

LISTE DES FIGURE

Figure IV.3 : Hydrogromme des crues rares.....	76
Figure VI.1 : bassin de dissipation.....	107

Liste des tableaux

Tableau I.1: la classification de sol selon Lugeon.....	10
Tableau I.2.classification des sols selon l'indice de compressibilité	14
Tableau I.3.classification des sols selon l'indice de gonflement	14
Tableau I.4.classification des sols selon la perméabilité	16
Tableau I.5, classification des roches selon Deere (1970).....	18
Tableau I.6 : densité de fracturation des roches de fondation du barrage.....	18
Tableau I.7 : résultats des essais d'identification (gés)..... ;.....	19
Tableau I.8 : résultats des essais d'identification (phyllades).....	19
Tableau II.1: Répartition altimétrique des superficies du bassin versant.	33
Tableau II.2 : Classes de relief avec leurs descriptions.....	35
Tableau II.3: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)	36
Tableau II.4 : Nombres et longueurs des thalwegs.....	38
Tableau II.5 : Les caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant	41
Tableau II.6 :Répartition mensuelle de la température.....	42
Tableau II.7 : Répartition mensuelle de l'évaporation.....	43
Tableau II.8 :Répartition mensuelle de l'humidité.....	44
Tableau II.9 : Répartition mensuelle de la vitesse du vent.....	44
Tableau II.10 : Superficie des polygones de Thiessen	47
Tableau II.11 : Précipitation moyennes par la méthode des isohyètes.	48
Tableau II.12 :Caractéristiques de la station pluviométrique de Tizi-Meden.	50
Tableau II.13 :Pluies journalières maximales observées à Tizi-Meden (1970-2009).....	51
Tableau II.14 : Pluies journalières maximales fréquentielles.....	52
Tableau II.15 : Pluies de courte durée	54
Tableau II.16 : Intensité de courtes durées	55
Tableau (III.1) récapitulatif des résultats.....	60
Tableau (III.2) :Valeurs du coefficient d'érodabilité (Z).....	63
Tableau(III.3) :Côtes et volume d'eau.	65
Tableau IV.1 : Q_{max} calculés par la formule de Sokolovsky.....	68
Tableau IV.2 : Q_{max} calculés par la formule de Mallet-gauthier.....	69
Tableau IV.3 : Q_{max} calculés par la formule de Turazza.....	69
Tableau IV.4 : Récapitulatif des résultats.....	70

Liste des tableaux

Tableau IV.5 : Statistiques de base des séries de Débits Maximaux de Tizi-Ouzou.....	70
Tableau IV.6 : Ajustement à la loi de Gumbel	71
Tableau IV.7 : Evaluation de γ en fonction de la grandeur du cours d'eau	74
Tableau IV.8 :Hydrogramme de crue pour Q_{jmax} de différentes fréquences.	75
Tableau (V.1) : Valeurs indicatives des pentes des talus (CEMAGREF)	83
Tableau V.2: Valeurs de C en fonction des pentes de talus et δ	85
Tableau V.3: Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues.....	86
Tableau V.4 : Pentes du noyau.....	88
Tableau V.5 : Valeurs du gradient hydraulique en fonction de la classe et les matériaux du barrage.....	89
Tableau V.6: Coordonnées de la ligne de saturation	93
Tableau V.7 : détermination des rayons max et min.....	96
Tableau V.7 : R_{max} et R_{min}	97.
Tableau V-10: les valeurs admissibles des coefficients de sécurité.....	97
Tableau V.10:Les caractéristiques géotechniques.....	100
Tableau V-11: coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement.....	101
Tableau VII.1: devis estimatif de la digue.....	114
Tableau VII.2 : devis estimatif L'évacuateur de crues.....	114
Tableau VII.3 : Dérivation, vidange de fond et prise d'eau.....	115
Tableau VIII .1 : Plans de sécurités.....	121

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

Par leurs complexité, les barrages ,importantes constructions du génie civil ,peuvent être considérés comme des ouvrages particuliers .Ils présentent par ailleurs la caractéristique de pouvoir être affectés à différentes fonctions .Ils jouent cependant deux rôles principaux : celui, d'une part, de stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoin vitaux et économiques des populations (eau potable ,irrigation ,fourniture d'énergies ,navigation) et celui, d'autre part de protection contre les effets destructeurs de l'eau (maitrise des crues ,rétention des sédiments ,protection contre les avalanches)ou de recours pour le cas de pénurie en eau .

Au cours du temps, la technique des barrages s'est bien entendu développée et des progrès sensibles ont été réalisés, entre autres le mode d'exécution et la sécurité. Le nombre et la hauteur des ouvrages de retenue n'ont pas cessé de croitre.

L'Algérie a réalisé de belles performances en matière de mobilisation des ressources en eau. Pour sécuriser le pays en ces ressources et permettre l'alimentation des populations en eau, le gouvernement a mis en place un vaste programme de réalisation de barrages à travers l'ensemble du territoire national. C'est ainsi que le barrage de Souk Tleta a vue le jour.

Situé sur l'oued Bouguedoura, à 8 km au sud de la commune de Draâ Ben Khedda le futur barrage de Souk Tleta sera destiné à renforcer l'AEP et l'AEI des régions de Tizi Ouzou et Boumerdès.

Chapitre I

ETUDE DU MILIEU

Introduction

L'étude du milieu d'un barrage peut se diviser en trois parties essentielles à savoir ; la topographie qui a pour but la détermination du site du barrage, la géologie qui désigne tous études de différentes couches qui constitues l'ensemble du site entourant la zone d'étude , et l'étude géotechnique qui nous permettras de connaître les caractéristique des matériaux prélevées sur le site pour la réalisation de notre ouvrage.

I.1 Étude topographique

Le but principal des études topographiques est d'établir les documents nécessaires pour les avants projets (plans, cartes et profils, documents) qui permettront aussi en premier lieu de se prononcer sur l'aptitude topographique du site et de positionner au mieux le barrage et ses ouvrages annexes.

I.1.1 Situation géographique du site

Le site se trouve sur l'oued Bougdoura a 250 m en aval du confluent de l'Acif Tleta et de Tala Imedrane et à 8 Km au sud de Draa Ben Khedda dans la wilaya de Tizi Ouzou et a 80 Km environ a vol de oiseaux d'Alger dans la direction Est (coordonnées X= 610.4, Y=376.1, Z = 64 NGA) (Figure I.1 ; I.2).

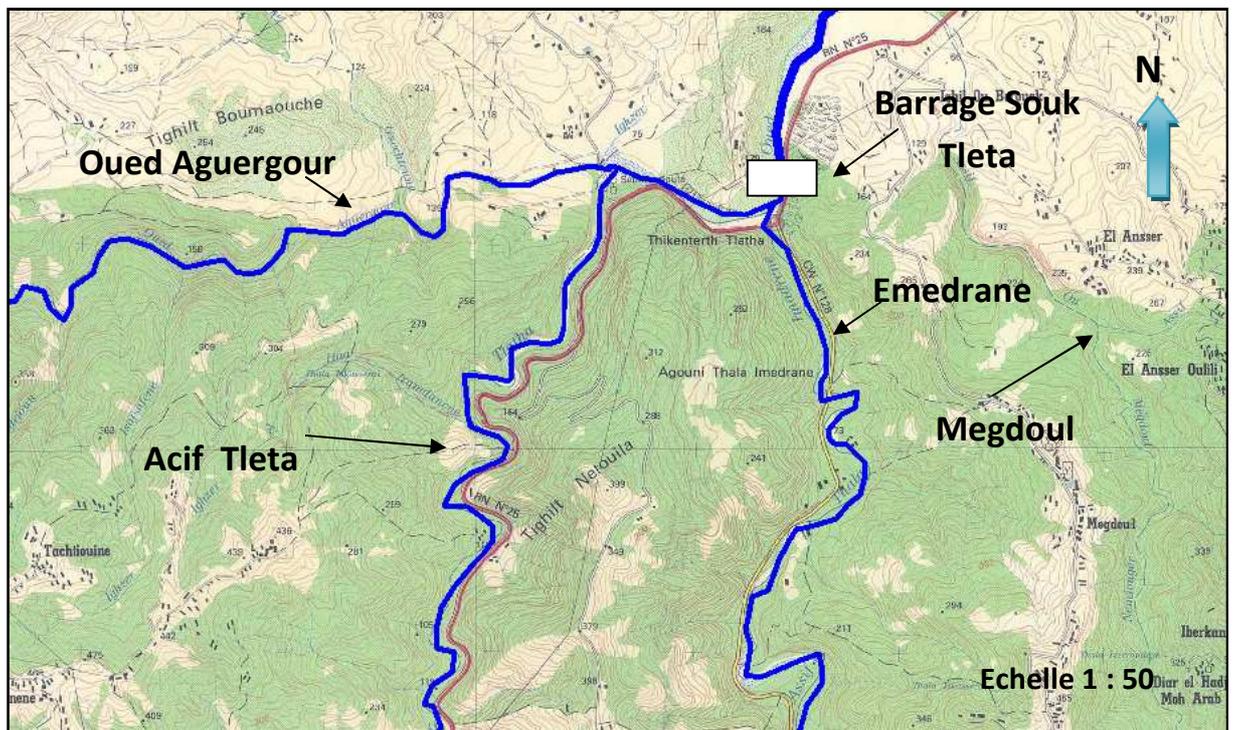
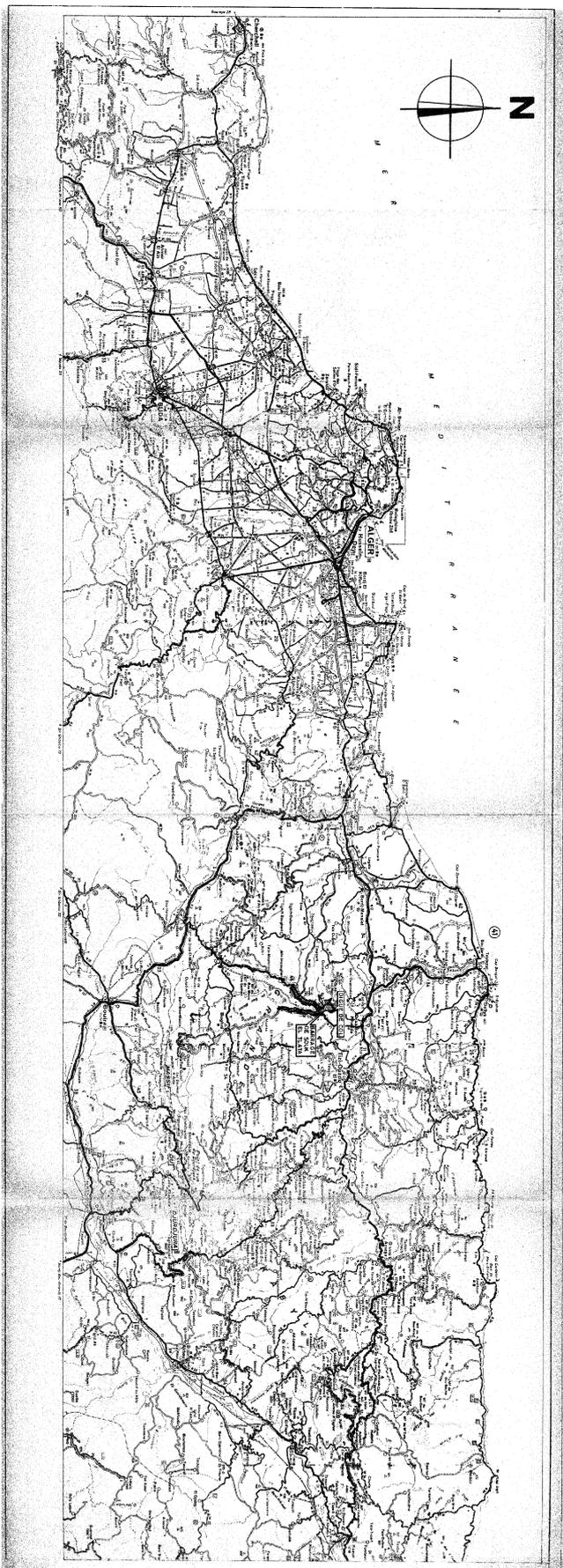


Figure I.1 : Localisation du site du barrage de Souk Tleta (ANBT).



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 MINISTÈRE DE L'HYDRAULIQUE
 DIRECTION GÉNÉRALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

BARRAGE DE SOUK EL TLATA
 AVANT-PROJET DÉTAILLÉ

SITUATION GÉOGRAPHIQUE DE L'AMÉNAGEMENT

Bureau d'études	DATE	DES	CONSTR.	VER.	ÉCHELLE
Dr. Ing. C. Lombardi	MAR 1981	5/8	1/2	1/2	1:50000
Locarno (Suisse)					540.6-51

I.1.2 Topographie

Le réservoir de Souk Tleta sera constitué essentiellement par deux branches formées par des vallées d'Acif Tleta et de Tala Imedrane, qui confluent à l'amont du barrage avec un angle de 30° environ. La retenue est fermée par une gorge de quelques centaines de mètres de long, site choisi pour le barrage.

La vallée du barrage de Souk Tleta est asymétrique ; le versant de rive gauche a une inclinaison moyenne de 35° et culmine sur une colline qui partage les oueds Bougdoura et Aguer gour, tandis que celui de rive droite monte avec des pentes plus raides (environ 51°), jusqu'à la cote 234 m NGA, sur la ligne de partage des eaux entre la vallée d'Acif Megdoul et celle d'Acif tala Imedrane (Figure I.1).

Le fond de la rivière est situé approximativement au niveau 65m NGA et présente en son endroit le plus étroit une largeur d'environ 50m. Les flancs de la vallée montent jusqu'au niveau 150 m NGA au moins (ANBT).

I.2 L'étude Géologique

Pour valider le choix d'un site, on doit vérifier un certain nombre de critères d'ordre géologique, préalablement à l'établissement du projet proprement dit.

Le but principal de cette étude est d'étudier la géologie du site, de la cuvette et de savoir les principales caractéristiques :

- ✚ Perméabilité de la cuvette.
- ✚ Stabilité des versants.
- ✚ Recherche des matériaux de construction.

I.2.1 Géologie régionale

La zone d'étude fait partie du domaine kabyle qui couvre le Tell septentrional de l'Algérie. Elle est composée essentiellement de roches métamorphiques (socle cristallophyllien), et de roche sédimentaires, reposant en discordance sur ces dernières.

Le massif cristallophyllien est surtout composé de Gneiss et Schiste (Figure I.3). Les formations du miocène débutent par des conglomérats dont les galets proviennent du socle Kabyle. Elle se termine par une couche de marnes très épaisse. La tectonique du socle est liée aux mouvements alpins responsables de la réparation des massifs. Les affleurements actuels ont été répartis suite à l'érosion du plio-quadernaire (Benabbas 1988).

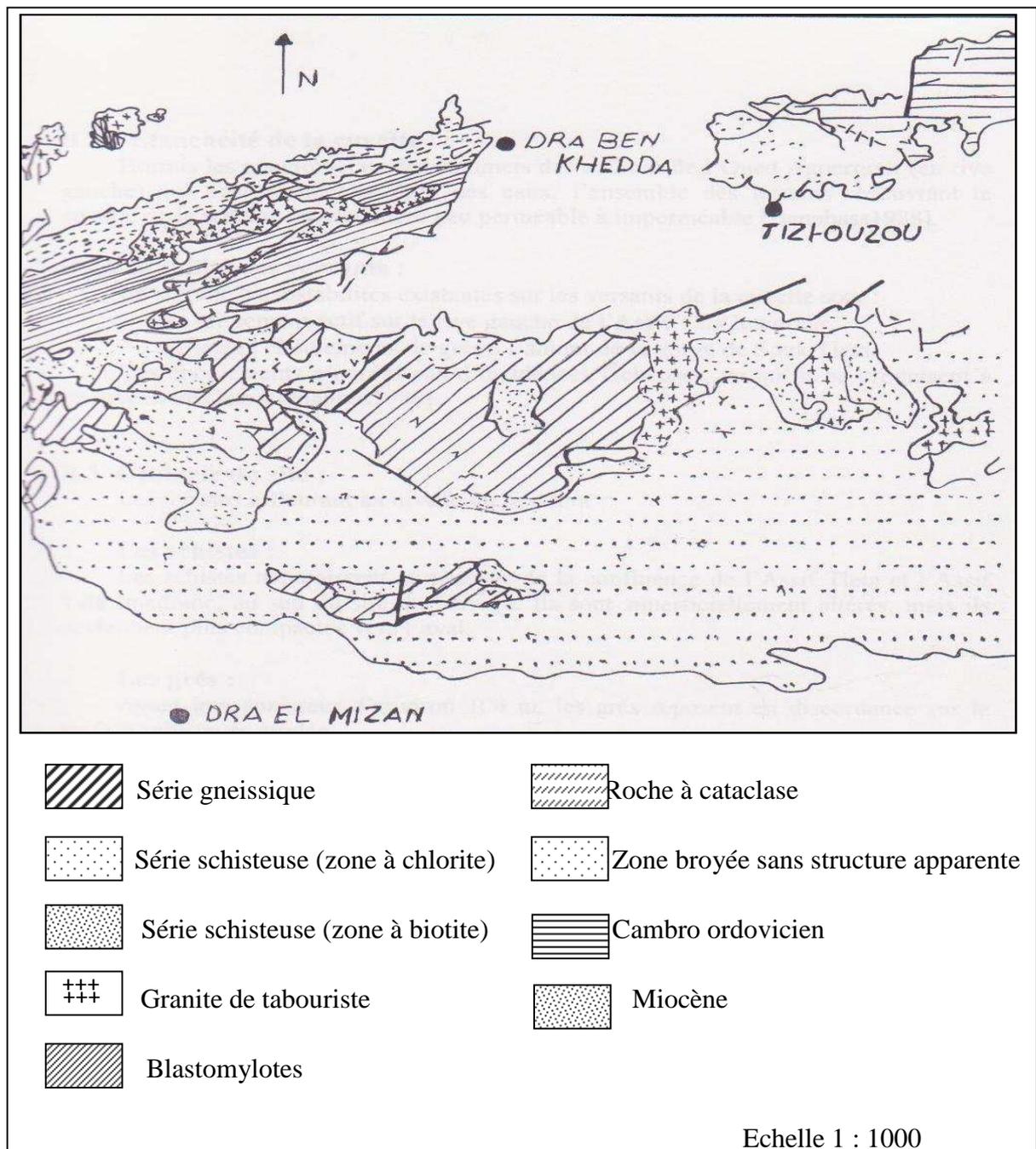


Figure I.3 : Esquisse géologique du massif cristallophyllien Kabyle (Benabbas 1988)

I.2.2 Géologie de la cuvette

Une fois inondées les vallées de l'Acif Tala Imedrane, de l'Acif Tleta, ainsi que celle de l'Oued Aguer gour, formeront une partie de la retenue du futur barrage de Souk Tleta.

Acif Tleta et Acif Tala Imedrane s'écoulent du sud vers le nord, de leur confluence naît l'Oued Bougdoura.

Quand à l'Oued Aguer gour qui est affluent de l'Acif Tleta, il s'écoule de l'ouest vers l'est.

Dans le massif cristallophyllien affluent sur les flancs des vallées de l'Acif Tala Imedrane, et l'Acif Tleta en amont du site les lithofaciés suivants (Figure I.4) (Annexe ; Figure I.1) :

- ✚ Les Schistes.
- ✚ Les grés.
- ✚ Conglomérats.

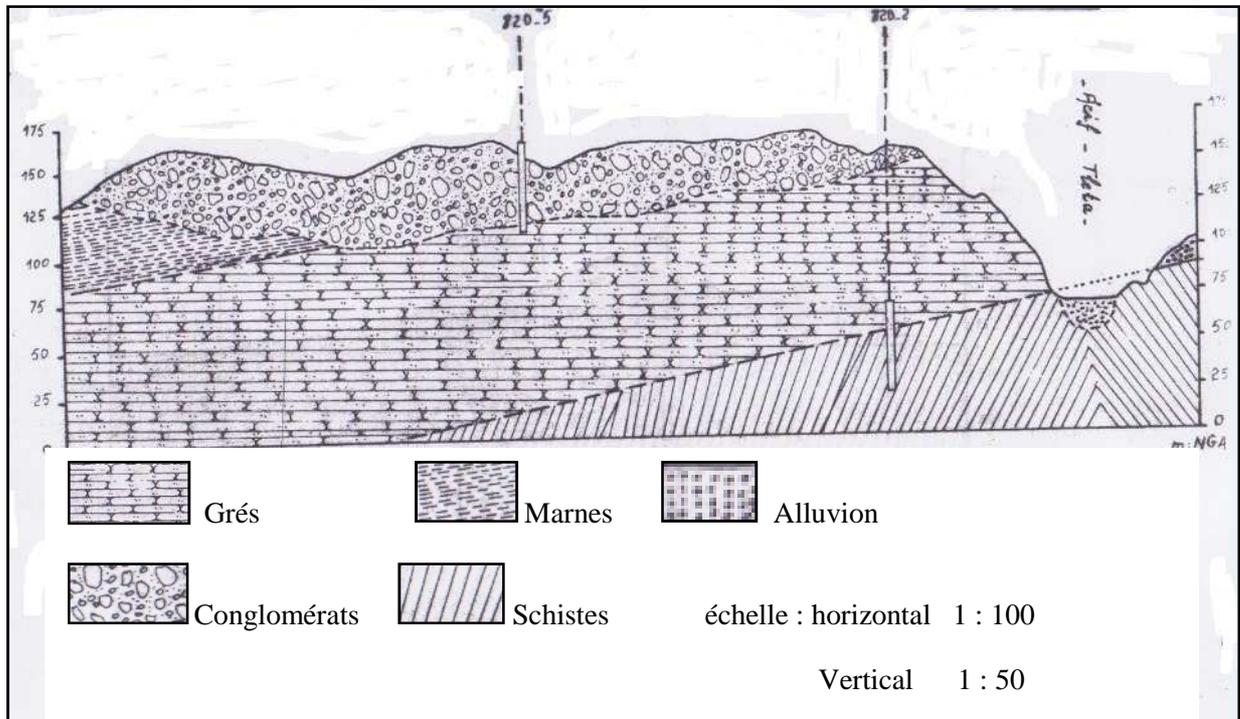


Figure I.4 : coupe géologique, rive gauche (ANBT).

Dans la vallée de l'Oued Aguer gour affleurent les terrains sédimentaires tertiaires qui comportent :

- ✚ Des marnes.
- ✚ Des grés fissurés.

Des conglomérats du pliocènes recouvrent les sommets des collines de l'Oued Aguer gour. Les dépôts alluvionnaires des lits des Oueds et les colluvions aux pieds des pentes, représentent les terrains les plus récents (Benabbas 1988).

I.2.3 Etanchéité de la cuvette

Hormis les conglomérats des sommets des collines de l'Oued Aguer gour (en rive gauche) qui occasionnent la fuite des eaux, l'ensemble des terrains recouvrant la cuvette de la retenue est considéré peu perméable (Benabbas 1988).

I.2.4 Stabilité des versants

En somme les instabilités existantes sur les versants de la cuvette sont :

- ✚ Un glissement actif sur la rive gauche de l'Acif Tala imedrane.
- ✚ De légers éboulements de grés à l'amont de la gorge de Souk Tleta.

Ces éboulements n'auront pas d'incidences fâcheuses, vu qu'ils se produisent à un niveau très bas (Benabbas 1988).

I.2.5 Géologie du site

Les terrains affleurant au niveau du site sont (Figure ; 1.5) :

✚ Les grés

Ayant une épaisseur d'environ 100 m, les grés reposent en discordance sur la surface schisteuse érodée.

Ils affleurent sur les deux rives et constituent la fondation et les appuis du barrage. (Figure I.6 et I.7).

✚ Les colluvions

Les colluvions sont très abondantes en amont du site.

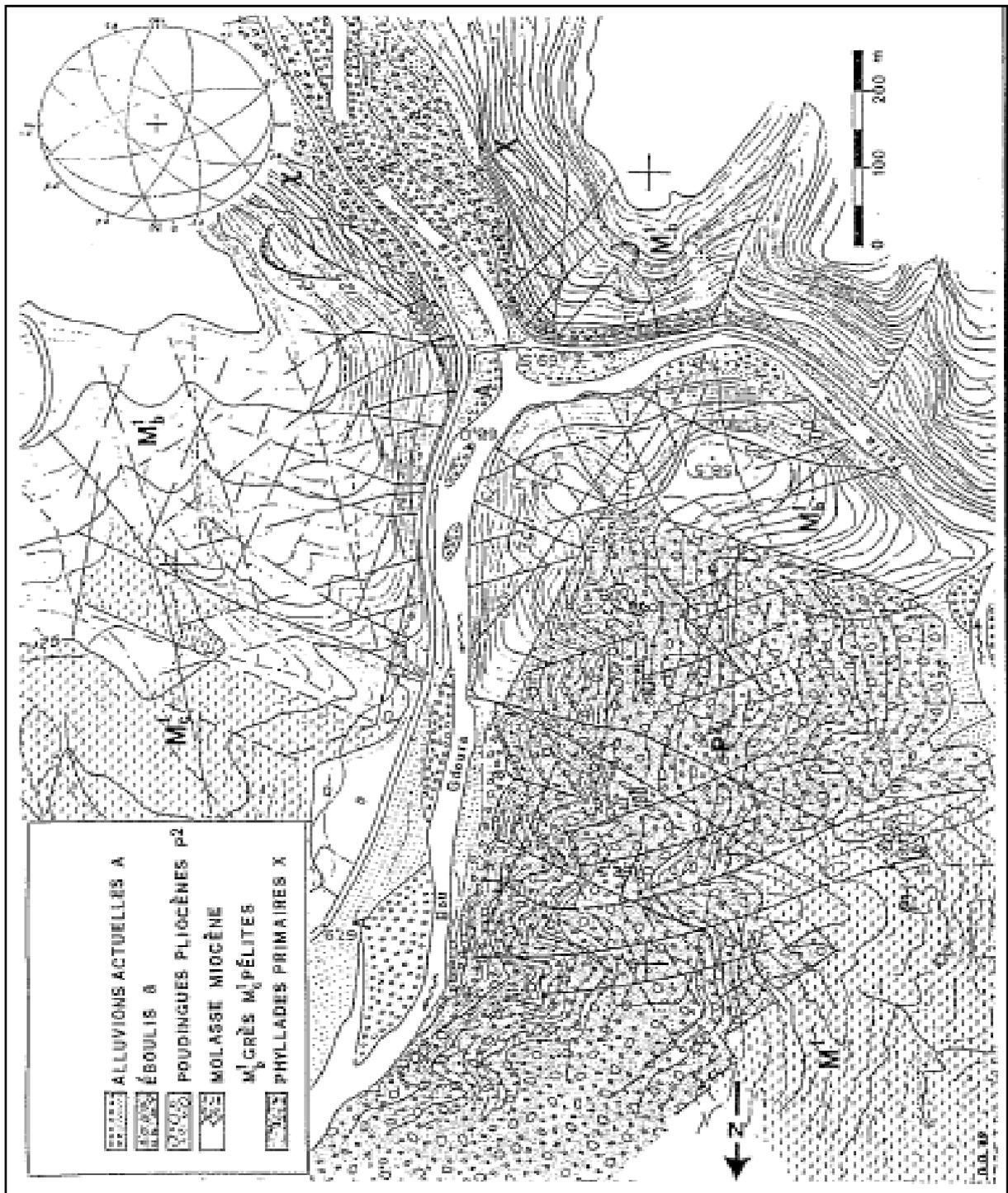


Figure 1.5 : Esquisse géologique du site (ANBT)

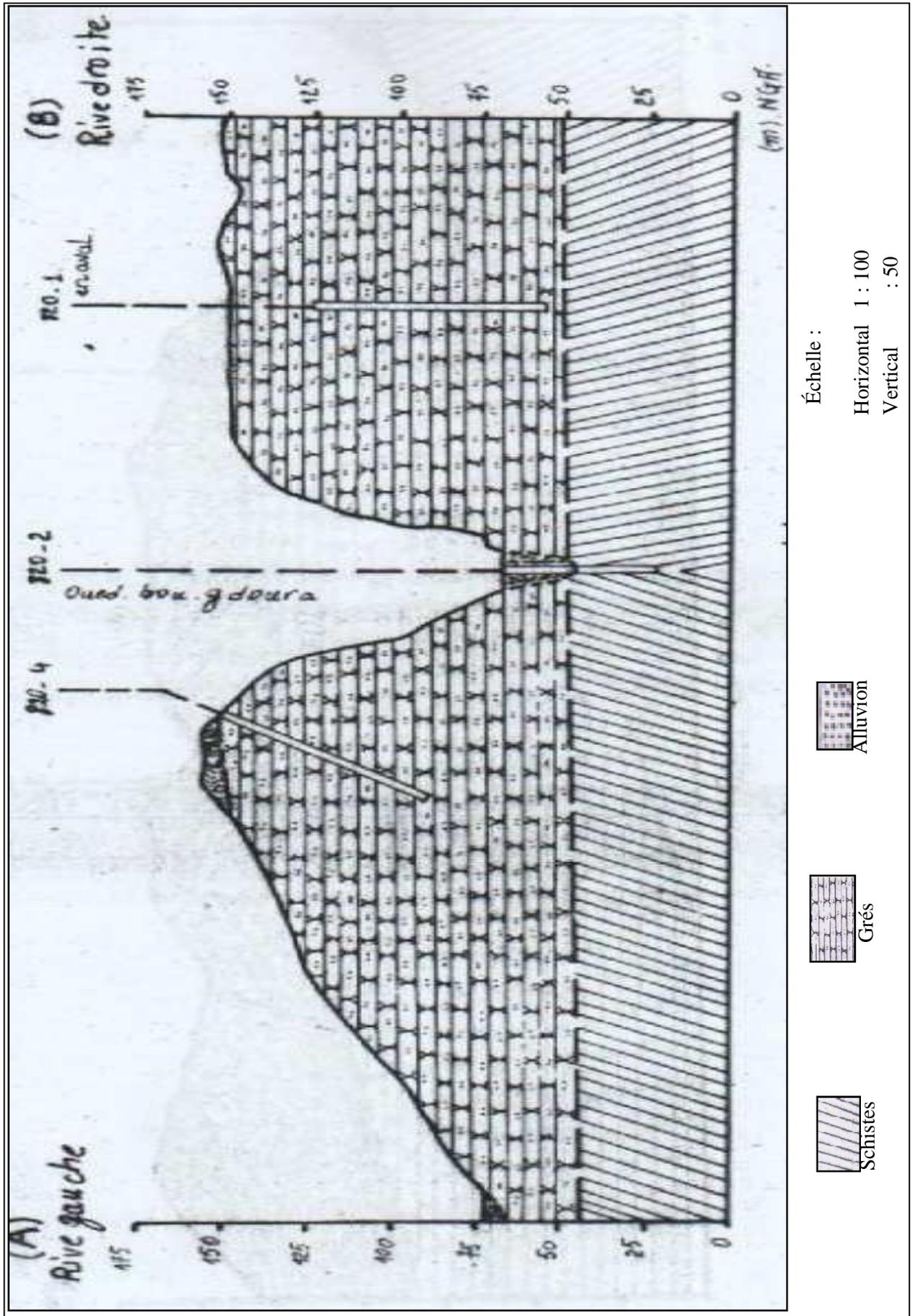


Figure 1.6: Esquisse géologique ; axe du barrage (ANBT)

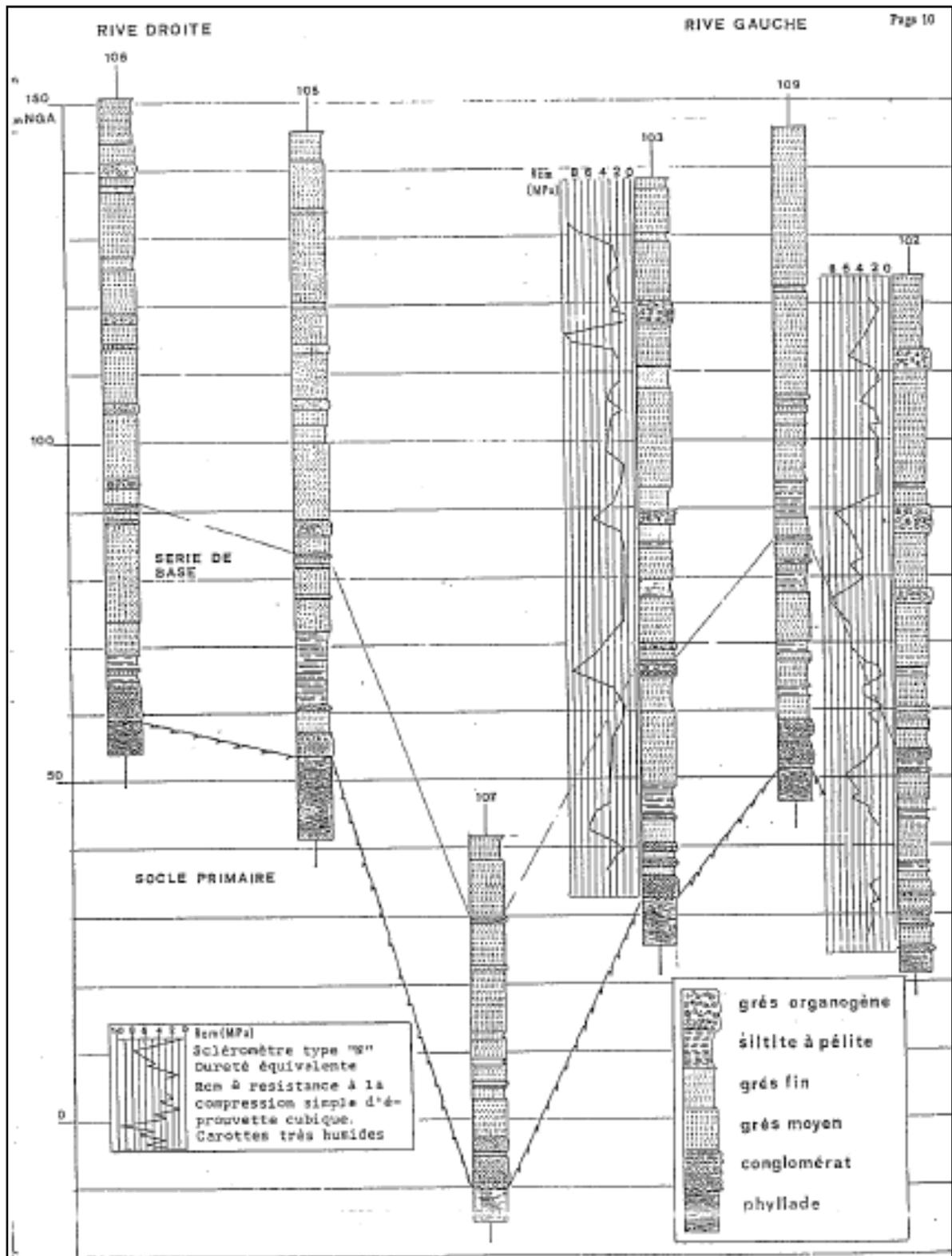


Figure I.7: coupes lithostratigraphiques des grès (ANBT).

✚ Les alluvions récents

Les sables et les grains forment l'essentiel des terrasses alluvionnaires récentes, qui sont répandus le long du lit de l'Oued Bougdoura .

✚ Les poudingues

ils occupent une surface importante dans la colline d'appui du barrage en rive gauche et remplissent une vallée épigénétique profonde.

✚ Les Pérites

Elles affleurent en aval du site du barrage surtout dans la vallée de l'oued Aguerour.

✚ Phyllades

Elles affleurent sur les rives de l'Oued Bougdoura et sont représentées par des schistes.

I.2.6 Perméabilité

Pour déterminer le coefficient de perméabilité des roches de fondation, plusieurs essais d'eau en pression (Lugeon) et ponctuels à niveau constant (Lefranc) ont été effectués.

✚ Essai Lugeon

La perméabilité Lugeon demande la mesure du débit qui s'écoule sous une pression effective de $1114Pa$ et sur une longueur de $1m$ à travers les parois d'un forage (diamètre généralement compris entre 70 et $80mm$). L'unité Lugeon ($1\text{ litre/mètre/minute}$) correspond grossièrement à $k\ 10^{-7}\ m/s$. l'essai s'effectue en général sur une tranche de forage de 3 à $5m$ de longueur.

Tableau I.1: la classification de sol selon Lugeon

Valeur en unité Lugeon	Classification
< 2 UL	Imperméable
2 à 5 UL	Peu perméable
5 à 20 UL	Perméable
>20 UL	Très perméable

✚ Essai Lefranc

L'essai de perméabilité Lefranc est appelé aussi «*Essai ponctuel* », habituellement exécuté en même temps que le sondage.

Il consiste à injecter ou à pomper de l'eau à débit constant Q (m^3/s) dans une cavité, limitée latéralement à la partie inférieure par la paroi de sondage et à la paroi supérieure par un bouchon étanche, on crée ainsi une variation de charge h (m), celle-ci sera représentée par une courbe en fonction du débit, et son examen, nous permettra de déterminer le coefficient de perméabilité k (m/s).

Les essais de perméabilité effectués ont donné les résultats suivants :

✚ les alluvions de l'Oued Bougdoura sont soit imperméables (K de l'ordre de 10^{-5} cm/s), soit moyennement imperméables (K de l'ordre de 10^{-3} cm/s) avec une moyenne de 5.10^{-3} cm/s.

✚ En ce qui concerne les grès, les nombreux essais exécutés démontrent que le Coefficient de perméabilité varie entre 1.10^{-4} et 1.10^{-6} cm/s.

✚ Les essais d'eau en pression dans les phyllades ont en effet donné des valeurs de coefficient de perméabilité entre (1.10^{-5} et 1.10^{-6}) cm/s.

I.2.7 Tectonique

Les sédiments burdigaliens forment une structure monoclinatique plongeant vers le nord avec un pendage de 15-20%.

Il s'agit d'une structure tectonique en forme de « Horst » et « Graben », due aux mouvements épirogéniques de la néotectonique distensive tardo-pliocène et Post-astienne, qui intéresse même les poudingues pliocènes.

I.2.8 Sismicité

D'après les données historiques, la zone du barrage appartient à une région Sismotectonique de faible à moyenne activité. Cette région est aussi loin des bassins subsidant (chlef, Mitidja, Soumam et hodna) qui sont les centres de foyer sismique les plus dangereux d'Algérie.

Par conséquent, il est possible que la zone du barrage de Souk el Tleta puisse ressentir, bien qu'affaiblies par la distance, les secousses des séismes des régions sismotectoniques actives environnantes.

Ceci explique que les seuls mouvements tectoniques enregistrés au niveau de la zone d'étude sont de moyennes intensités.

I.3 Etude géotechnique

L'étude géologique ne permet pas de définir les caractéristiques et les comportements mécaniques et hydrodynamiques des sols, ce qui veut dire leur aptitude à fournir les matériaux nécessaires à la construction de la digue ou à constituer des fondations suffisamment stables et imperméables. Il est important de procéder à des essais de mécanique des sols sur des échantillons in situ et/ou au laboratoire.

I.3.1 Travaux de reconnaissances

Des forages ont été exécutés par l'entreprise brésilienne Geotecnica SA entre Décembre 1987 et Mai 1988, 63 forages ont été exécutés au total, correspondant à 1847 m de perforation.

Les essais géotechniques ont été effectués par le laboratoire des travaux Publics du Centre de Tizi Ouzou (LTPC).

94 échantillons ont été sélectionnés, à savoir

 Roches de fondation	
➤ Grès burdigaliens	16 échantillons
➤ Phyllades	7 échantillons
➤ Alluvions	29 échantillons

✚	Matériaux de construction	
➤	Alluvions argileuses	23 échantillons
➤	Pélites burdigaliennes	3 échantillons
➤	Grès burdigaliens	4 échantillons
➤	Poudingues pliocènes	3 échantillons

I.3.2 Reconnaissance géotechnique

I.3.2.1 Description des essais

✚ Essais pour la détermination des caractéristiques mécaniques

➤ Essai de compression simple

C'est un essai qui est effectué sur éprouvettes normalisé, sur un échantillon de sol jusqu'à son écrasement, par application des contraintes croissantes et mesure de déformations correspondantes, afin d'estimer la résistance a la compression R_c et le module d'élasticité E .

➤ Essai de compressibilité à l'oedomètre

L'essai oedométrique a pour but d'étudier la consolidation d'échantillon de sols intact représentatif du milieu, ou remaniés soumis a des charges verticales, drainés dans cette direction et frottés latéralement, c'est-à-dire dont les déformations horizontales sont empêchées.

L'essai nous permet d'obtenir principalement les caractéristiques du sol nécessaire au calcul de prévision de tassement des couches de terrains compressible qui doivent supporter le poids d'un ouvrage à savoir :

- ✓ Le coefficient de compressibilité.
- ✓ Le coefficient de gonflement.

Tableau I.2.classification des sols selon l'indice de compressibilité

<i>C_c</i> (%)	<i>Appréciation</i>
<i><0.02</i>	<i>Incompressible</i>
<i>0.02 - 0.05</i>	<i>Très peu compressible</i>
<i>0.05 - 0.1</i>	<i>Peu compressible</i>
<i>0.1 - 0.2</i>	<i>Moyennement compressible</i>
<i>0.2 - 0.3</i>	<i>Assez compressible</i>
<i>0.3 - 0.5</i>	<i>Très compressible</i>
<i>>0.5</i>	<i>Extrêmement compressible</i>

Tableau I.3.classification des sols selon l'indice de gonflement

<i>C_g</i> (%)	<i>Appréciation</i>
<i>0.04 - 0.25</i>	<i>Gonflant</i>
<i>0.02 - 0.04</i>	<i>Peu gonflant</i>

➤ Essai triaxial

L'essai est réalisé sur des éprouvettes cylindriques de sol, l'éprouvette est placée dans une cellule cylindrique remplie d'eau, la surface latérale de l'éprouvette est entourée d'une membrane en caoutchouc étanche, des pierres poreuses saturées placées aux extrémités de l'éprouvette peuvent être mises en communication avec l'extérieur de la cellule afin d'assurer le drainage en cours d'essai. Elles peuvent également être reliées à un appareil de mesure de la pression interstitielle.

Cet essai nous permet de déterminer la cohésion « c » et l'angle de frottement interne « φ ».

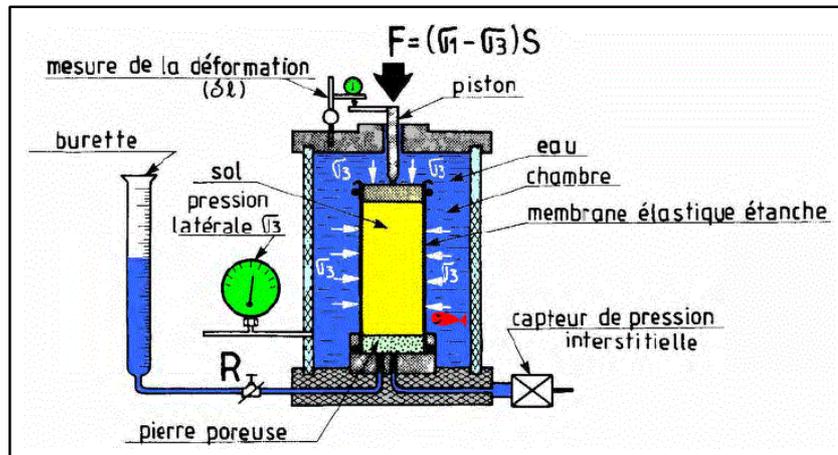


Figure I.8.Appareille triaxial

➤ Essai Proctor normal

Cet essai a pour but d'établir la relation expérimentale entre la densité sèche d'un sol sensible à l'eau et sa teneur en eau pour différentes énergies de compactage. Il se pratique pour les sols entrant dans la constitution d'un remblai. L'aptitude d'un sol à se compacter peut être appréhendée par l'étude Proctor seule. A partir de cette dernière, sont déterminées les caractéristiques Proctor (densité sèche maximale et teneur en eau optimale) du sol considéré. Ces valeurs peuvent servir de référence pour caractériser la qualité de compactage réalisé sur le chantier. Mais, les caractéristiques Proctor constituent avant tout des critères d'identification d'un sol permettant de situer son état naturel par rapport à son état optimal de mise en œuvre.

➤ Essai de perméabilité

Pour déterminer le coefficient de perméabilité des matériaux de construction, plusieurs essais ont été effectués en laboratoire au perméamètre.

Tableau I.4.classification des sols selon la perméabilité

Coefficient de perméabilité	Degré de perméabilité
$<10^{-6}$	Très faible à faible
10^{-4} à 10^{-6}	faible à Moyenne
10^{-2} à 10^{-4}	Moyenne a élevé
$>10^{-2}$	Forte à très forte

🚩 Essais d'identification

Ces essais ont pour but d'identifier les caractéristiques physique et chimique du sol ; masse volumique, teneur en eau naturelle, limites d'Atterberg, indices des vides, granulométrie.

➤ L'analyse granulométrique

Le but de l'essai d'analyse granulométrique est d'étudier la taille des particules solide et leur distribution et de mesurer l'importance relative de chacune des fractions de sol grenu, qui nous permettant de classer les différents sols grenus étudiés.

L'analyse granulométrique est la recherche du pourcentage des grains ayant un diamètre inférieur ou égale au diamètre d du tamis, qui va nous permettre de tracer la courbe granulométrique.



Figure I.9 : Appareil granulométrique.

➤ **Essai Limites d'Atterberg**

Le but de l'essai est la détermination des teneurs en eau d'un sol à éléments fins, tel que la présence d'eau dans les vides d'une masse sol peut affecter le comportement de celle-ci. Afin d'étalonner et de comparer les comportements d'une masse d'argile, on définit des valeurs de teneurs en eau limites.

Les limites d'Atterberg servent à la classification des sols, à leur identification, et à caractériser les propriétés mécaniques des sols.

L'essai s'effectue en deux phases :

- ✓ Recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande.
- ✓ Recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3mm de diamètre.

Casagrande propose un digramme de plasticité permettant d'identifier les sols à partir des limites d'Atterberg.

I.3.2.2. Interprétation des essais in situ

✚ **Caractéristiques géomécaniques de la fondation du barrage**

Les caractéristiques géomécanique des roches de la fondation sont définies par la densité de fracturation qui est caractérisée par le taux de carottage intégral qui est le pourcentage en longueur de toutes les carottes récupérées par rapport à la longueur du sondage ou par le RQD (Rock quality Designation), qui est le pourcentage en longueur des carottes récupérées de longueur supérieure à 10 cm.

$$RQD (\%) = \frac{100 \times (\Sigma \text{longueur des carottes} > 10 \text{ cm})}{\text{longueur de la passe de sondage}}$$

Une classification des roches a été proposée par Derre qui peut donner des indications sur leur qualité.

Tableau I.5, classification des roches selon Deere (1970)

Qualité de la roche	RQD
Excellente	90-100
Bonne	75-90
Moyenne	50-75
Mauvaise	25-50
Très mauvaise	0-25

Les valeurs moyennes pondérées des paramètres géomécaniques sont les suivantes :

Tableau I.6 : densité de fracturation des roches de fondation du barrage

	Rive gauche		Rive droite	
	grès	Série de base	grès	Série de base
RQD	41	41	66	52

Ceci signifie globalement que la qualité des massifs rocheux, est mauvaise en rive gauche et moyenne en rive droite.

I.3.2.3 Résultats des essais au laboratoire

I.3.2.3.1 Roches de fondation

Le sol de fondation de barrage est constitué de 3 couches, à savoir ; les alluvions, les grès et les phyllades.

a. Les grès

Les grès constituent la roche de fondation de plus grand partie de l'assise de barrage.

✚ Essai d'identification

Tableau I.7 : résultats des essais d'identification

teneur en eau W_n (%)	3.6
Densité humide γ_h (KN/m ³)	22
Densité sèche γ_d (KN/m ³)	19.7
Densité saturé γ_{sat} (KN/m ³)	22

La valeur de la teneur en eau trouvée signifie que les grés sont à faible humidité et dense.

✚ Essais mécaniques

➤ Essai de compression simple

Les essais expérimentaux sur éprouvettes cylindriques ont révélé que la résistance à la compression simple en condition naturelles est de 10,2 Mpa se réduit du 20 % environ (8,0 Mpa) après 10 jours d'immersion, et le module de déformation E_D varie entre 2000 et 6000 Mpa, et un module d'élasticité E de 1000 Mpa.

➤ Essai triaxial

Des essais triaxiaux consolidés non drainé sur des échantillons ont donné :

- ✓ La cohésion : $C' = 1.5$ Kpa
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 37^\circ$

b. Les Phyllades

✚ Essai d'identification

Tableau I.8: Résultats des essais d'identification

teneur en eau W_n (%)	2.3
Densité humide γ_h	24.5
Densité sèche γ_d (KN/m ³)	21.7
Densité saturé γ_{sa} (KN/m ³)	24.5

On peut déduire à partir de la valeur de la teneur en eau que cette série rocheuse est à faible humidité et très dense.

✚ Essais mécaniques

➤ Essai de compression simple

Des essais de résistance à la compression simple sur des éprouvettes ont donné les valeurs suivantes :

- ✓ La résistance à la compression simple en condition naturel est de $40,6 \text{ Mpa}$.
- ✓ Le module d'élasticité : $E = 1300 \text{ Mpa}$

➤ Essai triaxial

Les résultats des essais triaxiaux on donné :

- ✓ La cohésion dans la roche : $C' = 5 \text{ Kpa}$
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 28^\circ$

c. Alluvions actuelles de l'Oued Bougdoura

✚ Essai d'identification

Sur la base 27 analyses de granulométrie, les alluvions peuvent être définis comme sable à gravier limoneux avec plus au moins d'éléments fins (SM-ML / GM), généralement bien gradués ($C_u > 4$, et $1 < C_c < 3$) (Annexe ; figure I.2).

✚ Essais mécaniques

➤ Essai de compressibilité à l'oedomètre

- ✓ L'indice de compression : $C_c = 2.6 \%$
- ✓ L'indice de gonflement : $C_g = 0.75\%$
- ✓ Module de compressibilité : $E_0 = 46,9 \text{ Mpa}$

D'après ces valeurs, on est en présence d'un sol très peu compressible, non gonflant.

➤ **Essai triaxial**

Un essai triaxial consolidé et drainé sur un échantillon a donné :

- ✓ La cohésion : $C' = 110 \text{ Kpa}$
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 36^\circ$

➤ **Essai Proctor**

Les paramètres moyens de compactage Proctor sont :

- ✓ La densité sèche optimum : $\gamma_{d \text{ opt}}(\text{t/m}^3) = 21,3 \text{ KN/m}^3$
- ✓ La teneur en eau optimum : $W_{\text{opt}} = 7.3 \%$
- ✓ Degré de saturation : $S_r = 80\%$

Selon la classification de Terzaghi, le sol est dans un état détrompé.

1.3.2.2.2. Matériaux de construction

Les résultats des essais sur les matériaux de construction son résumé dans l'annexe ; tableau I.1

Situation des zones d'emprunts

Les différentes zones d'emprunts sont représentées dans la figure I.10.

- **Zone A** : argiles colluviales.
- **Zone B** : alluvion récentes.
- **Zone C** : grés burdigaliennes.
- **Zone D** : pelites.
- **Zone E** : poudingue pliocènes.

a. Poudingues pliocènes

Essai d'identification

La classification des matériaux altérés a été faite sur la base de la courbe granulométrique et de 16 limites d'Atterberg, il s'agit de gravier argileux (GS) généralement bien gradués ($C_u > 4$, $1 < C_c < 3$)(Annexe ;figure I.3).

✚ Essais mécaniques**➤ Essai triaxial**

Des essais triaxiaux ont donné :

- ✓ La cohésion : $C' = 150 \text{ Kpa}$
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 38^\circ$

➤ Essai Proctor

Les paramètres moyens de compactage Proctor sont :

- ✓ La densité sèche optimum : $\gamma_{d \text{ opt}}(\text{KN/m}^3) = 22,7 \text{ t/m}^3$
- ✓ La teneur en eau optimum : $W_{\text{opt}} = 4.7 \%$
- ✓ Degré de saturation : $S_r = 71\%$

D'après la classification de Terzaghi, le sol est dans un état détrompé.

➤ Essai de perméabilité

Les résultats de perméabilité obtenus au perméamètre indiquent que les argiles colluviales ont une perméabilité faible à moyenne ($K = 5.10^{-5} \text{ cm/s}$).

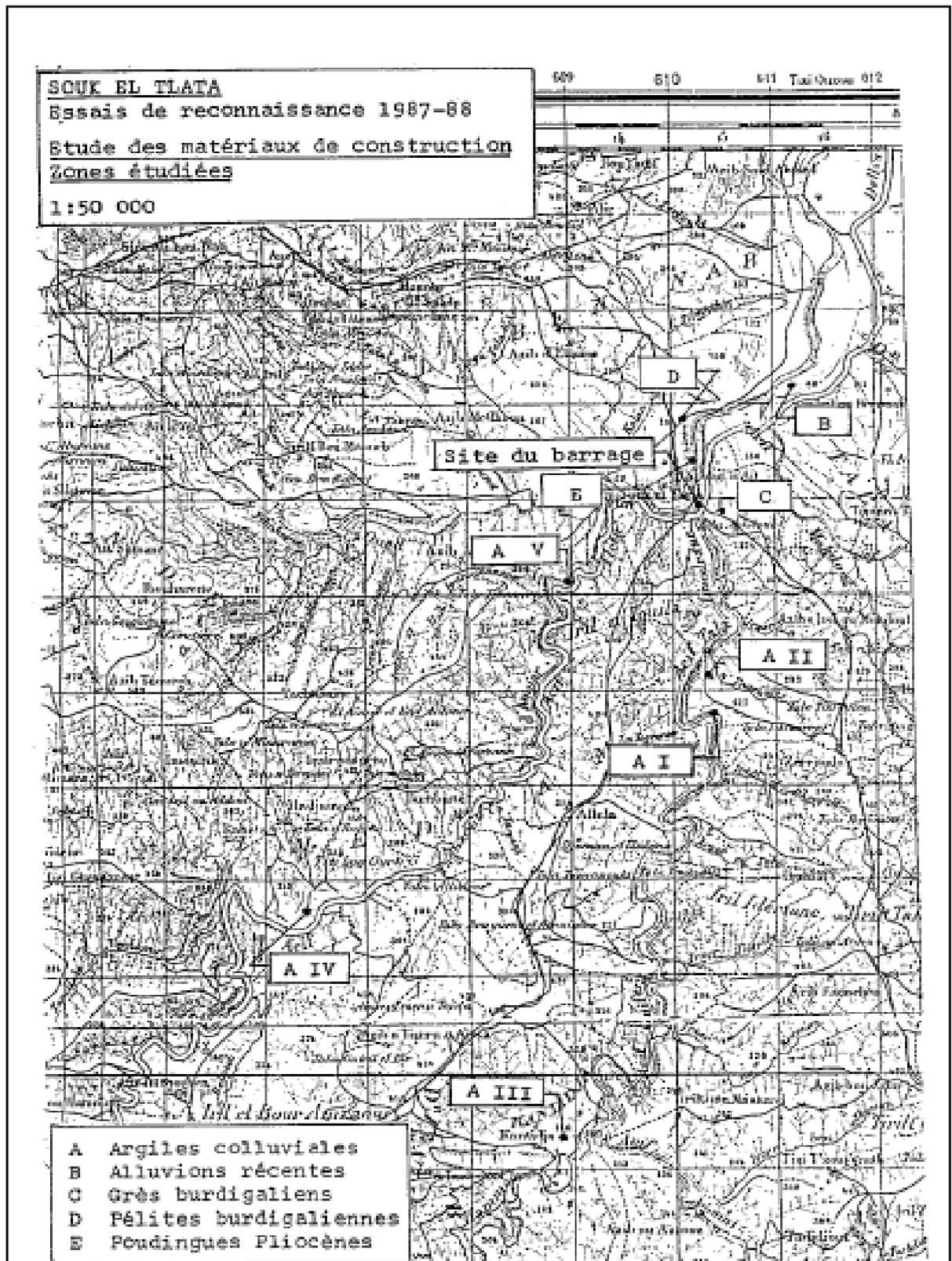


Figure I.10 : Situation des zones d'emprunts(ANBT)

b. Pélites**✚ Essai d'identification**

D'après la classification de Casagrande et à l'aide de l'abaque qui est basée sur le couple (IP-WL), ces pélites sont des argiles de haute plasticité (CH).

✚ Essais mécaniques**➤ Essai de compressibilité à l'oedomètre**

- ✓ L'indice de compression : $C_c = 6.9 \%$
- ✓ L'indice de gonflement : $C_g = 2.75\%$

Module de compressibilité : $E_0 = 50 \text{ Mpa}$

Ces résultats nous permettent de conclure qu'on est en présence d'un sol peu compressible, peu gonflant.

➤ Essai triaxial

Des essais triaxiaux consolidé et drainé sur des échantillons ont donné :

- ✓ La cohésion : $C' = 0,3 \text{ Kpa}$
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 24^\circ$

➤ Essai de perméabilité

Les échantillons qui ont été soumis à des essais de perméabilité ont démontrés que les pélites saines sont de faible à moyennes perméabilité ($K = 4.10^{-6} \text{ cm/s}$).

c. Grès burdigaliens

Ces sédiments sont largement représentés dans la zone du barrage.

✚ Essai d'identification

La classification des grès a été faite sur la base de la courbe granulométrique et de 2 limites d'Atterberg, il s'agit de limon argileux de plasticité moyenne (CL) (Annexe ; figure I.4).

✚ Essais mécaniques**➤ Essai triaxial**

Les résultats des essais triaxiaux sont les suivants :

- ✓ La cohésion : $C' = 150 \text{ Kpa}$
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 37^\circ$

➤ Essai de perméabilité

D'après les résultats obtenus au perméamètre, les grés ont une perméabilité faible à moyenne avec un coefficient de $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$.

d. Argiles colluviales**✚ Essai d'identification**

D'après la classification de casagrande et à l'aide de l'abaque qui est basée sur le couple (IP-WL), les argiles colluviales sont des limons argileux de moyenne plasticité (CL).

✚ Essais mécaniques**➤ Essai de compressibilité à l'oedomètre**

- ✓ L'indice de compression : $C_c = 15 \%$
- ✓ L'indice de gonflement : $C_g = 1.8\%$
- ✓ Module de compressibilité : $E_0 = 20 \text{ Mpa}$

D'après ces résultats, les argiles colluviales son moyennement compressible, peu gonflant.

➤ Essai triaxial

- ✓ La cohésion : $C' = 35 \text{ Kpa}$
- ✓ L'angle de frottement : $\varphi' = 18^\circ$

➤ **Essai Proctor**

Les paramètres moyens de compactage Proctor sont :

- ✓ La densité sèche optimum : $\gamma_{d\text{ opt}}(\text{KN/m}^3) = 18,3 \text{ t/m}^3$
- ✓ La teneur en eau optimum : $W_{\text{opt}} = 14.7 \%$
- ✓ Degré de saturation : $S_r = 83\%$

➤ **Essai de perméabilité**

Les résultats de perméabilité obtenus au perméamètre indiquent que les argiles colluviales ont une perméabilité faible à moyenne ($K = 1.10^{-6} \text{ cm/s}$).

e. Alluvions

Il s'agit de sédiments alluviaux actuels et récents des lits mineurs et majeurs de l'oued Bougdoura.

Ils ont les mêmes caractéristiques que les alluvions des fondations.

Conclusion :

Du point de vue topographique, le versant de rive gauche a une inclinaison moyenne de 35° et culmine sur une colline qui partage les Oueds Bougdoura et Aguer gour, tandis que celui de rive droite monte avec des pentes plus raides (environ 51°), jusqu'à la côte 234 m, ce qui nous amène à avoir une idée sur l'emplacement de l'évacuateur de crue du futur barrage qui verra naissance sur la rive gauche probablement.

En ce qui concerne la géologie et la géotechnique, la zone d'emprunt présente de bonne caractéristique géologique, dans notre cas notre fondation est constitué d'alluvion qui est un matériau assez perméable, donc l'excavation de ces alluvions est nécessaire pour arriver à la bonne roche.

Chapitre II

ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction

L'hydrologie est une science qui étudie la phase du cycle d'eau qui débute avec l'arrivée de celle-ci sur la surface de la terre. Elle englobe les précipitations, le ruissellement et les eaux souterraines. C'est une science particulière car elle regroupe plusieurs sciences fondamentales très diversifiées et à pour but de répondre aux problèmes concernant la ressource en eau. L'hydrologie offre à l'ingénieur des outils d'inventaire et d'analyse des données pour répondre à des besoins soit sur le plan de la conception des éléments d'un aménagement que sur celui de l'exploitation des systèmes.

Les études hydrologiques donc sont très indispensables. Elles ont pour objectif d'étudier les conditions de la réserve d'une part et d'autre part d'estimer la crue contre laquelle il est nécessaire de protéger l'ouvrage. Les études peuvent être basées sur la statistique si l'on dispose déjà d'un certain nombre d'années de mesures sur le site ou dans la région. A défaut, on appliquera les méthodes déterministes.

II.1 Le bassin versant

Un bassin versant est un espace géographique, dont les apports hydrique naturels, se dirige tous vers un seul point unique appelé exutoire.

Le bassin versant a pour fonction de recueillir les précipitations et les transformés en écoulement à l'exutoire.

Les pertes de cette transformation, dépendent d'une part des conditions climatologiques de ce dernier.

II.1.1 Caractéristiques physico-géographiques du bassin versant

Les caractéristiques physico-géographiques du bassin versant ont été situées sur l'oued Bougdoura en grande kabylie à 80 Km à l'est d'Alger.

Ses principaux affluents sont :

-  Assif Imedrane complètement au sud ;
-  Assif Tlata à la partie Sud-Est,
-  L'Oued Aguer gour à l'Est.

L'aménagement est avant tout destiné à renforcer d'une manière conséquente l'alimentation en eau potable des wilayas de Tizi Ouzou et Boumerdès, et permettra de couvrir également certains besoins d'irrigation locaux.

II.1.2 Caractéristiques physiques du bassin versant

II.1.2.1 Les caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques du bassin versant ont été obtenues à l'aide du logiciel Map-info et sur carte d'état major à l'échelle 1/50000.

La surface :

$$S = 534.2 \text{ km}^2 \rightarrow 534200 \text{ ha.}$$

La longueur du thalweg principale à partir du profil de l'oued:

$$L_p = 47 \text{ km.}$$

Le périmètre P du bassin versant ; est :

$$P = 112.1 \text{ km.}$$

Les figures (II.1) et (II.2) ci-dessous illustrent les résultats obtenus.

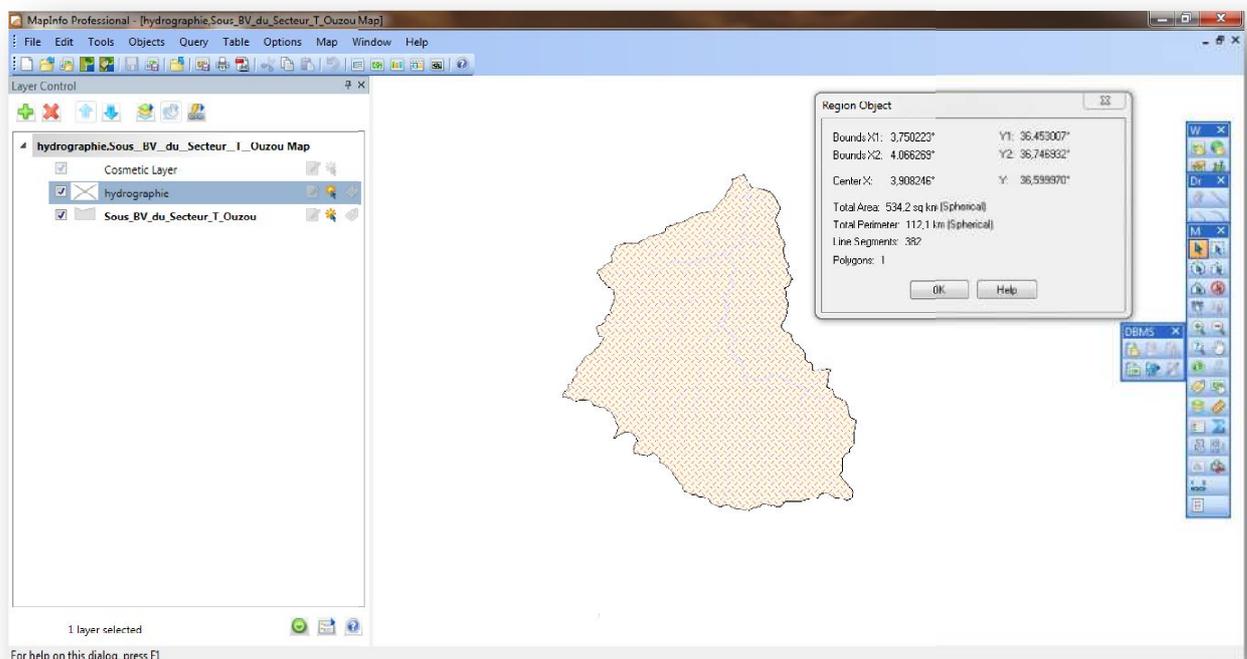


Figure II.1: Bassin versant oued Bougdoura

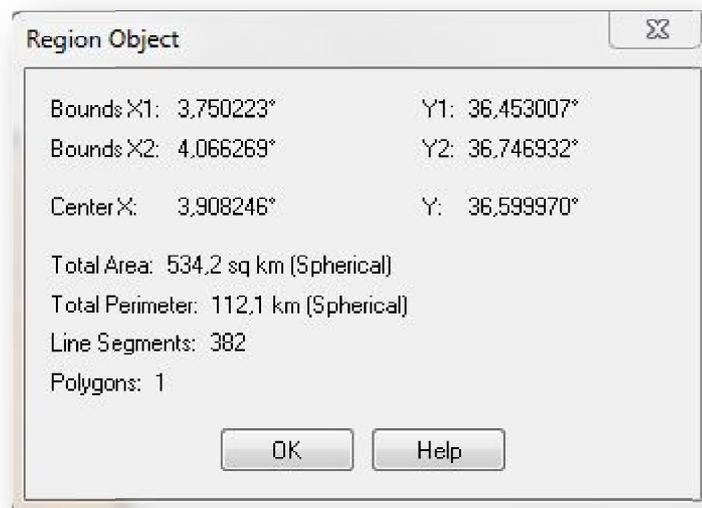


Figure II.2 : Caractéristiques géométrique.

II.1.2.2 Caractéristiques morphologiques

Indice de forme

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration.

En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe.

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, mais aussi de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) K_C , défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_C = \frac{P}{P_C} = \frac{P}{2\pi R} ; R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad P_C = 2\pi R = 2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad \dots\dots\dots (II.1)$$

$$K_C = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 1,30$$

P : périmètre du bassin versant (Km)

S : surface du bassin versant (Km²)

K_C : indice de Gravelius

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Soit :

$$K_C = 1,36.$$

Si $K_C = 1 \Rightarrow$ bassin ramassé

Si $K_C > 1 \Rightarrow$ bassin allongé

Selon la valeur de K_C on pourra dire que notre bassin est de forme allongé.

Coefficient d'allongement

Il est donné par la formule suivante :

$$K_P = \frac{P^2}{S} \quad \dots\dots\dots (II.2)$$

AN : $K_P = 23,52.$

II.1.3 Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius

Pour comparer le comportement hydrologique de deux bassins versants, on utilise la notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius.

Il s'agit d'une transformation purement géométrique où l'on assimile le bassin versant à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie. De cette manière les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, et l'exutoire est l'un de ces petits côtés.

Soient L et l les côtés du rectangle.

Le périmètre $P = (L + l) * 2$ (II.3)

$$S = L * l \quad \Rightarrow \quad l = \frac{S}{L}$$

Donc : (1) $\Leftrightarrow 2L + \frac{2S}{L} = P$ (II.4)

Or : $Kc = 0,28P/\sqrt{S} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{Kc*\sqrt{S}}{0,28}$ (II.5)

De (2) et (3) nous aurons : $\frac{Kc*\sqrt{S}}{0,28} = \frac{2*S}{L} + 2L$

Nous obtenons une équation du second ordre de la forme :

$$2 * L^2 - \frac{Kc*\sqrt{S}}{0,28} * L + 2S = 0$$

Elle admet comme solutions x_1 et x_2 .

Où :

L: longueur du rectangle équivalent en (Km)

l: largeur du rectangle équivalent en (Km)

On obtient : **L = 43,98 km** et **l = 12,14 km**

II.2 Paramètre du relief

Le relief conditionne de façon importante l'hydrologie d'un bassin versant, une pente forte entraîne un écoulement plus rapide donc un temps de concentration des débits plus court.

On caractérise souvent le relief par la courbe hypsométrique qui donne la répartition de la surface du bassin versant suivant l'altitude.

II.2.1 La courbe hypsométrique

Pour tracer la courbe hypsométrique, on porte sur l'axes d'ordonnées les altitudes moyennes partielles H_i et en abscisses le cumul des surfaces partielles S_i comprises entre deux tranches d'altitude successives choisies arbitrairement. Souvent les surfaces sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin versant.

On procède au classement des altitudes à l'aide du logiciel Arc-Gis (figure II.3).

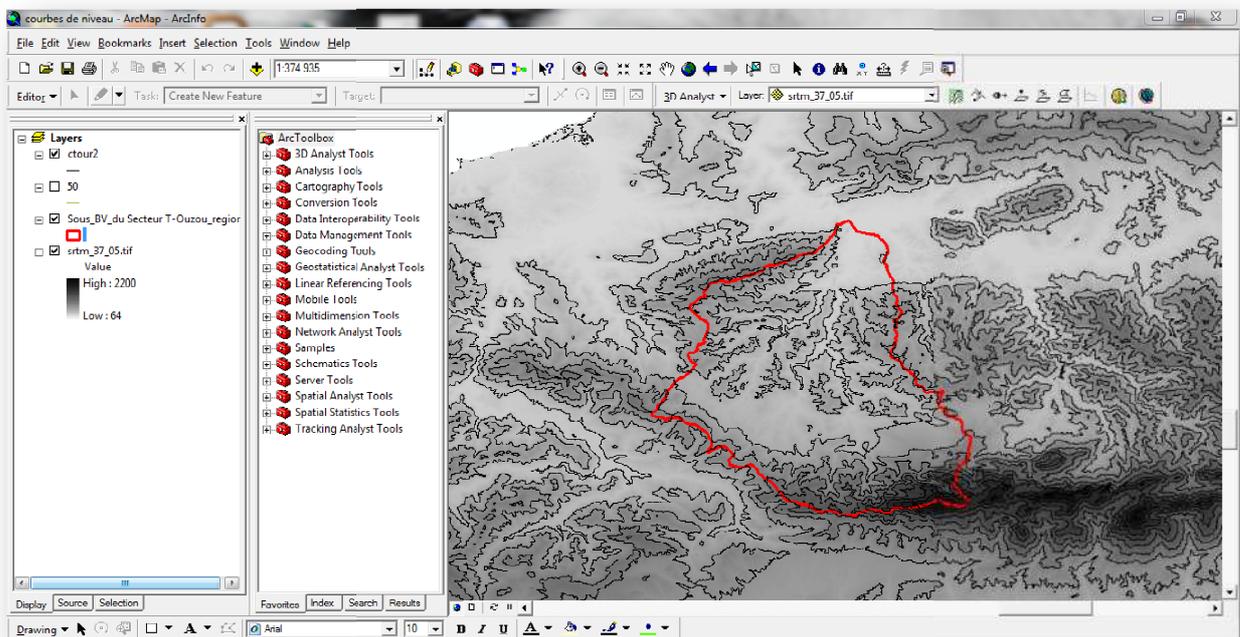


Figure II.3 : Classes d'altitudes.

Les résultats qui ont servi à la constitution de la courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Bougdoura sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II.1: Répartition altimétrique des superficies du bassin versant.

Classes d'altitudes	Hi moy	ai cumulée	% de sufrace cumulée
64-200	132	534.2	100
200-400	300	512	94,6
400-600	500	284	52,5
600-800	700	102	18,9
800-1000	900	60	11,1
1000-1200	1100	39	7,2
1200-1400	1300	24	4,4
1400-1600	1500	18	3,3
1600-1800	1700	8	1,5
1800-2000	1900	7	1,3
2000-2200	2100	2	0,4

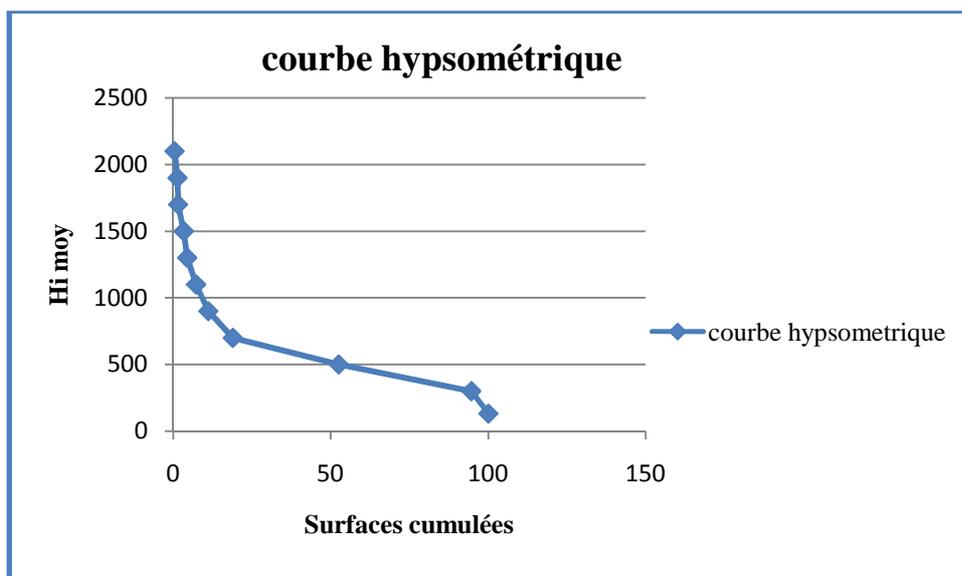


Figure II.3 : Courbe hypsométrique

On tire de la courbe hypsométrique :

L'altitude H5% = 1200 m ;

L'altitude H95% = 300 m ;

L'altitude médiane H50% = 500 m ;

L'altitude moyenne Hmoy = 494,5 m.

II.2.2 Altitude moyenne du bassin versant

Celle-ci est donnée par deux procédés :

Graphiquement

C'est l'ordonnée de la courbe hypsométrique correspondante à la surface 50%.

$$H_{\text{moy}} = 500 \text{ m NGA}$$

Analytiquement

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{S_i \cdot H_i}{S_{\text{bv}}}$$

S_i : surface partielle entre deux courbes de niveaux (Km^2)

H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m)

S : Superficie du bassin versant (Km^2)

$$H_{\text{moy}} = 494,5 \text{ m NGA.}$$

II.2.3 Altitude médiane

L'altitude médiane est H_{med} est lue sur la courbe hypsométrique :

$$H_{50\%} = 500 \text{ m NGA.}$$

II.3 Indice de pente global

L'indice global de pente évalue le relief. De la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la superficie du bassin. On en déduit les altitudes H5% et H95% entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin. Il est égal à :

$$I_g = \frac{D}{L} \quad \dots\dots\dots \text{(II.6)}$$

Où

D : est la dénivelé ; $D = H_{5\%} - H_{95\%}$;

L : est la longueur du rectangle équivalent ;

D'où :

$$I_g = 20,46 \text{ m/km}$$

D'après la classification de l'ORSTOM, nous pouvons classer notre relief, le tableau ci-dessous illustre les différents types de relief.

Tableau II.2 : Classes de relief avec leurs descriptions.

Classes de relief	Descriptions	Pentes en m/km
Pf	Pente faible	$2 < I_g < 5$
Pm	Pente modérée	$5 < I_g < 10$
Paf	Pente assez forte	Pente longitudinale : $20 < I_g < 50$ Pente transversale : $80 < I_g < 200$
Ptf	Pente très forte	Pente longitudinale : $I_g > 50$ Pente transversale : $I_g > 200$

Conclusion : le bassin versant d'oued Bougdoura a une Pente assez forte.

II.4 Indice de pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration, et influence directement le débit de point lors d'une averse.

$$I_m = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \dots\dots\dots (II.7)$$

$$I_m = \frac{2150 - 64}{43980}$$

Donc : **$I_m = 0.047 \text{ m/km} \rightarrow 4.74 \%$**

II.5 Dénivelée spécifique

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quelque soit sa surface. Elle est donnée par la formule :

$$D_s = I_g \sqrt{S} \quad \dots\dots\dots (II.8)$$

Tableau II.3: Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

R1	Relief très faible	DS<10m
R2	Relief faible	10m<DS<25m
R3	Relief assez faible	25m<DS<50m
R4	Relief modéré	50m<DS<100m
R5	Relief assez fort	100m<DS<250m
R6	Relief fort	250m<DS<500m
R7	Relief très fort	DS>500m

$$D_s = 472,97 \text{ m.}$$

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin Acif Tleta se trouve dans la classe R6: donc Relief Fort.

II.6 Temps de concentration

C'est le temps que mettra la première goutte d'eau tombée au point hydrologiquement le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire.

Nous avons plusieurs formules pour son calcul :

II.6.1 La formule de GIANDOTTI

$$T_c = \frac{\sqrt[4]{S+1,5L_p}}{0,8*\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \dots\dots\dots (II.9)$$

Où : S : surface du bassin versant : S = 534,2 Km²
 Lp : longueur du thalweg principale : Lp = 47 Km
 Hmoy : altitude moyenne du BV : Hmoy= 494,5 m
 Hmin : altitude minimale du BV : Hmin= 64 m

AN : **Tc = 4,53 heures.**

II.6.2 La formule de POSSINI

$$T_c = 4 * \left(\frac{S*L}{10*Im^{3/2}}\right)^{1/4} \dots\dots\dots (II.10)$$

Où : Im : pente moyenne du cours d'eau (m/km).
 S : superficie du BV =534,2 Km
 Lp : longueur du thalweg principal=47 Km.

Im= 45,70 m/Km

AN : **Tc = 6,75 heures.**

II.6.3 La formule de CALIFORNIA

$$T_c = \frac{0,87*L_p^3*0,386}{H_{max}-H_{min}} \dots\dots\dots (II.11)$$

AN : **Tc = 16,71 heures.**

Conclusion :

En se basant sur les caractéristiques physiques de bassin versant, on adopte la formule de GIANDOTTI qui semble donner des résultats satisfaisants en AFRIQUE du NORD, donc :

$$Tc = 4,35h.$$

II.7 Caractéristiques hydrographiques

II.7.1 Chevelu hydrographique

Après la classification de Horton qu'on a effectué sur le chevelu hydrographique du bassin versant de l'Oued Bougdoura Figure II.4, nous avons obtenues les résultats suivant :

Tableau II.4 : Nombres et longueurs des thalwegs

ordre des thalwegs	nombre de thalwegs	longueurs totale en km
1	50	188,62
2	35	107,47
3	13	59,57
4	2	27,22

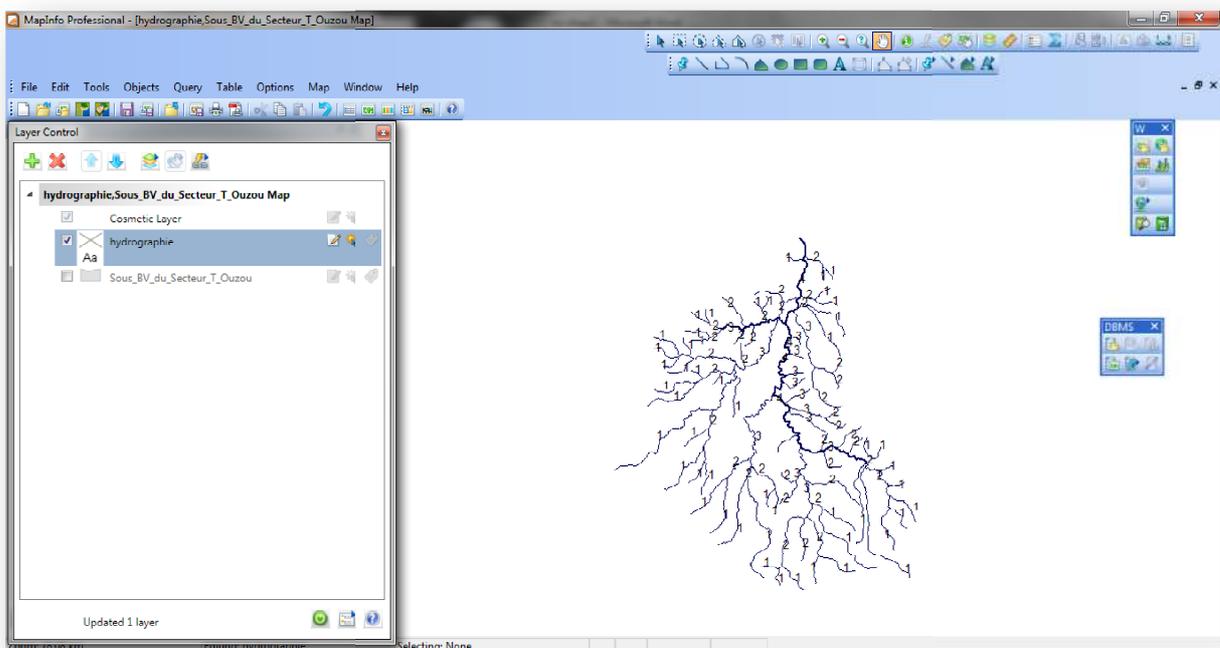


Figure II.4 : Chevelu hydrographique.

II.7.2 Rapport de confluence

Le rapport de confluence Rc est le rapport du nombre de thalwegs d'ordre (x) par celui des thalwegs d'ordre (x+1).

On a :

$$\frac{N3}{N4} = 6,5. \quad \frac{N2}{N3} = 2,69. \quad \frac{N1}{N2} = 1,42$$

La moyenne est égale à 3,54

D'où on prend : **Rc = 4.**

II.8 Vitesse moyenne de ruissellement

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$Vr = \frac{Lp}{Tc} \dots\dots\dots (II.12)$$

Lp : longueur du talweg principale.

TC : temps de concentration.

$$Vr = \frac{47}{4.35} = 10,80 \text{ Km/h .}$$

II.9 Densité de drainage

La densité de drainage (Dd) représentant les longueurs des cours d'eau de tous les ordres divisée par la superficie du bassin versant.

$$Dd = \frac{\sum Li}{S} \dots\dots\dots (II.13)$$

$\sum Li$: longueur total des talwegs d'ordre i en (Km) $\sum Li = 1149,42 \text{ Km.}$

S: surface du bassin versant en (Km²).

$$Dd = 2,15 \text{ km/km}^2.$$

II.10 Coefficient de sinuosité

Ce coefficient est donné par la formule suivante :

$$C_s = L_d / L_p \quad \dots\dots\dots (II.14)$$

L_d : distance rectiligne mesuré à la règle de la source jusqu'à l'exutoire $L_d=38$ km

L_p : longueur du talweg principal.

$$C_s = 0,80.$$

Tableau II.5 : des caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant

DESIGNATION		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	Km ²	534.2
Périmètre		P	Km	112.1
Longueur du thalweg le plus long		Lp	Km	47
Indice de compacité		Kc	-	1,36
Coefficient d'allongement		Kp	-	23,52
Rectangle équivalent	Longueur	L	Km	43,98
	Largeur	l	km	12,14
Altitudes	Minimale	Amin	m	64
	Maximale	Amax	m	2150
	Moyenne	Amoy	m	494,5
Dénivelée spécifique		Ds	m	472,97
Indice de pente globale		Ig	m/km	20,46
Indice de pente moyenne		Im	%	4,74
Densité de drainage		Dd	Km/km ²	2,15
Temps de concentration		Tc	h	4,35
Vitesse de ruissellement		Vr	Km/h	10,80
Coefficient de sinuosité		Cs	-	0,80

II.11 Caractéristique climatique

II.11.1 Climat

La région de Bougdoura, sous domaine de la grande Kabylie, bénéficie d'un climat du type méditerranéen à hiver frais et pluvieux et Eté sec et chaud.

Elle est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie .en effet, la moyenne des précipitations annuelle varie entre 700 et 1300 mm.

Le bassin versant présent de grandes variations altimétriques.les sommets du grand massif du Djurdjura dépassent les 2000 m.

II.11.2 Température :

Les températures maximales et minimales observées à la station de Tizi-Ouzou étendues sur les dix d'dernières années sont représentées dans le tableau II.6.

Tableau II.6 : Répartition mensuelle de la température.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
T min(°C)	1,6	2,4	3,3	5,5	8,7	13,1	17,1	18	14,1	10,4	5,6	3	8,6
Tmax(°C)	20,8	23,6	28,6	30,6	34,6	39,8	43	42,5	38,4	35,3	27,2	22,4	32,2

La figure (II.5) montre la répartition mensuelle des températures min et max prélevées à la station de Tizi-Ouzou au dix dernières années.

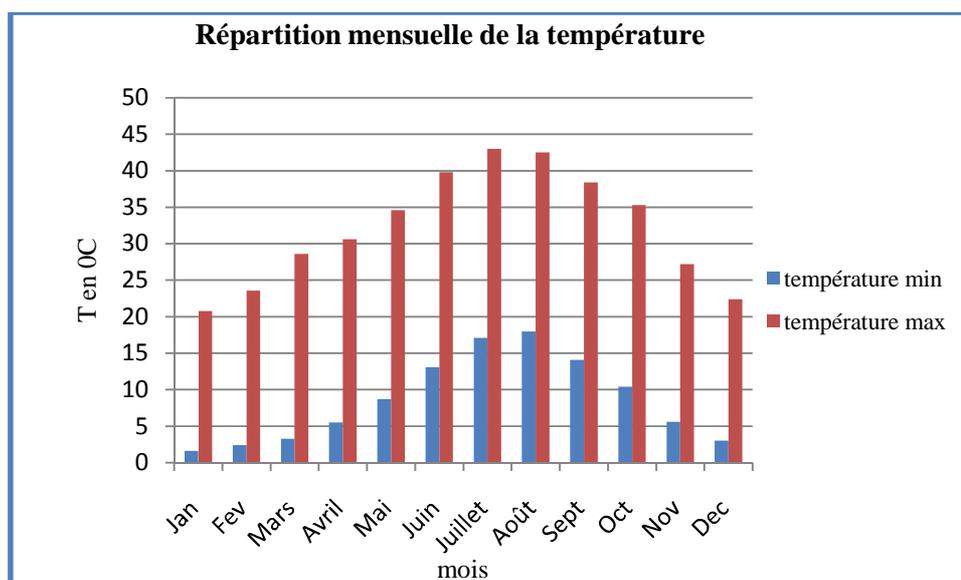


Figure II.5 : Répartition mensuelle de la température

La température descend au dessous de 5°C en hiver alors, qu'en Eté elle dépasse 30°C en général. La température moyenne du BV est 20°C.

II.11.3 Evaporation

Elle a été obtenue grâce à un bac Colorado standard situé à la station de Tizi-Ouzou. Elle est estimée à 1530 mm/an.

Les évaporations moyennes de chaque mois sont représentées dans le tableau (II.7)

Tableau II.7 : Répartition mensuelle de l'évaporation.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total (mm)
Evap (mm)	30	60	90	120	150	180	225	240	180	120	90	45	1530

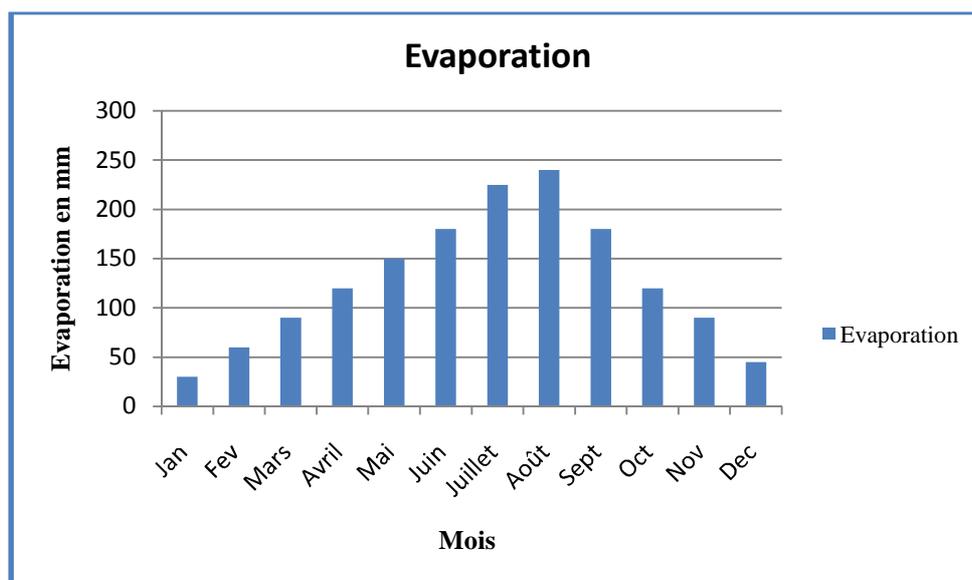


Figure II.6 : Répartition mensuelle de l'évaporation

II.11.4 Humidité

L'humidité relative varie entre 40% et 50% en Eté et 75% à 80% en Hivers.

Les valeurs de l'humidité max et min ont été obtenues au niveau de la station de Tizi-Ouzou sont représentées dans le tableau(II.8).

Tableau II.8 : Répartition mensuelle de l'humidité.

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.	Moyenne
Humidité min %	57	52	48	48	46	35	30	31	38	43	52	59	44,92
Humidité max %	93	93	92	92	91	84	78	80	85	90	93	94	89

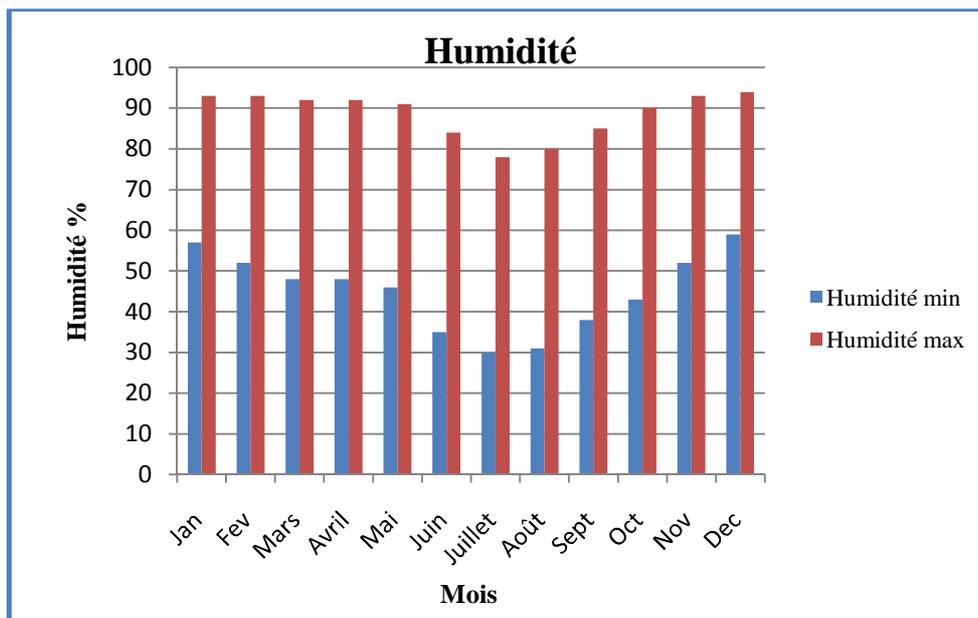


Figure II.7 : répartition mensuelle de l'humidité

II.11.5 Vents

Les vents de la région ont une direction dominante Ouest et Sud-Ouest pendant toute l'année.

Les valeurs ci-dessous ont été obtenues a la station de Tizi-ouzou tableau(II.9).

Tableau II.9 : Répartition mensuelle de la vitesse du vent

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Moyenne
Vent m/s	1,3	1,3	1,6	1,7	1,7	2,1	2,2	2	1,5	1,3	1,3	1,3	1,6

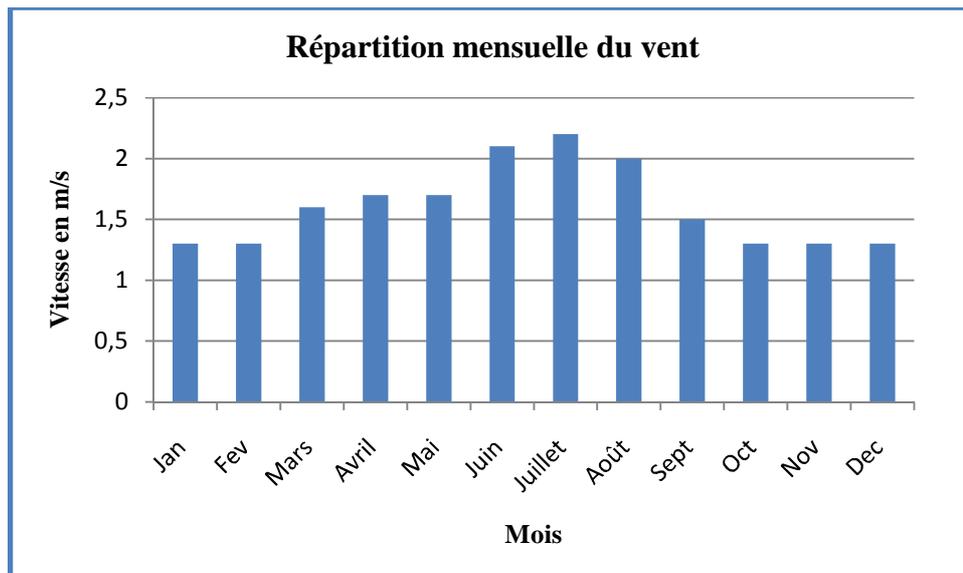


Figure II.8 : Répartition mensuelle du Vent

II.12 Étude pluviométrique

L'étude des averses revêt une importance capitale en hydrologie non seulement dans le dimensionnement des ouvrages en assainissement urbain et rural mais aussi dans l'étude des crues et la construction des hydrogrammes probables. La connaissance de la pluie probable est indispensable voir obligatoire pour la détermination du ruissellement. Le bassin versant de l'oued Bougdoura dispose de sept stations hydrométriques. Les données pluviométriques utilisées sont celle des sept stations de la région, qui ont a leurs actif 34 années d'observations pour les pluies maximales d'observations pour les pluies annuelles.

II.12.1 Données disponible

Les données de base pluviométriques disponibles dans la région d'étude ont été sélectionnées à partir du réseau d'observation de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Les pluviométries annuelles des sept stations sont représentées dans l'Annexe (Tableau II.1).

II.12.2 Analyse des pluviométries annuelles

✚ **Traitement statique des données**

➤ **Valeurs caractéristiques :**

✓ **Moyenne arithmétique**

$$\bar{P} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n P_i \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

✓ **Écart type**

$$\delta_{n-1} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - \bar{P})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (II.16)$$

✓ **Coefficient de variation :**

$$Cv = \frac{\delta}{\bar{P}} \quad \dots\dots\dots (II.17)$$

Les résultats montrent que les valeurs des coefficients de variation sont inférieurs à 0.5, les séries s’ajusteraient alors à une loi normale et ceci témoigne de l’homogénéité des précipitations annuelles.

✚ **Calcul de la lame d’eau précipitée**

Il existe plusieurs méthodes de calcul de la pluviométrie moyenne annuelle dont le but est de connaître la lame d’eau précipitée à l’échelle du bassin versant. Nous utiliserons les trois (3) méthodes suivantes :

➤ **Méthode arithmétique**

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i}{N} \quad \dots\dots\dots(II.18)$$

Avec :N :nombre de station (n=7).

Pi :Pluviométrie moyenne annuelle de la station i.

AN : **$\bar{P} = 709,92 \text{ mm.}$**

➤ Méthode des polygones de Thiessen

Sur la carte , nous relient les différentes stations par des droites dont les médiatrices correspondantes déterminent un certain nombre de polygones autour de chaque poste pluviométrique. Chaque station appartenant au bassin versant sera caractérisée par une surface exprimée en km² et une pluviométrie annuelle calculée préalablement.

La région est décomposée en sept (07) secteurs. Le planimétrage de cette région nous donne les résultats exprimés dans le tableau II.10 :

Tableau II.10 : Superficie des polygones de Thiessen

Zone	Station	Pi(mm)	Si(Km ²)	Pi*Si
1	Tizi-Meden	718,69	80,3	57710,807
2	Draâ El mizan	694,71	45,8	31817,718
3	Boghni	706,6	84,8	59919,68
4	Ain Zaouia	611,28	86	52570,08
5	Nezlioua	764,9	32,7	25012,23
6	Tizi-Letnine	714,89	44	31455,16
7	Souk-Tleta	758,38	160,6	121795,83

En supposant que la pluviométrie moyenne annuelle de chaque station est uniformément répartie sur le secteur correspondant, la hauteur de la lame d'eau sur l'ensemble du bassin versant est donnée par :

$$\bar{P} = \frac{\sum Pi*Si}{S} \dots\dots\dots(II.19)$$

Avec :

Pi : Pluviométrie moyenne annuelle du secteur d'indice i.

S : Surface totale du bassin versant.

Si : Surface du secteur i.

Après calcul on a : **$\bar{P} = 711,87 \text{ mm.}$**

➤ **Méthode des isohyètes**

Les isohyètes sont définies comme le lieu des points d’égale hauteur de précipitation pour une période considérée. Pour tracer de telles courbes, il faut implicitement effectuer des interpolations entre les postes pluviométriques.

Les cartes isohyètes sont tracées en joignant les points d’égales précipitations. Ceci nécessite une très bonne connaissance de l’environnement général du bassin versant.

La valeur de la précipitation moyenne sur la surface S est donnée par la moyenne Pondérée.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} S_i * P_i}{\sum_{i=1}^{i=n} S_i} \dots\dots\dots (II.20)$$

P_i : Moyenne pluviométrique entre deux isohyètes successives,

S_i : La surface délimitée par ces deux isohyètes, et par le contour du bassin versant.

Tableau II.11 : Précipitation moyennes par la méthode des isohyètes.

Intervalles inter-isohyètes	P _i (mm)	S _i (km)	P _i *S _i
825-828,7	826,85	0,2	165,37
800-825	812,5	8,5	6906,25
775-800	787,5	95,6	75285
750-775	752,5	122,7	92331,75
725-750	727,5	70,3	51143,25
700-725	712,5	65	46312,5
675-700	687,5	48	33000
650-675	662,5	33,9	22458,75
625-650	637,5	28,2	17977,5
600-625	612,5	4,9	3001,25
somme	/	477,3	348581,62

Après calcul on a : **$\bar{P}=730,31$ mm.**

Conclusion:

La pluviométrie moyenne donnée par les trois méthodes est 717,36 mm. La station représentative est la station de Tizi-Meden de code 021901.

II.12.2 Pluies moyennes annuelles :

La pluie moyenne annuelle a été précédemment calculé, elle est de 717,36 mm annuelle, la station qui est prise en compte pour le calcul de la pluviométrie dans est la station de Tizi-Meden. La figure (II.9) ci-dessous montre la répartition des pluies annuelles moyennes prélevées à la dite station par l'Office National de Météorologie(O.N.M).

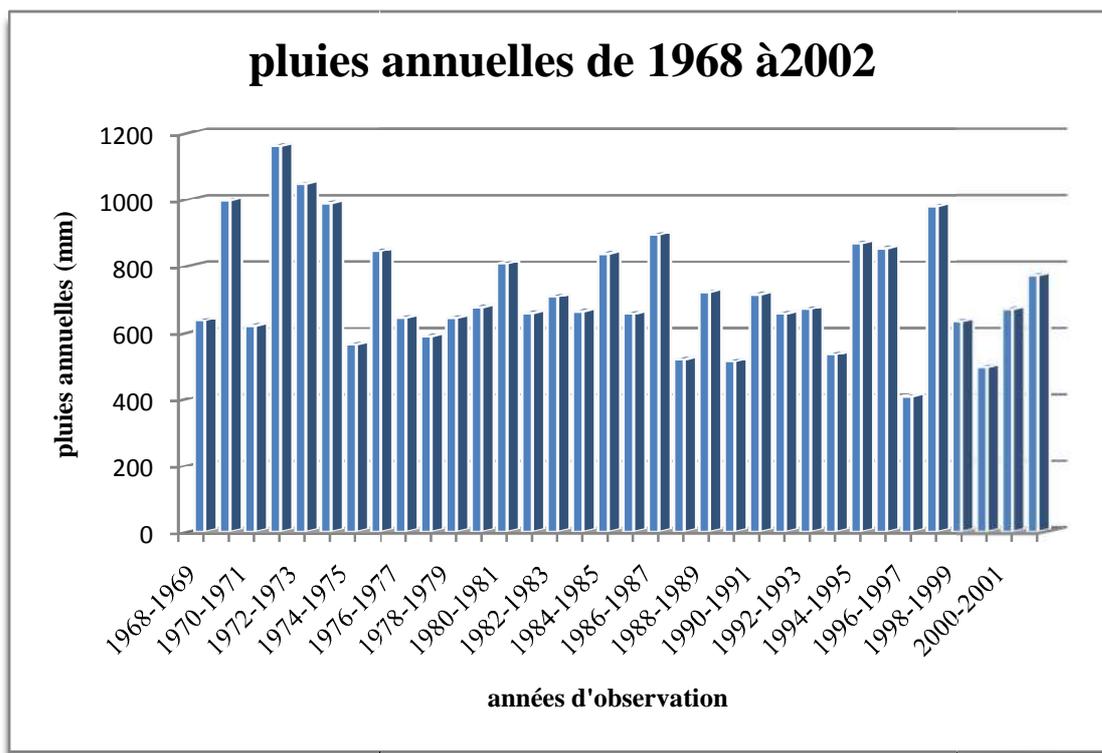


Figure II.9 : La répartition des pluies annuelles moyennes de 1968 à 2002 (Tizi Meden)

II.12.3 Pluies moyennes mensuelles

Les pluies moyennes mensuelles ont été prélevées sur la même station (Tizi-Meden), la série des pluviométries mensuelles est représenté dans l'Annexe (Tableau II.2).

La figure (II.10) représente la répartition des pluies moyenne mensuelles de la dite station.

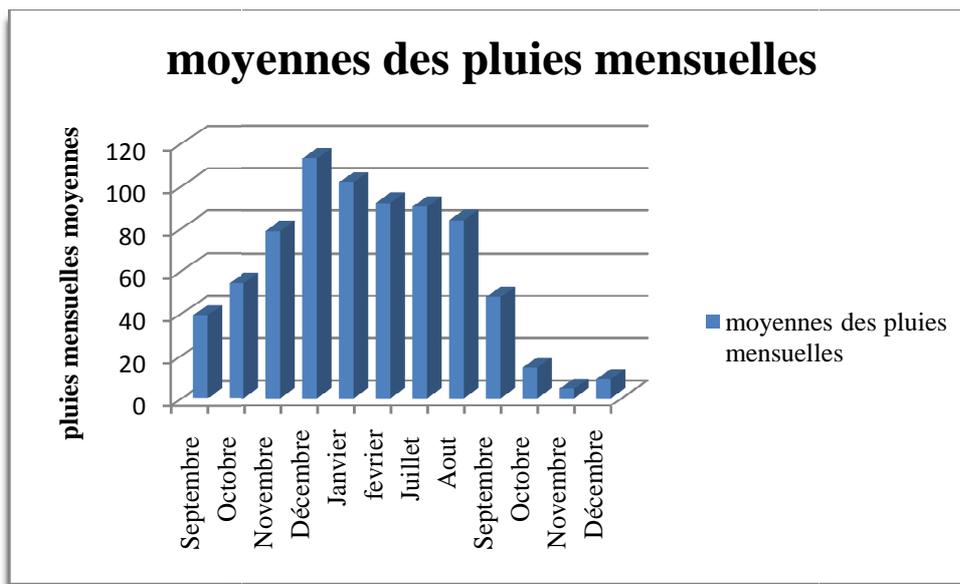


Figure II.10:Pluies moyennes mensuelles.

II.12.4 Pluies journalières maximales ONM :

Les pluies maximales journalières (Pjmax) de fréquences rares causent des crues exceptionnelles contre lesquelles il faut prémunir les ouvrages. Pour leur évaluation, nous avons recours aux séries d'observations des Pjmax de la station de Tizi-Meden.

Tableau II.12 : Caractéristiques de la station pluviométrique de Tizi-Meden.

Nom		Tizi-Meden
Organisme (Source)		Office Nationale de la Météorologie (ONM)
Code de la station		021901
Coordonnés	X (m)	612,55
	Y (m)	361,15
Altitude (m)		250
Nombres d'années observées		38 ans
Observations		Station en fonctionnement

Tableau II.13 : Pluies journalières maximales observées à Tizi-Meden (1970-2009)

Années	Pj max	Années 2	Pj max
1970	59	1992	71,1
1971	114	1993	38,2
1972	80,4	1994	57
1973	96,1	1995	70,7
1974	61,2	1996	22,8
1975	59,6	1997	95
1976	56,1	1998	42,7
1977	36,7	1999	58,8
1978	48,4	2000	61,5
1979	49,6	2001	32,7
1980	75	2002	84,5
1981	59,6	2003	67,8
1982	30,8	2004	53,6
1983	47,8	2005	55,1
1984	59,76	2006	70,8
1985	99,1	2007	65,1
1986	50,2	2008	62
1987	32,6	2009	40,9
1988	45,4	N	40
1989	43,9	\bar{P}_j	58,65
1990	52,6	σ	19,88
1991	52,4	Cv	0,34

N : taille de la série ;

\bar{P}_j : pluie journalière maximale moyenne ;

σ :écart type ;

Cv : coefficient de variation ;

Ajustement à la loi de Gumbel :

Tableau II.14 : Pluies journalières maximales fréquentielles.

Période de Retour (ans)	Probabilité d'occurrence	Pluie journalière maximale fréquentielle mm
2	0,5	59
5	0,8	75,6
10	0,9	84,3
20	0,95	91,5
50	0,98	99,6
100	0,99	105
1000	0,999	120
10000	0,9999	132

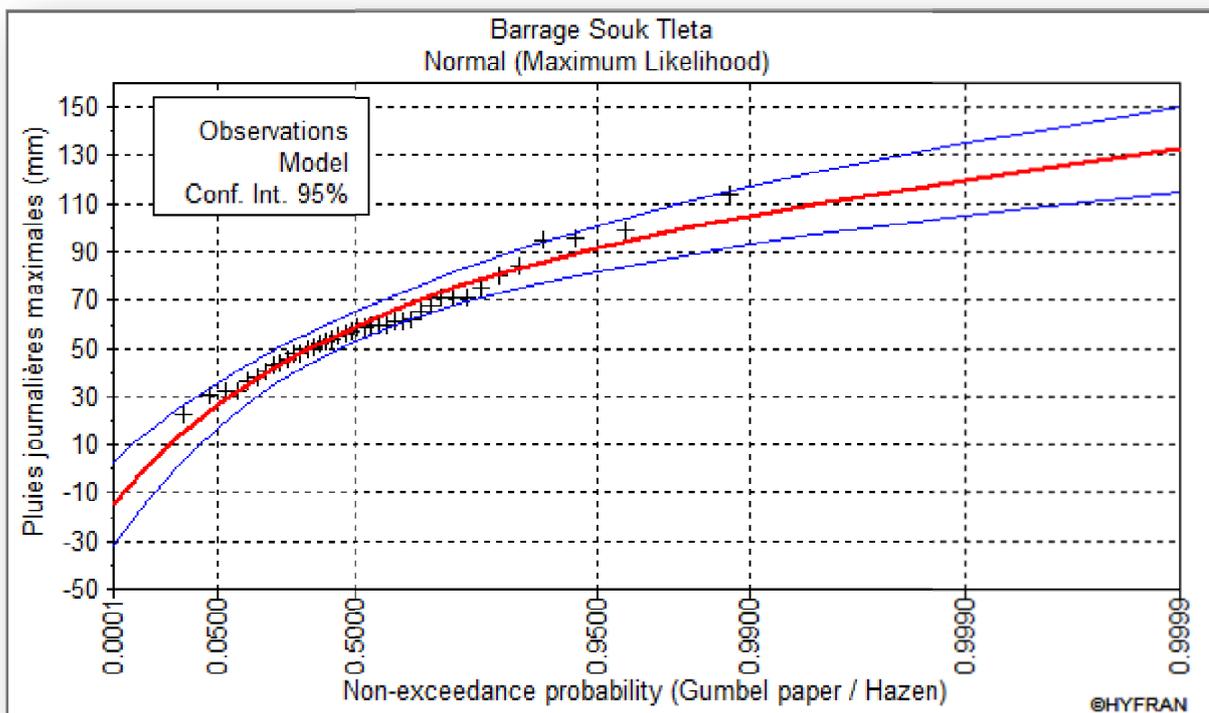


Figure II.11 : ajustement à la loi de Gumbel des pluies journalières maximales observées à Tizi-Meden de 1970 à 2009

✚ Ajustement à la loi Normal :

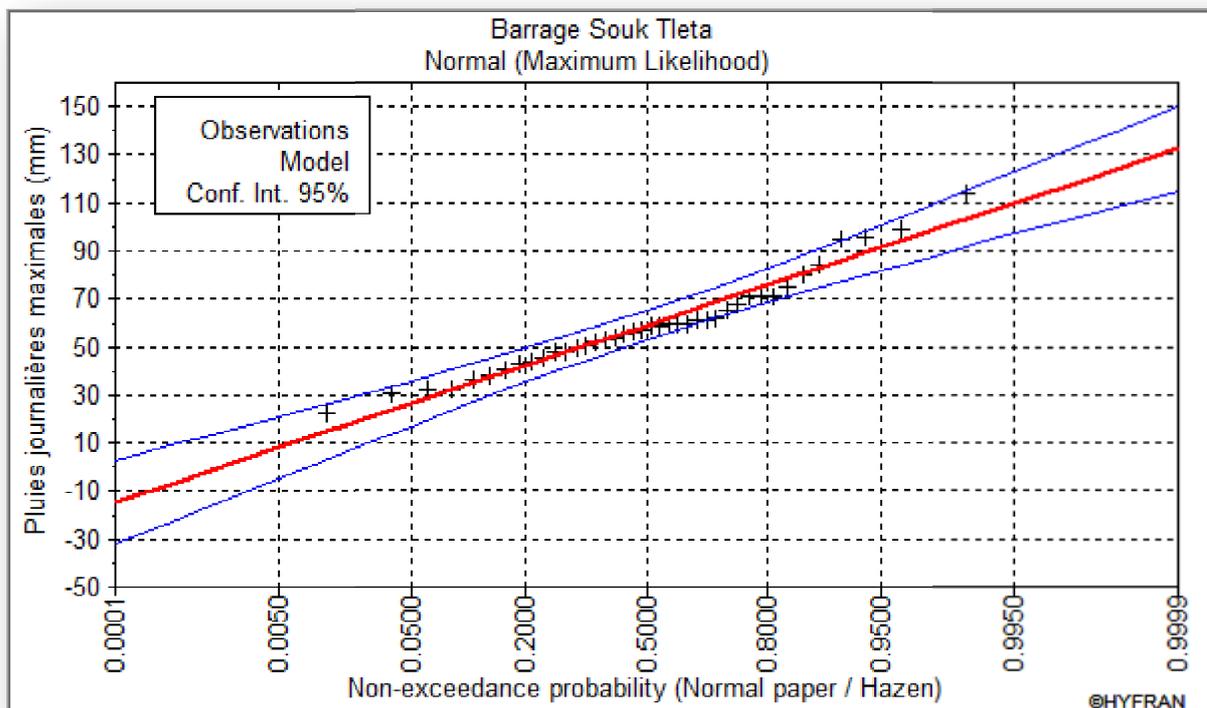


Figure II.12 : ajustement à la loi Normal des pluies journalières maximales observées à Tizi-Meden de 1970 à 2009

Conclusion : la loi de Gumbel et la loi Normal ajustent bien notre échantillon.

II.12.5 Pluies de courtes durées

La pluie journalière peut dans certain cas, sous l’effet d’interactions pluviomorphologique transformer en pluie de courte durée. Ces pluies servent au calcul des crues.

Leur répartition statistique a été déterminée par la formule de « BODY »

$$P_t = P_{jmax} \times \left(\frac{t_i}{24}\right)^b \dots\dots\dots(II.21)$$

Avec :

Pt : pluie de courte durée pour une fréquence donnée

Pjmax : pluie journalière maximale pour une fréquence donnée

ti : temps considère en heure

b : exposant climatique égale 0,47

Tableau II.15 : Pluies de courte durée

	période de retour	2	5	10	20	50	100	1000	10000
t(h)i	Pjmax	59	75.6	84.3	91.5	99.6	105	120	132
0.25		6.91	8.85	9.87	10.71	11.66	12.29	14.04	15.45
0.5		9.56	12.26	13.67	14.83	16.15	17.02	19.45	21.40
1		13.25	16.98	18.93	20.55	22.36	23.58	26.95	29.64
2		18.35	23.51	26.22	28.46	30.98	32.66	37.32	41.05
3		22.20	28.45	31.72	34.43	37.48	39.51	45.16	49.67
4		25.42	32.57	36.32	39.42	42.91	45.23	51.7	56.86
4.35		26.44	33.88	37.78	41.00	44.63	47.05	53.77	59.15
5		28.23	36.17	40.33	43.78	47.65	50.23	57.41	63.15
7		33.06	42.37	47.24	51.28	55.82	58.84	67.25	73.97
10		39.10	50.10	55.86	60.63	66.00	69.58	79.52	87.47
15		47.31	60.62	67.59	73.36	79.86	84.19	96.22	105.84
18		51.54	66.04	73.64	79.93	87.00	91.72	104.82	115.31
22		56.64	72.57	80.92	87.83	95.61	100.79	115.19	126.71
24		59	75.6	84.3	91.5	99.6	105	120	132

II.12.6 Intensités de courtes durées

Une averse est définit comme un épisode pluvieux continu, pouvant avoir plusieurs pointes d'intensité. L'intensité moyenne d'une averse s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée et la durée t de l'averse :

$$Imoy = \frac{H}{t} \dots\dots\dots (II.22)$$

Où, Imoy : est l'intensité maximale de la pluie (mm/h) ;

Cette notion d'averse est très importante en milieu urbain pour la détermination des débits des eaux pluviales et des petits bassins versants pour l'évaluation des débits de crues.

Le temps de retour est fonction du type d'ouvrage à dimensionner ou à protéger et la durée est fonction du type de problème étudié. Les calculs ont donné les résultats présentés ci après pour les périodes de retour (2 ans, 5ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans, 1000 ans et 10000 ans) et pour des durées d'averse de 15 min jusqu'à 1jour.

Tableau II.16 : Intensité de courtes durées

Durée de l'averse	Période de retour							
	2 ans	5ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans	10000 ans
0.25	27.64	35.40	39.48	42.84	46.64	49.16	56.16	61.80
0.5	19.12	24.52	27.34	29.66	32.30	34.04	38.90	42.80
1	13.25	16.98	18.93	20.55	22.36	23.58	26.95	29.64
2	9.18	11.76	13.11	14.23	15.49	16.33	18.66	20.53
3	7.40	9.48	10.57	11.48	12.49	13.17	15.05	16.56
4	6.36	8.14	9.08	9.86	10.73	11.31	12.93	14.22
4.35	6.08	7.79	8.69	9.43	10.26	10.82	12.36	13.60
5	5.65	7.23	8.07	8.76	9.53	10.05	11.48	12.63
7	4.72	6.05	6.75	7.33	7.97	8.41	9.61	10.57
10	3.91	5.01	5.59	6.06	6.60	6.96	7.95	8.75
15	3.15	4.04	4.51	4.89	5.32	5.61	6.41	7.06
18	2.86	3.67	4.09	4.44	4.83	5.10	5.82	6.41
22	2.57	3.30	3.68	3.99	4.35	4.58	5.24	5.76
24	2.46	3.15	3.51	3.81	4.15	4.38	5.00	5.50

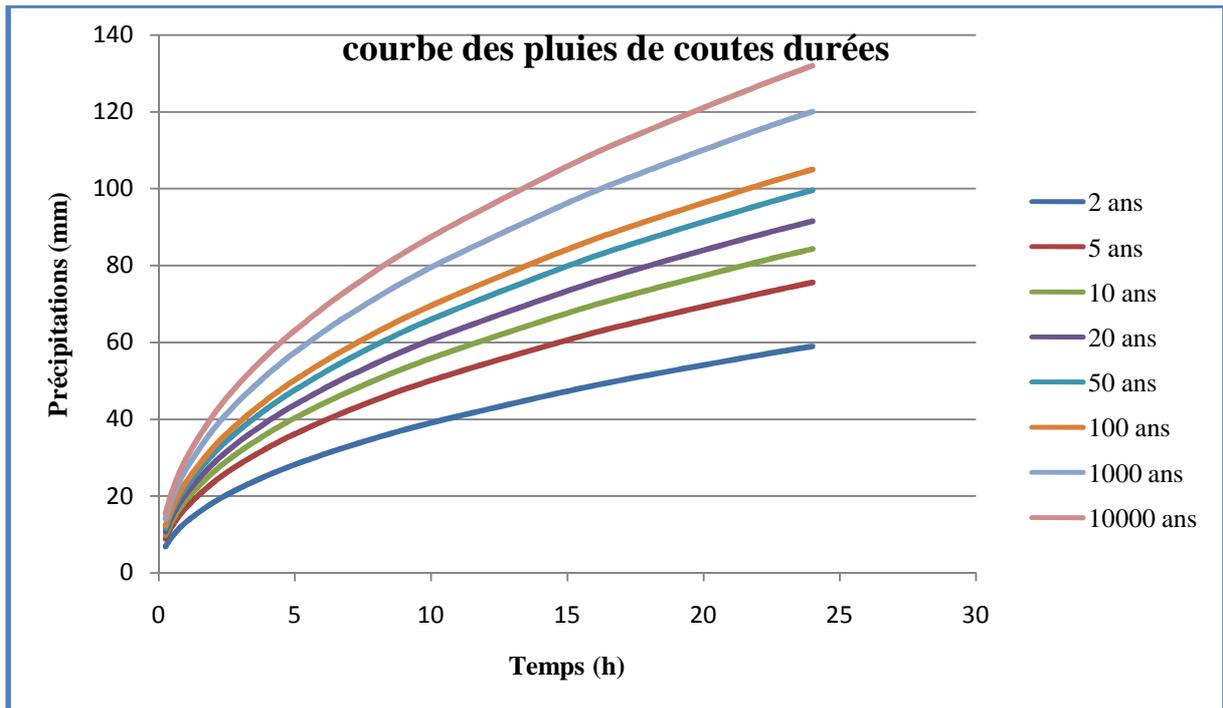


Figure II.13.: Courbe des pluies des courtes durées

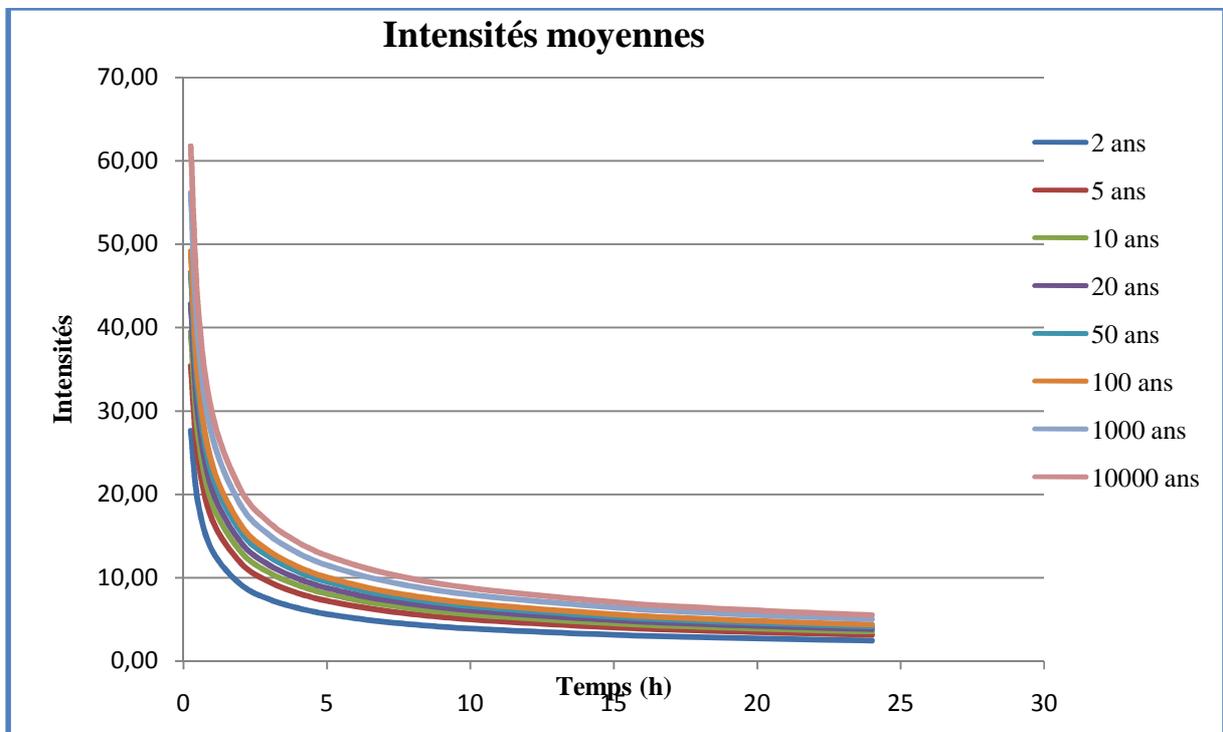


Figure II.14 : Courbes (intensité- durée-fréquence)

Conclusion :

Les courbes Intensité – Durée – Fréquence ou appelé aussi courbe IDF sont construites dans le but de permettre, de synthétiser l'information pluviométrique au droit de la station représentative de la zone d'étude et, d'autre part de calculer succinctement les débits de projet et d'estimer les débits de crue et des eaux pluviales.

Chapitre III

ETUDE DES APPORTS

Introduction

L'étude des apports relève une importance capital dans le dimensionnement et le suivit de notre ouvrage, en effet elle se divise en deux phase essentielle, l'étude des apports liquide qui as pour but la détermination du niveau normal de le retenue et l'étude des apports solide qui ont pour but de déterminer le volume mort de la retenue.

III.1 Les apports liquides

On appelle apport liquide toute quantité d'eau qui arrive à l'exutoire par an.

Pour l'estimation de l'apport moyenne annuel au barrage de SOUK TLETA, on utilise deux méthodes de calcul à savoir :

- ✚ Méthode arithmétique.
- ✚ Méthodes pseudo empiriques.

➤ Détermination de l'apport liquide moyen interannuel

✚ Méthode arithmétique

Nous avons obtenu une série d'apports liquides de 35 années (1950 – 1985)

La moyenne interannuelle est :

$$Amoy = \frac{\sum_{i=1}^{i=35} Ai}{35} \dots\dots\dots (III.1)$$

✚ Méthodes pseudo-empiriques

➤ Samie I :

$$\bar{A} = Le * S \dots\dots\dots (III.2)$$

$$Le = 0,784 * (\bar{P} - 0,232)^2 \dots\dots\dots (III.3)$$

Le : Lame écoulée en m.

\bar{P} : Pluit moyenne annuelle $P = 717,36 \text{ mm} = 0,717 \text{ m}$.

\bar{A} : Apport moyen interannuel en Mm3.

S : surface du bassin versant $S = 534,2 \text{ km}^2$.

AN :

Le = 0,184 m

$\bar{A} = 98,51 \text{ Mm}^3$.

➤ **Médinger I :**

$Le = \bar{P}^2 (0,24 - 0,014 * S^{1/2}) \dots\dots\dots \text{(III.4)}$

$\bar{A} = Le * S \dots\dots\dots \text{(III.5)}$

AN :

Le = 0,106 m.

$\bar{A} = 57,02 \text{ Mm}^3$.

➤ **Médinger II :**

$Le = 1,024(\bar{P} - 0,26)^2 \dots\dots\dots \text{(III.6)}$

$\bar{A} = Le * S \dots\dots\dots \text{(III.7)}$

AN :

Le = 0,213

$\bar{A} = 114,24 \text{ Mm}^3$.

➤ **Déri I :**

$\bar{A} = 0,915 * P^{2,604} * S^{0,842} \dots\dots\dots \text{(III.8)}$

AN:

$\bar{A} = 76,19 \text{ Mm}^3$.

➤ **Déri II :**

$$\bar{A} = 0,31 * P^{3,032} * S^{1,016} \dots\dots\dots (III.9)$$

AN:

$$\bar{A} = 66,77 \text{ Mm}^3.$$

➤ **Mallet-gautier:**

$$Le = 0,6 P (1 - \bar{I}0^{-0,3(P)^2}) \dots\dots\dots (III.10)$$

$$\bar{A} = Le * S \dots\dots\dots (III.11)$$

AN :

$$Le = 0,128$$

$$\bar{A} = 68,24 \text{ Mm}^3.$$

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus.

Tableau (III.1) récapitulatif des résultats

Méthode/	Lame d'eau écoulée(m)	Apport moyen interannuel en Mm ³
Moyenne arithmétique	/	144,82
Samie I	0,108	98,51
Médinger I	0,106	57,02
Médinger II	0,213	114,24
Déri I	/	76,19
Déri II	/	66,77
Mallet-gautier	0,128	68,69

Conclusion :

La valeur de la moyenne interannuelle de l'apport liquide est celle donnée par les mesures directes de la station hydrométrique $\bar{A} = 144,82 \text{ Mm}^3$.

III.2 Les apports solides

Le transport solide représente l'entraînement de granulats sous l'action d'un écoulement fluide. Il existe dans différents phénomènes physiques, naturels ou industriels, et constitue un écoulement à surface libre ou en charge. Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion. Il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature. Généralement deux modes de transport solide sont considérées : le transport solide par charriage et le transport solide en suspension.

✚ Le transport solide par charriage

Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, gravier, galets et blocs), de diamètre supérieur à 1 mm, qui se déplacent par roulement ou glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et dans l'espace.

✚ Le transport solide en suspension

Le transport solide en suspension représente le transport de sédiments fins (argiles, limons, sables fins), de taille micronique, maintenues en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations turbulentes de l'écoulement. Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval.

L'étude du transport solide a pour but l'évaluation de la garde d'envasement du Barrage. Cet apport est déterminé de deux façons :

- Moyenne arithmétique,
- Méthode pseudo empirique.

L'absence des mesures sur le transport solide oblige à avoir recours aux méthodes empiriques.

III.2.1 Méthodes empiriques

➤ Méthode de Fourier :

La méthode de Fourier nous donne l'érosion spécifique E_s en tonne /km².an :

$$E_s = \frac{1}{36} \left(\frac{P^2}{\bar{P}}\right)^{2,65} \left(\frac{h^2}{S}\right)^{0,46} \dots\dots\dots (III.12)$$

P : Pluie du mois le plus arrosé en mm P = 462 mm.

\bar{P} : Pluie moyenne en mm $\bar{P} = 717,36$ mm.

h : différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale h = 354,5 m.

S : Surface du bassin versant S = 534,2 km².

$$E_s = 1226540,07 \text{ t/km}^2 \cdot \text{an.}$$

➤ Méthode de Gravirovitch

La méthode de Gravirovitch a été utilisée pour la détermination d'un coefficient d'érodibilité des sols et des paramètres de la production du débit solide dans le Nord d'Algérie.

Le calcul de la production de sédiments passe par la détermination des volumes moyens annuels des débits solides (charriages et suspension), pour le bassin versant naturel ou pour une partie du bassin. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$W_{an} = T * \bar{P} * \sqrt{Z^2} * S \dots\dots\dots (III.13)$$

Partant de la valeur du coefficient d'érodibilité des sols ,6 catégories de destruction des sols ont été établis et sont présentées dans le Tableau(III.2).

Tableau (III.2) : Valeurs du coefficient d'érodabilité (Z).

Catégorie de destruction	Intensité du processus d'érosion dans le lit et sur le BV	Coefficient d'érodabilité Z	Valeur moyenne du coefficient Z.
I	Erosion excessive	1,01 à 1,50	1,25
II	Erosion forte	0,70 à 1,00	0,85
III	Erosion moyenne	0,41 à 0,70	0,55
IV	Erosion faible	0,20 à 0,40	0,30
V	Erosion très faible	0,01 à 0,19	0,10
VI	Retenues	0,00	0,00

Avec :

T : coefficient de température $T = 1,44$ °C.

\bar{P} : pluies moyenne annuelle $\bar{P} = 717,36$ mm.

Z : coefficient d'érodabilité (Erosion moyenne) $Z = 0,55$.

S : surface du bassin versant.

AN : **$W_{an} = 220888,02 \text{ m}^3/\text{an}$.**

III.2.2 Taux de rétention des sédiments production

$$R_m = \frac{H_m \cdot \sqrt{p}}{0,1 \cdot (L+10)} \quad \dots\dots\dots \text{(III.14)}$$

P : périmètre du bassin $P = 112,1$ km

Hm : altitude moyenne du bassin versant $H_m = 494,5$ m

L : longueur du talweg principal $L = 47$ km.

$$\mathbf{R_m = 0,918.}$$

Le taux d'abrasion sera : $Ta = 0,918 \cdot Wan$ (III.15)

$$Ta = 202892,69 \text{ m}^3/\text{an}.$$

Conclusion :

En se basant sur les études régionales de l'érosion, et sur la valeur du transport solide des bassins versants avoisinants, et en prenant en considération les paramètres ayant un impact sur le transport solide du bassin versant de l'Oued Bougdoura, la valeur adaptée est celle de Gravellovic.

III.3 Courbes caractéristiques de la retenue :

C'est un paramètre très important dans l'étude d'un barrage car elle permet par une simple lecture de la courbe de connaître la valeur du volume d'eau en fonction de l'altitude et la surface inondée aussi.

L'approximation des volumes a été faite selon l'expression :

$$\Delta V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \times \Delta H \quad \text{..... (III.16)}$$

Avec :

S_i : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i en m^2

S_{i+1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} en m^2

ΔH : Différence d'altitude entre les deux courbes de niveau successives

ΔV_i : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveau successives (m^3)

Le Tableau(III.3) donne les caractéristiques topographiques de la retenue.

- courbe capacité-hauteur : $H=f(V)$.
- courbe surface-hauteur : $H=f(S)$.

Tableau(III.3) : Côtés et volume d'eau.

cote	Sm ²	S _{moy} (Km ²)	ΔH (m)	VHm ³	ev cumule (mH ³)
64	0	0	0	0	0
70	0,18	0,09	6	0,54	0,54
80	0,71	0,45	10	4,5	5,04
90	1,29	1,5	10	15	20,04
100	2	1,65	10	16,5	36,54
110	3	2,5	10	25	61,54
120	3,65	3,33	10	33,3	94,84
130	5,06	4,36	10	43,6	138,44
140	7	6,03	10	60,3	198,74

La courbe capacité-hauteur est représentée dans la figure suivante

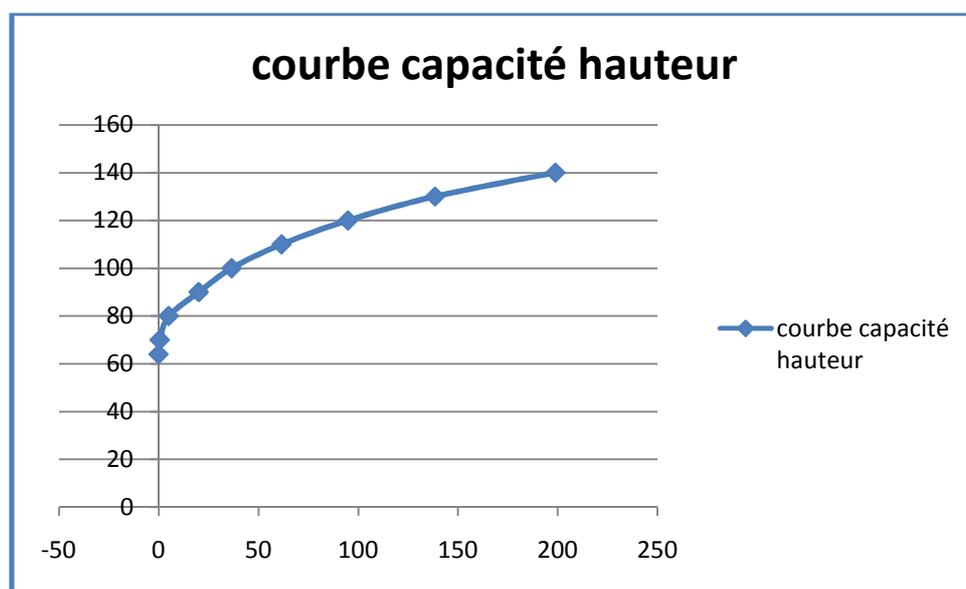


Figure (III.1) : Courbe capacité Hauteur.

III.4 Calcul du volume mort de la retenue

Le volume mort est déterminé pour une durée de 50 Ans par la formule suivante :

$$V_m = 50 * T_a. \quad \dots\dots\dots (III.17)$$

$$V_m = 10,14 \text{ Mm}^3.$$

III.5 Le volume utile de la retenue

Le réservoir de Souk el Tleta garantira une capacité utile de 98 Mm³, donc le volume utile de la retenue est de 98 Mm³.

Conclusion :

Le volume au niveau normal de la retenue est: $V_{NNR} = V_m + V_{util}$ implique que :

$$AN : \quad V_{NNR} = 10,14 + 98 = 108,14 \text{ Mm}^3$$

A partir de la courbe capacité – hauteur on tire le niveau normal du barrage :

$$NNR = 122\text{m.NGA.}$$

Chapitre IV

ETUDE DES CRUES

Introduction

Les crues sont des écoulements variables dans lesquelles les débits atteignent des valeurs importantes. Mais leur étude en Algérie reste un domaine inconnu, seules quelques indications très ponctuelles sont données dans les annuaires hydrologiques algériens. Les crues représentent un des traits fondamentaux du régime d'un cours d'eau.

L'estimation des crues révèle une grande importance pour la sécurité de l'ouvrage à implanter.

Les paramètres définissant une crue sont :

- ✚ Le débit maximum de la crue (débit de pointe).
- ✚ Le volume de la crue.
- ✚ La forme de la crue (Hydrogramme de crues).
- ✚ Le temps de concentration.
- ✚ Le temps de base.

IV.1 Evaluation Des Débits Maximum Des Crues

Il existe plusieurs méthodes pour la recherche du débit maximum de crue :

- ✚ Les formules empiriques
- ✚ Les lois statistiques
- **Les Formules Empiriques**
- ✚ **Formule De Sokolovsky :**

Selon cet auteur, la crue est considérée comme un débit maximal généré par une averse de courte durée correspondant au temps de concentration. Le temps de montée de la crue est donc pris égal au temps de concentration.

$$Q_{max} = \frac{0,28 * S * \alpha * P_{tc} * f}{T_c} \dots\dots\dots (IV.1)$$

Avec :

S : superficie du bassin versant.

Ptc : pluies de courte durée pour une fréquence donnée.

Tc : temps de concentration.

f : coefficient de forme de l'hydrogramme de crue $f = 1.2$.

α : coefficient de ruissellement du bassin versant ($0.6 < \alpha < 0.8$)

Tableau IV.1 : Q_{max} calculés par la formule de Sokolovsky.

T(ans)	10	20	50	100	1000	10000
$Q_{max}(m^3/s)$	303,11	328,95	358,07	377,49	431,40	477,38

🚩 Formule De Mallet-Gauthier

$$Q_{max} = 2K * \log(1 + AP) * \frac{S}{\sqrt{L}} * \sqrt{1 + 4\log T - \log S} \quad \dots\dots\dots (IV.2)$$

S : superficie du bassin versant (Km²).

L : longueur du talweg principal (Km).

A : coefficient régional qui varie de 20 à 30, pour la grande Kabylie égal à 25.

K : constante qui dépend des caractéristiques du bassin versant égal à 2,5.

P : précipitation moyenne interannuelle.

T : période de retour (ans).

Tableau IV.2 : Q_{max} calculés par la formule de Mallet-gauthier.

T(ans)	10	20	50	100	1000	10000
Q _{max} (m ³ /s)	749,91	927,81	1120,14	1246,24	1594,87	1879,51

 **Formule De Turazza**

$$Q_{max} = \frac{S \cdot C \cdot P_t}{3,6 \cdot T_c} \dots\dots\dots (IV.3)$$

S : superficie du bassin versant (Km2).

T_c : temps de concentration.

P_t : pluies fréquentielles de courte durée (mm).

C : coefficient de ruissellement pour une période de retour donnée ;

Tableau IV.3 : Q_{max} calculés par la formule de Turazza

T(ans)	10	20	50	100	1000	10000
C	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.999
P _t	37,78	41	44,63	47,05	53,77	59,5
Q _{max} (m ³ /s)	340,09	372,96	410,21	436,91	504,41	563,23

Le tableau IV.4 illustre les résultats obtenus par les trois méthodes précédentes.

Tableau IV.4 : Récapitulatif des résultats.

T (ans)	10	20	50	100	1000	10000
sokolovsky	303,11	328,95	358,07	377,49	431,40	477,38
Mallet-Gautier	749,91	927,81	1120,14	1246,24	1594,87	1879,51
Turazza	340,09	372,96	410,21	436,91	504,41	563,23

IV.1.2 Les Loïs Statistiques

Pour l'évaluation des débits maximaux (Q_{max}) de fréquences rares (ou périodes de retour élevées), nous avons recours aux séries obtenues à la station de Tizi-Ouzou (annexe ; Tableau IV.1). On évalue les séries de débit à l'aide du logiciel Hyfran qui effectuera l'ajustement aux lois de Gumbel et Normal.

Les caractéristiques de base des séries de débits maximaux sont illustrées dans le Tableau IV.5.

Tableau IV.5 : Statistiques de base des séries de Débits Maximaux de Tizi-Ouzou

Nombre d'observations	20
Minimum	2,00
Maximum	605
Moyenne	103
Ecart-type	131
Médiane	70,0
Coefficient de variation (C_v)	1,27
Coefficient d'asymétrie (C_s)	3,20
Coefficient d'aplatissement (C_k)	10,8

 Ajustement à la loi de Gumbel

Tableau IV.6 : Ajustement à la loi de Gumbel

T (ans)	Q	Qmax(m/s)
10000	0,9999	590
1000	0,9990	508
100	0,9900	408
50	0,9800	372
20	0,9500	319
10	0,9000	271

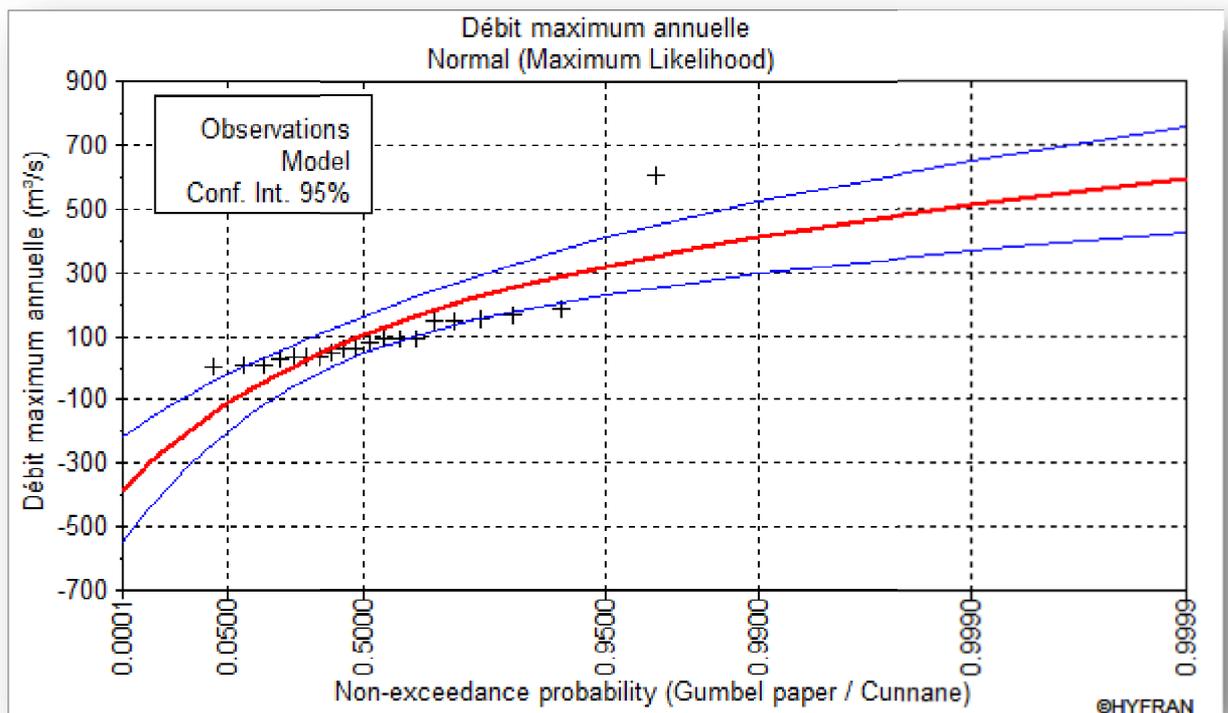


Figure IV.1 : Ajustement à la loi de Gumbel.

📊 Ajustement à la loi Normal

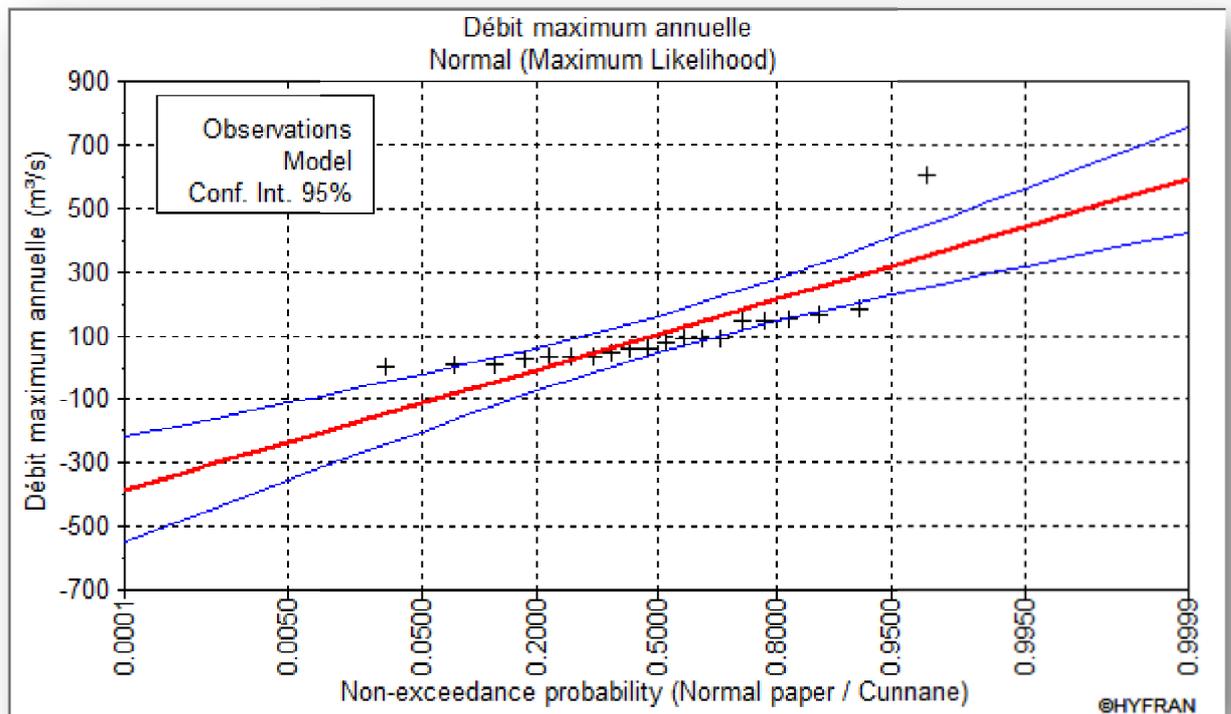


Figure IV.2 : Ajustement à la loi Normal.

Conclusion

La loi de Gumbel et la loi Normal ajustent bien notre échantillon.

IV.2 Hydrogramme De Crue

L'hydrogramme de crue est une fonction $Q=f(t)$ qui exprime la variation du débit maximum en fonction du temps pour une période de retour donnée. Son utilité intervient lors du laminage des crues d'une part, et le dimensionnement du barrage d'autre part.

L'hydrogramme permet aussi d'estimer les caractéristiques de la crue à savoir : le volume, la forme, le temps de montée et de base.

La forme des crues (temps de montée et de décrue) est déterminée à l'aide de la méthode de Sokolovsky qui assimile l'hydrogramme de crue à deux équations paraboliques l'une pour le temps de montée et définie par:

$$Q_t = Q_{\max} * \left(\frac{t}{t_m}\right)^m \quad \dots\dots\dots (IV.4)$$

Et l'autre pour la décrue exprimée par:

$$Q_t = Q_{\max} * \left(\frac{t_b-t}{t_d}\right)^n \quad \dots\dots\dots (IV.5)$$

T_m : temps de montée de la crue ($T_m = T_c = 4,35$ h)

T_d : temps de décrue ($T_d = \gamma * T_c$) ; avec γ paramètre dépendant de la grandeur du cours d'eau, et de son bassin versant $\gamma : 2,5 \rightarrow T_d = 10,87$ h.

Q_{\max} : débit maximum d'une fréquence

Q_t : débit à l'instant t .

m et n sont des paramètres dépendant des caractéristiques géomorphologiques du bassin versant ; $m = 2$; $n = 2.5$

t : Intervalle de temps, varie entre 0,1 h à t_c pour la première équation et de t_c à T_d pour la deuxième l'équation.

γ : est évalué en fonction de la taille du cours d'eau de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant.

Tableau IV.7 : Evaluation de γ en fonction de la grandeur du cours d'eau

Description du cours d'eau	γ
Petit cours d'eau et vallons dans le bassin versant faiblement perméable	2 à 2,5
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versant boisés ou perméable, Moyen cours d'eau avec terrasses de lit majeures normal	3 à 4
Grand et moyen cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues	4 à 7

 Temps de montée	$T_m = T_c = 4,35 \text{ h.}$
 Temps de décrue	$T_d = 10,87 \text{ h.}$
 Temps de base	$T_b = 15,22 \text{ h.}$

Le tableau IV.8 ci-dessous illustre les résultats trouver manuellement a l'aide d'une programmation Excel pour les débits maximaux de différentes fréquences.

Tableau IV.8 :Hydrogramme de crue pour Qjmax de différentes fréquences.

Temps(h)	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	1000 ans	10000 ans
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	16,02	16,02	18,92	19,95	22,80	25,23
2,00	64,07	69,54	75,69	79,80	91,19	100,91
3,00	144,17	156,46	170,31	179,54	205,18	227,05
4,00	256,30	278,15	302,77	319,19	364,77	403,65
4,35	303,11	328,95	358,07	377,49	431,40	477,38
5,00	259,81	281,96	306,92	323,56	369,77	409,18
6,00	200,84	217,96	237,26	250,13	285,85	316,31
7,00	150,73	163,58	178,06	187,72	214,53	237,39
8,00	108,99	118,28	128,75	135,73	155,11	171,65
9,00	75,08	81,48	88,69	93,50	106,85	118,24
10,00	48,44	52,57	57,22	60,33	68,94	76,29
11,00	28,46	30,89	33,63	35,45	40,51	44,83
12,00	14,48	15,71	17,10	18,03	20,60	22,80
13,00	5,71	6,20	6,75	7,12	8,13	9,00
14,00	1,28	1,39	1,51	1,59	1,82	2,01
15,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
15,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

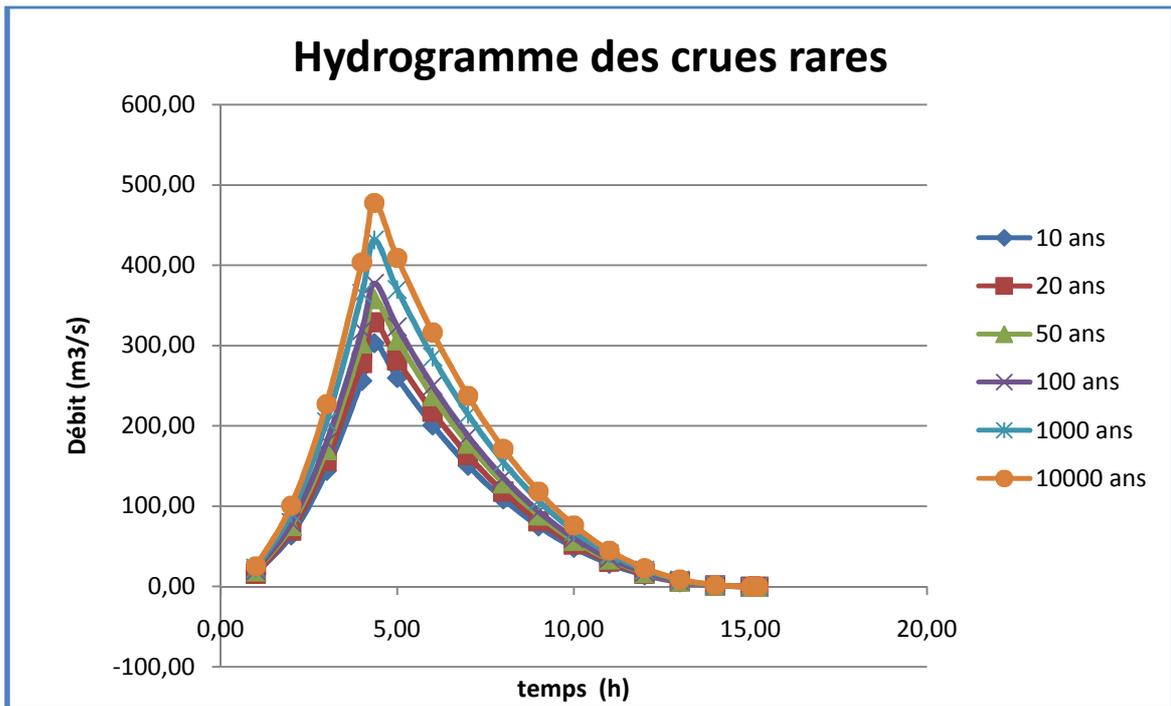


Figure IV.3 : Hydrogromme des crues rares.

IV.3 Laminage des crues

Le calcul du laminage des crues permet de réduire les dimensions et le coût de l'ouvrage d'évacuation sans affecter la sécurité globale de l'aménagement, ce type de calcul optimise la capacité de stockage temporaire de la retenue et le débit progressif de déversement en fonction de l'apport entrant de la crue, cette relation peut être formulée comme suit:

$$Q.dt = q.dt + S.dh \quad \dots\dots\dots (IV.6)$$

Q: le débit entrant de la crue.

q : le débit déverse par l'évacuateur de crue (débit laminé).

S : la surface du plan d'eau de la cuvette.

Le débit cumule à l'instant **t** est : $Q - q = S.dh / dt \quad \dots\dots\dots (IV.7)$

Ou :

Dh/dt : La vitesse de remplissage ou de montée de la retenue.

IL existe plusieurs procédés de calcul comme Hildenblat, Sorensen, Blackmore, Kotcherine, patapove, Step bye step et d'autre méthodes nous retenons quatre méthodes dont celles de :

- ✚ Méthode de Kotcherine.
- ✚ Méthode Step bye step.
- ✚ Méthode graphique.
- ✚ Méthode de Eier-Cieh..
- ✚ Méthode de Hidenblat.

Conclusion :

Les études de laminage des crues ont montré que l'évacuation de la crue du projet (évacuateur de crue) auras une largeur déversante optimal $b= 30$ m d'une charge déversante de 2,7 m.

Chapitre V

CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU BARRAGE

Introduction

Simultanément à la recherche d'un site, on doit réfléchir aux différents types d'ouvrages envisageables, à la vue des conditions et contraintes locales. Les barrages peuvent être classés selon leur type de construction habituellement comme suit:

✚ Les ouvrages rigides, en béton, qualifiés ainsi parce que leur capacité de déformation est relativement faible. Ils ne s'accrochent, sauf exception, que de fondations rocheuses peu perméables, d'où on exclue ce type dans le cas de cette retenue collinaire qui repose sur de l'argile.

✚ Les ouvrages souples, en terre, en enrochements, capables de suivre sans trop de dommages des mouvements de leur substratum. Ils sont évidemment, radicalement différents, dans leur conception, des précédents. Ils s'accrochent de fondations de moins bonne qualité.

V.1 Choix du site de la retenue

L'axe ou le site du barrage n'est pas choisi au hasard mais doit respecter plusieurs conditions à savoir: sociologiques, hydrologiques, topographiques, géologiques et hydrogéologiques, géotechniques et économiques. La projection de l'axe doit répondre à ces conditions:

✚ L'axe doit être perpendiculaire à la trajectoire du cours d'eau.

✚ La projection de l'axe doit tenir compte de l'implantation des ouvrages annexes de l'aménagement.

✚ L'axe choisi doit donner la longueur la plus courte possible pour des raisons économiques.

On s'est basé sur ces conditions et on a pu choisir le site de cette retenue ou on a l'assurance d'avoir dans la cuvette les matériaux de construction nécessaires pour la confection de l'ouvrage en qualité et en quantité.

V.2 Choix du type du barrage

L'économie, la topographie, la morphologie de la vallée, la géologie, la géotechnique, les matériaux de construction nous impose le type de barrage à mettre en œuvre.

La présence des matériaux locaux en grande quantité nous permet d'envisager un barrage en matériaux locaux, trois types sont à proposer :

Barrage poids en béton compacte au rouleau (BCR)

Les barrages poids résistent à la poussée de l'eau par leur poids, nécessitent une fondation rocheuse de bonne qualité, consiste à mettre en place le béton et à le compacter, par un rouleau vibrant lourd.

Les matériaux BCR utilisés pour le corps du barrage sont de composition variable est guidée par la disponibilité sur le site des composants dans une formulation au moindre coût.

L'un des avantages importants du BCR est la rapidité d'exécution.

L'inconvénient dans ce type de barrage est que la stabilité est très sensible aux variations du poids spécifique de l'eau, à la hauteur de retenue et aux séismes.

Barrage zoné

Lors de l'hétérogénéité des matériaux présents en place on envisage alors un barrage à noyau. Dans un barrage à noyau, les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central.

Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'énochements. Il a l'inconvénient d'être difficile à réparer en cas de fuite ainsi que le risque du phénomène de renard qui est plus ou moins important dans ce type à cause de l'hétérogénéité des matériaux.

✚ Barrage en enrochement avec un masque amont

Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des enrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, côté amont, ce masque est facilement réparé en cas de défaillance, l'inconvénient dans ce type de barrage est la stabilité des enrochements qui est assez difficile à assurer.

V.3 Cote en crête du barrage

V.3.1 Niveau des plus hautes eaux

Le niveau des plus hautes eaux est égal au niveau normal de retenue (NNR = 122m) majoré de la charge déversante déjà déterminée ($h = 2,7\text{m}$).

$$\text{NPHE} = \text{NNR} + h$$

$$\text{NPHE} = 122 + 2,7$$

$$\text{NPHE} = 125 \text{ m.}$$

V.3.2 Calcul de la revanche :

Plusieurs formules sont utilisées pour le calcul de la revanche :

✚ Formule de Stevenson Gaillard

$$R = 0.75 \cdot H + \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (\text{V.1})$$

Avec : $H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{F} \quad \dots\dots\dots (\text{V.2})$

A.N :

$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{2} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{2} = 2,36 \text{ m}$$

D'où :

$$V = 1,5 + 2 \cdot H = 6,22 \text{ m/s}$$

donc : **R = 4,33 m.**

✚ Formule de Stevenson reprise par Mallet et Pacquant

$$R = H + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (V.3)$$

Avec : $H = 0.5 + 0.33 \cdot \sqrt{F} \dots\dots\dots (V.4)$

A.N :

$$H = 0.5 + 0.33 \cdot \sqrt{2} = 0,97 \text{ m}$$

$$V = 1,5 + 2 \cdot H = 1,5 + 2 \cdot 0,97 = 3,33 \text{ m/s}$$

Donc :

R=1,57 m.

✚ Formule Simplifiée

$$R = 1 + 0,3 \cdot \sqrt{F} \dots\dots\dots (V.5)$$

$$R = 1 + 0,3 \cdot \sqrt{2} = 1,42 \text{ m} \dots\dots\dots (V.6)$$

R=4,5 m.

R = 4.5m est la valeur qui est considéré dans le dimensionnement du barrage

Donc la côte en crête est :

$$NCR = NPHE + R + hs$$

hs : Hauteur de sécurité (la disposition pour le choix de la revanche sont conformes aux normes italiennes en vigueur pour les barrages ; dans ce cas particulier on exige 1m de hauteur pour le risque sismique d'une revanche de 4 m et plus)

$$NCR = 130,5 \text{ m.}$$

V.4 Conception de la digue

V.4.1 Largeur en crête

La largeur du barrage près de son couronnement doit permettre la circulation des engins pour la finition du barrage.

Elle dépend de plusieurs facteurs et notamment des risques de tremblement de terre et de la longueur minimum du chemin d'infiltration qui assure un gradient hydraulique suffisamment faible à travers le barrage lorsque le réservoir est plein.

La largeur en crête peut être évaluée à l'aide des formules suivantes :

- Formule T.KNAPPEN $b=1,65H_r^{0.5}$ (V.7)
- Formule E.F.PREECE $b=1,1H_r^{0.5}+1$ (V.8)
- Formule PRATIQUE $b= (5/3),H^{0.5}$ (V.9)
- Formule SIMPLIFIEE $b=3,6.H_r^{1/3}-3$ (V.10)

H_r est la hauteur du remblai prise égale à 71,7 m

Les résultats de calcul selon les différentes relations sont récapitulés ci après:

Formule de T.KNAPPEN $b = 13,97 \text{ m.}$

Formule E.F.PREECE $b=10,31 \text{ m.}$

Formule PRATIQUE $b=14,11 \text{ m.}$

Formule SIMPLIFIEE $b=11,95 \text{ m.}$

La largeur en crête est prise égale à 10 m.

V.4.2. Longueur en crête :

La longueur en crête par rapport à l'axe défini de la digue est:

$$L=150 \text{ m.}$$

V.4.3 Pente des talus

Tableau (V.1) : Valeurs indicatives des pentes des talus (CEMAGREF)

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H<5	- Homogène	2,5	2
	- A zones	2	2
5<H<10	- Homogène granulométrie étendue	2	2
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2	2,5
10<H<20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3	2,5
	- A zones	3	3
H ≥ 20	- Homogène granulométrie étendue	3	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3,5	2,5
	- A zones	3	3

D'après le tableau qui donne les pentes des talus en fonction de la hauteur et de type de barrage (barrage zoné) .on choisit pour les calculs les pentes:

- Parement amont $m_1 = 3$
- Parement aval $m_2 = 3$

V.4.4 Variantes de la digue

- ✚ 1^{ère} variante: digue zonée en matériaux meubles.
- ✚ 2^{ème} variante: barrage poids en BCR.
- ✚ 3^{ème} variante : barrage à masque amont.

Le choix est arrêté sur un barrage en terre en matériaux meubles à noyau d'argile avec des recharges en matériaux graveleuses.

Conclusion

Le choix de la variante étudiée s'impose par la facilité de construction et disponibilité des matériaux de construction (principalement l'argile) de quantité et de qualité, sur le gîte d'empreinte.

Ce barrage en terre qui à la rigueur remplit les conditions suivantes :

- ✚ avoir une imperméabilité suffisante ;
- ✚ insoluble dans l'eau ;
- ✚ avoir une faible teneur en matière organique ;
- ✚ ne pas se fissurer sous l'effet des tassements ;
- ✚ avoir une grande résistance au cisaillement et un maximum de densité sèche.
- ✚ Economique....

V.4.5 Protection des talus

Les talus doivent être protégés contre les dangers naturels: l'érosion provoquée par le batillage des vagues, le ruissellement des eaux de pluies, l'action des vents.

Cette protection prémunie également des dangers externes : les animaux creuseurs de terriers dans le corps de la digue, le piétinement des troupeaux domestiques, et l'agissement de l'homme.

Talus aval

Pour les barrages zonés la solution la plus appropriée fut la protection des parements par des enrochements.

Talus amont

L'enrochement est la solution la plus utilisée pour la protection du talus amont exposé au battillage des vagues. C'est également la solution la plus économique et cela quel que soit le type de digue en terre.

Les dimensions de l'enrochement peuvent être déterminées théoriquement en fonction de la hauteur des vagues et de leurs vitesses de propagation par les méthodes suivantes:

➤ 1^{ère} méthode

$$e = cv^2 \quad \dots\dots\dots (V.11)$$

e: épaisseur de l'enrochement en (m).

v: vitesse de propagation des vagues.

C: coefficient dépendant de la pente des talus et du poids spécifique (δ) de l'enrochement.

Tableau V.2: Valeurs de C en fonction des pentes de talus et δ .

Pente du talus	Valeurs de C
	$\delta = 2,8065$ <i>g/cm²</i>
1/4	0,022
1/3	0,023
1/2	0,026
1/1.5	0,030
1/1	0,038

La vitesse de propagation des vagues :

Elle est donnée par la formule de Gaillard

$$V = 1,5 + 2 h_v . \quad \dots\dots\dots (V.12)$$

La hauteur des vagues est donnée par la formule de Mallet-Pacquant :

$$h_v = 0,5 + 0,33 L^{1/2} \quad \dots\dots\dots (V.13)$$

L est longueur rectiligne maximale de retenue dans le sens vent maximal, dite aussi Fétch. La longueur L à été prélevé sur le plan de la situation général du barrage Souk Tlata (Avant projet détaillé), elle est de 27 km de longueur.

AN : $h_v = 2,23 \text{ m.}$
 $V = 5,95 \text{ m/s.}$

La pente des talus a été préalablement choisis elle est de 1/3 donc C=0,023

$e=0,81 \text{ m.}$

➤ **2^{ème} méthode**

Les ingénieurs utilisent de préférence le tableau donnant l'épaisseur minimum de la couche d'enrochement ainsi que les dimensions minimales des blocs en fonction de la hauteur des vagues.

Tableau V.3: Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues.

Hauteur des vagues (m)	Epaisseur minimale de la couche d'enrochement (m)	D ^{min} ₅₀ (m)
0 ÷ 0,3	0,3	0,2
0,3 ÷ 0,6	0,4	0,25
0,6 ÷ 1,2	0,45	0,3
1,2 ÷ 1,8	0,55	0,4
1,8 ÷ 2,4	0,7	0,45
2,4 ÷ 3	0,8	0,55

Pour notre cas, $1,8 < H < 2,4\text{m}$

$$e = 0,70 \text{ m.}$$

$$D_{\min} = 0,45 \text{ m.}$$

Conclusion

En analysant les résultats obtenus, on adopte pour la suite du dimensionnement de la digue une épaisseur de couche $e = 70\text{cm}$ et un diamètre moyen de 45cm . Donc une protection du talus amont d'une épaisseur de 70cm d'enrochement avec 45cm de filtre (lit de gravier et sable).

V.4.6 Les bermes

Généralement, on prévoit une berme tous les 15m à 20m , ce qui permettra d'effectuer des contrôles sur la digue et de procéder à d'éventuelles réparations sur le talus et d'augmenter la stabilité du parement, aussi pour protéger le talus aval contre l'érosion due au ruissellement des eaux pluviales et de la fonte des neiges (annexe Figure V.1 « Avant projet détaillée »).

Pour notre cas, on prévoit :

- ▶ une berme à la cote 80m en amont.
- ▶ cinq bermes en aval aux cotes : 122m , 100m , $90,70\text{m}$, 80m et $76,1\text{m}$ de largeur 4m .

V.5. Le Noyau argileux

V.5.1 Largeur en crête du noyau

La largeur en crête du noyau se calcule de la manière suivante :

$$2\text{m} < b_n < H_b/10 \quad \dots\dots\dots (\text{V.14})$$

H_b : hauteur du barrage, elle est de 93,7 m. (voir plans du barrage)

AN: $b_n < 9.37 \text{ m}$

On prend $b_n = 8\text{m}$.

V.5.2 Pente du noyau :

Les pentes sont choisies en fonction de la perméabilité du matériau.

Tableau V.4 : Pentes du noyau

Perméabilité k en cm/s	pente
10^{-13} - 10^{-11}	1/2 - 1/3
10^{-11} - 10^{-9}	1/3 – 1/4
10^{-9} - 10^{-8}	1/4 – 1/5

Le noyau d’argile colluviale aura une pente de 1/4.

V.5.3 Largeur à la base du noyau :

$$B_n = 2 * H_n * \text{tg}\alpha + b_n \dots\dots\dots (V.15)$$

H_n : hauteur du noyau $H_n = 92,7 \text{ m}$;

α : angle d’inclinaison du noyau $\alpha = 14,03^\circ$;

b_n : largeur en crête du noyau $b_n = 8\text{m}$.

$B_n = 54,35 \text{ m}$.

V.5.4 Vérification des dimensions du noyau

Nous devons vérifier la condition ci-dessous :

$$I = (H_1 - H_2) / B_n < I_{adm}$$

I : gradient hydraulique du noyau

H_1 : la hauteur d'eau de NNR ($H_1 = 122$ m)

H_2 : la hauteur d'eau à l'aval ($H_2 = 0$ m)

B_n : largeur du noyau $B_n = 54,35$ m.

I_{adm} : gradient hydraulique admissible dont les valeurs sont données dans le tableau ci après.

Matériaux	Classe du Barrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1,50	1,60	1,80	1,95
Limon	1,05	1,15	1,25	1,35
Sable moyen	0,70	0,80	0,90	1,00
Sable fin	0,45	0,55	0,65	0,75

Tableau V.5 : Valeurs du gradient hydraulique en fonction de la classe et les matériaux du barrage.

Le barrage de Souk Tleta est de classe III, le matériaux du noyau est une argile colluviale (limon argileux). le gradient hydraulique admissible sera de :

$$I_{adm} = 1,25$$

$$AN : I = 122 / 54,35 = 2,24 \text{ condition non vérifier}$$

Conclusion :

L'argile colluviale à mettre en place pour le noyau doit impérativement être minutieusement sélectionné, en ce qui concerne le noyau une excavation et des injections de peau ou de béton doivent être effectués ainsi le noyau reposera sur un berceau en béton.

V.6 Protection de la crête

La crête de la digue sera revêtue d'une couche de produit asphaltique de 40 cm d'épaisseur, afin d'éviter les fissures dues au retrait des matériaux argileux et de permettre en plus le passage (en principe exceptionnel) d'un véhicule.

V.7 Drainage du barrage

Pour éviter le phénomène de RENARD (l'ennemi silencieux des barrages), les sous pressions et pressions interstitielles dans le corps du barrage, on prévoit un dispositif de drainage qui a pour rôle d'intercepter les eaux d'infiltration, et de les faire sortir en aval du barrage sans causer de dégât préjudiciable au barrage.

V.8 Fondation

Les grés constituent l'essentiel de la fondation de la digue, ils sont assez homogène. la fondation ne sera atteinte qu'après excavation des alluvions .La gorge du barrage est gravée dans une formation gréseuse dont la perméabilité demande le recours à un écran d'étanchéité.

V.9 Dispositif des drains et filtres

V.9.1 Les drains

V.9.2 Dimensionnement du Drain tapis

$$L_d = 1/3 L_b$$

L_d : longueur du drain tapis en m

L_b : largeur transversale du barrage ($L_b=373,93\text{m}$)

On trouve : $L_d = 124,64 \text{ m.}$

V.9.3 Dimensionnement du drain prisme

➤ **Hauteur**

$$H_p = (0,15 \div 0,2) H_b$$

H_b : Hauteur du barrage ($H_b = 93,7\text{m}$)

$$H_p = 70,27 \text{ m.}$$

V.9.4 Les filtres

Les filtres sont une succession de couches de granulométrie très variée .Ils sont situés :

- Au pied aval du barrage
- A la protection du talus amont (zone de transition entre l'eau et les recharges)
- Entre le tapis filtrant et les recharges.

On prévoit :

- Une première couche de filtre en sable d'épaisseur =15 cm (pour des raisons de sécurité).
- La deuxième couche est en gravier d'épaisseur =15cm ;
- L'embrochement d'épaisseur = 70 cm.

V.10 Calcul d'infiltration

V.10.1 Objectif de calcul d'infiltration

L'objectif de cette partie est de déterminer :

- ✚ La zone submergée du corps de la digue.
- ✚ Les pressions interstitielles.
- ✚ Le tracé de la ligne de saturation.
- ✚ Le débit de fuite à travers le corps.

V.10.2 Hypothèses de calcul de la ligne de saturation

- ✚ Il s'agit tout d'abord de déterminer la ligne de saturation dont le calcul suppose les hypothèses suivantes :
- ✚ Que le sol est homogène et isotrope, c'est-à-dire que la perméabilité horizontale est identique à celle verticale.
- ✚ Que la ligne de saturation suit la loi de la parabole de Kozeny.
- ✚ Que le calcul se fera pour la section critique de la digue.

La parabole de la courbe de Kozeny s'écrit comme suit:

$$Y^2 - Y_0^2 - 2XY_0 = 0 \Rightarrow Y = \sqrt{Y_0^2 + 2XY_0} \dots\dots\dots (V-16)$$

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots (V-17)$$

Avec :

d : Largeur de base du barrage diminuée de 0,7b (d = 33 ,7).

b : Projection horizontale de la partie mouillée du parement amont b=48 ,14m

(Déterminé graphiquement).

h : La hauteur du niveau de l'eau sur la base (h=58m).

On trouve $Y_0 = 33,38\text{m}$.

Pour obtenir la ligne de saturation à partir de la parabole de Kozeny on raccorde celui-ci au point B du plan d'eau amont par une courbe normale au parement amont en B et tangente à la parabole.

L'équation de la parabole s'écrit : $Y = \sqrt{2970,25 + 109X}$

Tableau V.6: Coordonnées de la ligne de saturation :

X	Y
0	33,38
2	35,32
4	37,17
6	38,92
8	40,60
10	42,21
12	43,76
14	45,26
16	46,72
18	48,12
20	49,49
22	50,82
24	52,12
26	53,39
28	54,62
30	55,83
32	57,01
33,7	58,00

Le point C d'intersection de la face amont du drain cheminé est déterminé par l'équation polaire de cette parabole.

$$c = \frac{\Delta l}{l + \Delta l} \dots\dots\dots (V-18)$$

$$l + \Delta l = \frac{Y_0}{1 - \cos\alpha} \dots\dots\dots (V-19)$$

α : C'est l'angle de parement aval du noyau avec l'horizontale.

A partir de l'abaque de Cazagrande on détermine « c ».

$$\alpha = 76^\circ \quad \text{et} \quad c = 0,275$$

$$l + \Delta l = 71,9\text{m} \quad \text{d'ou :} \quad \Delta l = 19,8 \text{ m. Et } l = 52,1\text{m.}$$

V.10.3 Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue

Le débit de fuite à travers le noyau est déterminé par la formule suivante :

$$q=K.I.A..... (V-20)$$

Avec :

q: Débit d'infiltration en (m³/s/ml).

K : Coefficient de perméabilité en (m/s). (K= 10⁻⁷m/s)

I: Gradient hydraulique.

A: Section d'infiltration par unité de longueur.

Le gradient hydraulique est déterminé par: $I=dy/dx$ et $A=y.l$

Donc: $q=K.ydy/dx..... (V-21)$

Avec $ydy/dx=y_0$

D'ou $q=K.y_0$ m³/s/ml.

Le débit total à travers le barrage sera donc $=q.L$

AN:

$Y_0=33,38m.$ d'où

$$q=33,38.10^{-7}m^3/s/ml.$$

V.11 La stabilité

V.11.1 Généralités sur l'étude de stabilité des barrages

Il est évident qu'un remblai mal dimensionné et instable peut, d'une part porter préjudice à la sécurité des populations, exploitations agricoles et aménagements situés à son aval et, d'autre part, appellera probablement à des travaux d'entretien. La stabilité des barrages en terre est étudiée au moyen des méthodes utilisées plus généralement pour l'étude des pentes en mécanique des sols les plus courantes sont celles de Fellenius, Bishop et Spencer, la méthode dite des coins, ou encore celle dite des perturbations. Toutes sont des méthodes d'équilibre de forces, dans lesquelles les forces déstabilisatrices (poids, pressions interstitielles) doivent être compensées par des forces résistantes, avec des marges de sécurité conventionnellement choisies. Un facteur qui influe très fortement sur la stabilité est la **pression interstitielle** qui peut s'installer de façon durable dans le remblai :

- en raison des écoulements permanents à travers le remblai ;
- en conséquence des variations de contraintes, résultant de la construction, d'une vidange rapide, ou bien de séismes.

Pour l'appréciation de la stabilité du remblai compacté de la retenue collinaire de Oued Bougdoura, et la vérification des valeurs des fruits des parements adoptés, la méthode qui a été utilisée est celle des tranches (Méthode de FELLENIUS). Cette vérification a fait l'objet d'un calcul détaillé effectué manuellement. Ce calcul manuel a été réalisé et fait par le bureau d'étude Lombardi (Avant projet détaillé).

Quatre cas ont été vérifiés :

Parement amont : cas fin de construction et vidange rapide.

Parement aval : cas fin de construction et fonctionnement normal.

Pour réaliser cette étude les données suivantes sont nécessaires :

- ✚ La géométrie de la digue
- ✚ Caractéristiques des matériaux utilisés
- ✚ Les différents niveaux d'eau dans la cuvette en fonction de l'exploitation du barrage (niveau de retenue normale et vidange rapide).
- ✚ Du niveau piézoélectrique dans les différentes couches.

- ✚ De l'accélération de la pesanteur en cas de séisme prévu pour une période de retour de 500 ans.

Conséquences de l'instabilité des talus

- ✚ Déformation ou rupture des dispositifs internes de drainage (conséquence directe)
- ✚ Rupture des canalisations de vidange ou de prise d'eau
- ✚ Interception et remontée de la ligne de saturation et augmentation du débit de fuit (conséquence indirecte).

V.11.2 Principe de la méthode des tranches

Cette méthode nous amène à respecter les étapes suivantes :

- ✚ Construire la coupe transversale du barrage à l'échelle.
- ✚ Détermination du talus moyen.
- ✚ Tracer deux lignes au milieu du talus, l'une verticale et l'autre faisant un angle 85° avec le talus moyen.
- ✚ Détermination de la zone du centre du cercle de glissement, pour cela Fandeev recommande de disposer le centre du cercle du glissement dont les limites définies par deux cercles de rayons, R_{min} et R_{max} donnés par le tableau suivant :

Tableau V.7 : détermination des rayons max et min.

Pente des parements	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
$K1=R1/H$	0,75	0,75	1,0	1,5 0	2,2	3,0
$K2=R2/H$	1,50	1,75	2,3	3,7 5	4,8	5,50

Pour notre cas :

Tableau V.8 : R_{max} et R_{min}

Talus	Pente du talus	K1	K2	R1 (m)	R2 (m)
Amont	2/3	1	2.3	81,98	189,74
Aval	2/3	1	2.3	70,27	163,97

La ligne de glissement éventuelle est un arc de cercle à trois paramètres inconnus : rayon, abscisse et ordonnée du centre. La partie instable du talus (au-dessus du cercle de glissement) est divisée en certain nombre de tranches verticales de largeur égale.

Le coefficient de sécurité est égale à : $K_S = \frac{M_{resis}}{M_{mot}} \dots\dots\dots (V-21)$

M_{resist} : les moments résistants.

M_{mot} : les moments moteurs.

Tableau V-9: les valeurs admissibles des coefficients de sécurité.

Combinaison des charges et des actions	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Fondamentales (sans séisme)	1,3 ÷ 1,2	1,2 ÷ 1,15	1,15 ÷ 1,1	1,1 ÷ 1,05
Spéciales Avec séisme)	1,1 ÷ 1,05	1,1 ÷ 1,05	1,1 ÷ 1,05	1,05

Cas les plus défavorables :

a. Vidange rapide (talus amont)

La vidange rapide par laquelle la stabilité du talus amont doit être vérifiée, est le cas le plus défavorable. Pour ce dernier, l'abaissement rapide du plan d'eau entraîne un écoulement en régime transitoire dans la digue. L'état critique se situant juste après vidange, les pressions hydrostatiques internes ne s'étant pas dissipées, dans ce cas les moments stabilisants seront dus au poids saturé.

✚ *Sans séisme*
$$K_{ss} = \frac{\sum (N_n - P)tg\phi + \sum CdL}{\sum T_n} \dots\dots\dots(V-22)$$

✚ *Avec séisme*
$$K_{as} = \frac{\sum (N_n - P)tg\phi + \sum CdL}{\sum T_n + \frac{1}{R} \sum aG_n d_n} \dots\dots\dots(V-23)$$

Où:

C: Cohésion.

dL: Longueur déployée de la surface de rupture.

a : Coefficient d'intensité sismique de la zone a = 0,07

d_n: Bras de levier (en m).

R : Rayon du cercle de glissement.

N: Contrainte normale.

$$N_n = G_n \cdot \text{Cos } \alpha_n \dots\dots\dots (V-24)$$

α_i: angle vertical de la tranche.

$$G_n = b_n(\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3) \dots\dots\dots (V-25)$$

Avec :

b_n : Largeur de la tranche.

γ_1 : Densité humide utilisée au dessus de la ligne phréatique.

γ_2 : Densité saturée utilisée au dessous de la ligne de saturation.

γ_3 : Densité du massif de la fondation.

Remarque

γ_{sat} : Densité saturée utilisée au dessous de la ligne de saturation.

γ_h : Densité humide utilisée entre la ligne de saturation et le niveaux NNR.

γ_d : Densité sèche utilisée entre le niveaux NNR et PHE.

γ' : Densité déjaugée utilisée pour le cas de vidange rapide.

T: Contrainte tangentielle.

$$T_n = G_n \cdot \sin \alpha_n \dots\dots\dots (V-26)$$

φ : Angle de frottement interne.

P: Pression interstitielle.

$$P = \gamma_w \cdot h_n \cdot l_n \dots\dots\dots (V-26)$$

Où :

γ_w : Poids volumique de l'eau $\gamma_w=1(t/m^3)$.

h_n : Hauteur de la tranche n.

l_n : Longueur de l'arc délimitait.

La base de la tranche n, tel que :

$$l_n = \frac{b_n}{\cos \alpha_n} \dots\dots\dots (V-27)$$

b. Fin de construction (talus amont et aval)

L'étape la plus critique se situe juste à la fin de la construction, alors que les pressions interstitielles sont à leur maximum, le drainage n'a pas encore eu lieu.

✚ *Sans séisme*
$$K_{ss} = \frac{\sum N_n \text{tg} \phi + \sum CdL}{\sum T_n} \dots\dots\dots (V-28)$$

✚ *Avec séisme*
$$K_{as} = \frac{\sum N_n \text{tg} \phi + \sum CdL}{\sum T_n + \frac{1}{R} \sum aG_n d_n} \dots\dots\dots (V-29)$$

c. Retenue normale (talus aval)

De même que pour la fin de construction, le calcul se fait en contraintes effectives en tenant compte de l'écoulement à l'intérieur de la digue du aux infiltrations.

Ce cas a la réputation d'être le plus défavorable pour le talus aval, du fait du caractère catastrophique d'une rupture en charge.

✚ *Sans séisme*
$$K_{ss} = \frac{\sum (N_n - P) \text{tg} \phi + \sum CdL}{\sum T_n} \dots\dots\dots (V-30)$$

✚ *Avec séisme*
$$K_{as} = \frac{\sum (N_n - P) \text{tg} \phi + \sum CdL}{\sum T_n + \frac{1}{R} \sum aG_n d_n} \dots\dots\dots (V-31)$$

Tableau V.10: Les caractéristiques géotechniques

Paramètres	Valeurs
γ_d (t/m ³)	2,2
γ' (t/m ³)	1,25
γ_{sat} (t/m ³)	2,25
ϕ°	36
C bars	0,15

Les coefficients admissibles de stabilité :

$$K_{adm} = (1,15 - 1,1) \text{ (sans séisme).}$$

$$K_{adm} = (1,1 - 1,05) \text{ (avec séisme).}$$

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau V-11: coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement.

CAS DE SOLLICITATION		COEFFICIENT DE SECURITE	
		Avec séisme	Sans séisme
Fonctionnement normal	Talus aval		
	R = 126.04 m	1.29	1.15
	R = 118.9 m	1.34	1.17
	R = 134.45 m	1.27	1.14
Fin de construction	Talus aval		
	R = 117.4 m	2.79	2.25
	R = 122.02 m	2.6	2.12
	R = 124.84 m	2.76	2.23
	Talus amont		
	R = 123.61 m	2.56	2.09
	R = 128.55 m	2.62	2.16
R = 133.52 m	2.12	1.78	
Vidange rapide	Talus amont		
	R = 134.77 m	1.23	1.21
	R = 142.31 m	1.28	1.17
	R = 137.35 m	1.21	1.2

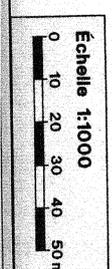
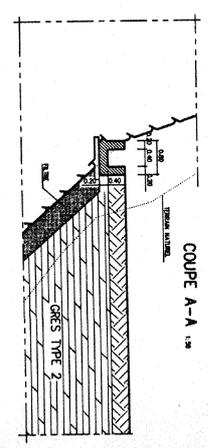
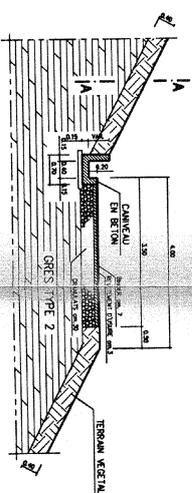
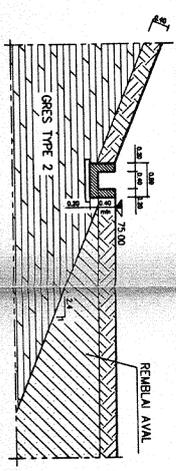
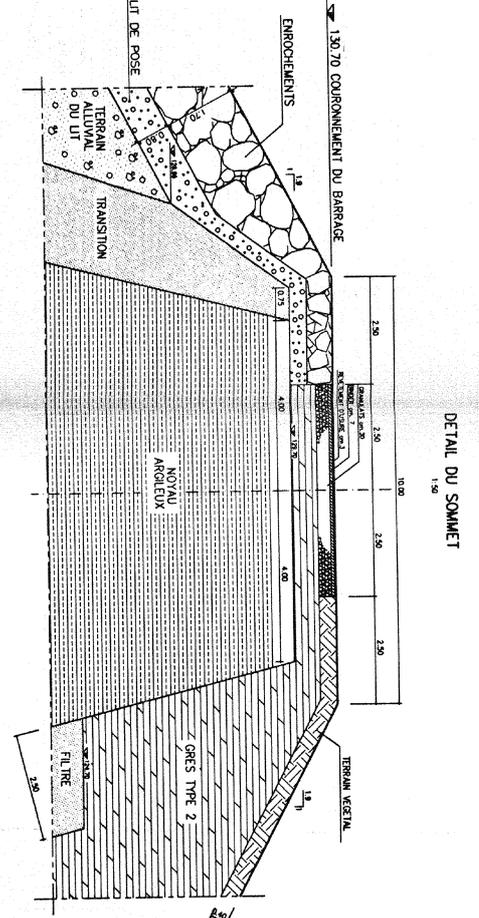
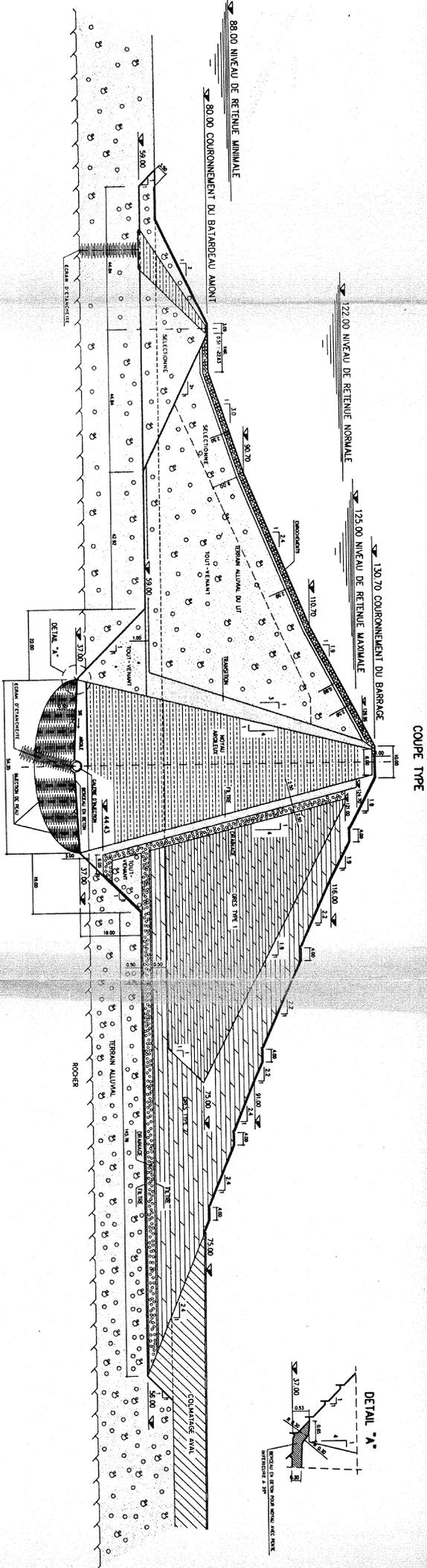
On remarque d'après les résultats obtenus que le coefficient de sécurité minimum soit supérieur ou égal au coefficient admissible ; donc la stabilité du talus est assurée.

Conclusion :

Le type de barrage à adopter n'est plus mis en question, en effet un barrage en terre avec un noyau argileux est celui qui s'accommode le mieux dans notre cas.

De ce fait le barrage aura une largeur en crête de 10 m, une longueur en crête de 150 m et une hauteur de 93,7 m.

Le noyau argileux quand a lui aura une largeur en crête de 8m et une largeur à la base de 54.35 m.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
 MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE
 DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES
BARRAGE DE SOUK EL TLATA
 AVANT-PROJET DETAILLE
 BARRAGE PRINCIPAL
 COUPE TYPE ET DETAILS

Bureau d'Etudes	DATE	DES	COMITE	VISE	CONSTATE
Dr. Ing. G. Lombardi	01/02/73	01/02/73	01/02/73	01/02/73	01/02/73
Locarno (Suisse)					

540-6-55

Chapitre VI

OUVRAGES ANNEXES

Introduction

Les barrages réservoirs sont souvent équipés d'ouvrages annexes destinés à l'exploitation de la retenue et assurer la sécurité du barrage. Les ouvrages annexes sont des ouvrages hydrauliques qui font transiter l'eau du bief amont vers le bief aval, à travers des orifices spéciaux, des déversoirs, des canaux, des conduites, des galeries et autres, en utilisant pour ce but la charge hydraulique effective disponible.

Les dimensions des plants en élévation, la conception ainsi que la composition des ouvrages annexes d'un barrage sont dictées par le débit de projet, la charge effective, le relief et la géologie du site, ainsi que des conditions de réalisation et d'exploitation.

VI.1 Dérivation provisoire et batardeau

Cet ouvrage a pour but la dérivation des eaux de crues d'eau pendant la construction du barrage pour pouvoir réaliser les travaux à sec et protéger le chantier contre toute crue et venue d'eau qui peut provoquer des dégâts ou perturber le déroulement des travaux dans les meilleures conditions. Il est accompagné le plus souvent (sauf dans le cas d'un canal) par un batardeau amont jouant le rôle d'un amortisseur de crues et facilitant en même temps l'acheminement des eaux vers la dérivation provisoire et un batardeau aval permettant l'empêchement de retour d'eau vers le chantier.

VI.2 L'évacuateur de crues

La submersion d'un barrage en terre au passage d'une forte crue est toujours un phénomène particulièrement dangereux.

Un barrage s'il retient l'écoulement, doit aussi conserver la faculté d'évacuer les crues exceptionnelles, mais il faut que cette évacuation ait lieu sans que la lame d'eau ne le submerge.

On prévoit alors un organe d'évacuation à fonctionnement automatique appelé évacuateur de crue.

VI.2.1 Différents types d'évacuateurs de crue

a. Evacuateur de crues en puits (tulipe)

Dans ce type d'ouvrage, le déversoir en lui-même est circulaire ou semi-circulaire, il se prolonge par un puits coudé suivi d'une galerie ou d'une conduite à écoulement à surface libre et un dissipateur d'énergie aval.

Ce type d'ouvrage équipera le plus souvent les grands barrages vu les avantages :

- ✚ Evacuation d'importants débits ($80 < Q < 6000$) m³/s.
- ✚ Bon fonctionnement avec forte chute pour des grandes charges.

En parallèle ce type d'évacuateurs représente les inconvénients :

- ✚ Problème de saturation (Débit supérieur à celui de dimensionnement, charriage)
- ✚ Problème de vibration.
- ✚ Problème de liaison difficile à assurer (digue - conduite ou galerie).
- ✚ Prévoir des protections antivortex (coût et entretien).
- ✚ Dissipation au pied de la digue.

b. Evacuateur de crues latéral à entonnement latéral

Ce type d'ouvrage est à écoulement à surface libre, son critère de choix est purement topographique.

Ce type représente l'avantage principal d'une limitation du volume des fouilles avec une grande largeur déversante.

L'inconvénient majeur est celui de la saturation, puisque la capacité de débit est limitée par la section d'entonnement du coursier.

c. Evacuateur de crue latéral à entonnement frontal

Ce type appartient à la catégorie des évacuateurs à écoulement à surface libre. Il représente les avantages :

- ✚ Fonctionnement très sûr même pour des débits dépassant le débit de la crue de projet.
- ✚ Facilité de réalisation.

Ces inconvénients sont :

- ✚ Le coût élevé.
- ✚ La difficulté de modification.

VI.2.2 Choix de l'évacuateur de crue

Près de la moitié des cas de destruction des barrages en terre provient de submersions dus à une insuffisance ou à une absence d'évacuateur de crue. Pour cela il faudra prendre plusieurs facteurs en considération

- a) topographie : l'oued présente des rives avec une pente plus ou moins douce alors que ce dernier se dirige vers la rive gauche : en aval ainsi qu'il y a un talweg qui véhicule les eaux déversées vers ce dernier ce qui favorise l'implantation de l'axe de l'évacuateur de crues sur la rive gauche ceci va diminuer les travaux d'excavation et ces conditions nous permettent d'implanter un évacuateur latérale à entonnement frontale.
- b) Géologie : d'après les sondages implantés sur l'axe de la digue notamment sur la rive gauche de l'oued on remarque que la formation géologique de la dite rive pourra supporter un ouvrage en béton. On remarque aussi la présence des alluvions ainsi que l'absence des roches dans la fondation du barrage ce qui défavorise la réalisation d'un tunnel ou d'une galerie.
- c) Fonctionnement : au contraire de l'évacuateur tulipe l'évacuateur à ciel ouvert ne représente aucun danger lors de l'évacuation, en plus il est plus facile à entretenir.
- d) Réalisation : dans notre cas le type le plus adapté de point de vue réalisation est celui qui a été choisi en (c) vu la grandeur du projet ainsi que l'aspect économique qui est le même très important.

Conclusion

Le type d'évacuateur choisi est un évacuateur latéral à entonnement frontal.

VI.2.3 Constituants de l'évacuateur de crue

L'évacuateur de crues est constitué des éléments suivants :

✚ Un canal d'approche :

Le canal d'approche est un dispositif qui permet de réduire au minimum les pertes de charges et de guider calmement la crue vers le seuil déversant, généralement l'écoulement est calme avec une vitesse faible.

✚ Un déversoir :

Le déversoir choisi sera de type GREAGER, qui a développé un profil optimal du déversoir de façon à n'avoir ni pression, ni dépression sur le béton.

✚ Un chenal :

Le chenal fait directement suite au déversoir, dans le cas d'un évacuateur de surface, sa pente est suffisamment faible pour que le régime soit fluvial. Il est en général de section rectangulaire, sa longueur est rarement importante car il sert uniquement à contourner le sommet du barrage avant d'aboutir au coursier.

✚ Un coursier.

Le coursier est un ouvrage de raccordement, il fait suite au chenal d'écoulement, sa fonction est de conduire l'eau au dissipateur d'énergie. Pour assurer de bonnes conditions de l'écoulement il est conseillé de lui donner une section rectangulaire.

✚ Un bassin de dissipation

Il permet de dissiper l'énergie des eaux de crue avant de les instituer à l'oued, la forme du ressaut et ses caractéristiques dépendent directement du nombre de Froude d'après les tests réalisés par (USBR) "The bureau Of Réclamation».

$1,0 \leq Fr \leq 1,7$ Ressaut ondulé.

$1,7 < Fr \leq 2,5$ Ressaut faible de petites apparitions en surface.

$2,5 < Fr \leq 4,5$ Ressaut oscillant.

$4,5 < Fr \leq 9$ Ressaut stable (Stationnaire).

$Fr > 9$ Ressaut fort (Ecoulement très turbulent).

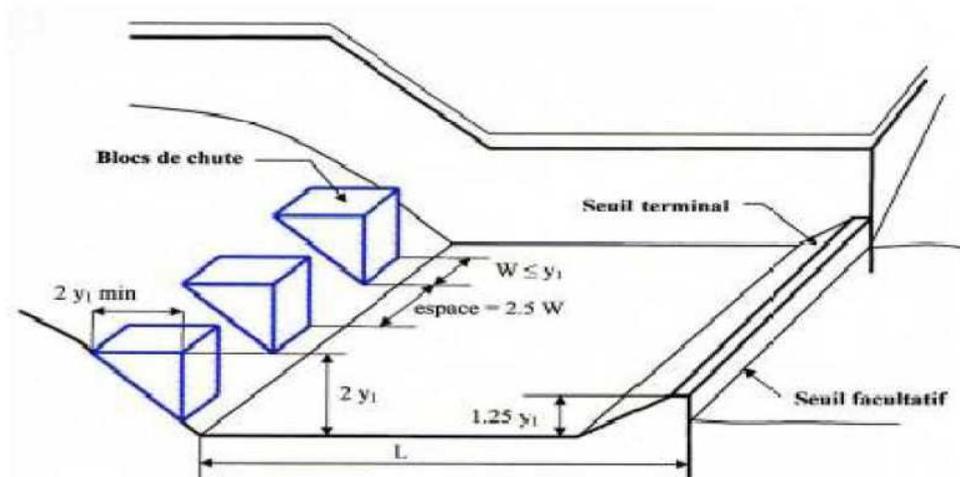


Figure IV.1 : Bassin de dissipation

✚ Un canal de restitution

Le canal de restitution a pour but d'acheminer les eaux évacuées vers l'oued après la dissipation de son énergie; selon les conditions topographiques.

VI.3 Vidange de fond

L'ouvrage de vidange est primordial pour un barrage, il a pour rôle :

✚ D'assurer la vidange de la retenue en quelques jours en cas d'avarie grave constatée sur les ouvrages (Renards, glissement d'une partie de talus aval).

✚ De vider la tranche morte en fin de saison d'utilisation des eaux stockées pour l'entretien de la retenue (curage éventuel des dépôts et des parties amont du collinaire (prise, parement amont de la digue).

✚ De faire passer les eaux lors de la montée du remblai (évacuation de la crue de chantier).

Le barrage sera équipé d'une vidange de fond, afin de pouvoir abaisser le plan d'eau en cas de besoin, ou de vider complètement la retenue.

La vidange de fond est dimensionnée pour décharger un débit de $130 \text{ m}^3/\text{s}$, lorsque le niveau du bassin est à la cote 122 m (NNR), à partir de ce niveau le volume $77,5 \text{ Mm}^3$ sera vidangé en 8 jours environ.

VI.4 Prise d'eau

La prise d'eau est l'ouvrage destiné à faire le prélèvement de l'eau de la retenue pour l'acheminer vers l'utilisateur.

VI.5 Hangar de dépôt et de commande

Le hangar de dépôt et de commande occupe une surface de (14 m x 22 m) et une hauteur de 5,5 m. Le hangar est deviser en deux parties ; la première sert de dépôts des grilles et des vannes, alors que dans la deuxième partie se trouve le pont roulant permettant de charger les grilles et les vannes sur les camions en vue de leurs transports hors du hangar.

C'est dans cette partie aussi qu'on peut procéder à des réparations et l'entretien des vannes.

Chapitre VII

ORGANISATIO DE CHANTIER

Introduction

L'organisation de chantier est l'utilisation optimale de ses moyens matériels et humains afin d'achever le projet (le barrage) dans les délais mais aussi le plus économiquement possible et dans les règles de l'art. Ceci ne sera fait qu'une fois un schéma ou un programme d'exécution sera projeté d'une manière intelligente.

Les principes de base observés dans l'organisation de chantier et le calendrier des travaux sont :

- ✚ Mécanisation du chantier à un degré maximal et l'utilisation d'un matériel efficace et d'un personnel hautement qualifié.
- ✚ Coordination des différentes phases de construction en matière de simultanéité des travaux à exécuter sur le chantier pour accélérer la réalisation.
- ✚ Réalisation du barrage et des ouvrages annexes dans la période la plus sèche de l'année.

VII.1 Succession des travaux**VII.1.1 Travaux préparatoires**

Généralement les travaux préparatoires sont :

- ✚ La préparation des accès et de la circulation pour la préparation de chantier.
- ✚ Le piquetage d'implantation des ouvrages.
- ✚ Les travaux d'aménagement des emprises et préparation des zones d'emprunt.
- ✚ Déboisement de la cuvette et décapage des fondations et creusement éventuel de la clé d'ancrage du barrage.
- ✚ La réalisation de l'ouvrage de dérivation qui va servir par la suite à une vidange de fond.

VII.1.2 Exécution de l'ouvrage (Planning et phasage des travaux)

Pour une bonne gestion du projet du point de vue délai et coût, un programme d'exécution doit être fait et étudié sérieusement

L'enchaînement chronologique des principales phases du chantier de construction ne devrait guère être éloigné du schéma type proposé :

- Un piquetage est nécessaire pour la matérialisation des repères par rapport à des points de référence fixes, l'axe et l'assiette du barrage et les ouvrages annexes tels que les canalisations, les drains et l'évacuateur.
- Aménagement des emprises (abattre des arbres, décapage des terres végétales)
- Remblaiement de l'accise de l'ouvrage et des fondations jusqu'au terrain naturel.
- Dérivation et protection contre les eaux (protection contre les crues survenant lors des travaux de réalisation.)
- Mise en place de la conduite de vidange et de prise.
- Approvisionnement des matériaux filtrants.
- Exécution du remblai (excavation, chargement, transport, décharge, et compactage).
- Génie civil des ouvrages de prise et de l'évacuateur de crue.
- Mise en place des équipements hydrauliques.
- Travaux de finition, fermeture des zones d'emprunt, revêtement de crête et de route d'accès, équipement divers et aménagements des abords.

a. Réalisation de la digue

Les travaux ainsi que les engins utilisés sont mentionnés ci-dessous:

Décapage de la couche de terre végétale

- Pour le creusement et les déplacements des terres on utilise des bulldozers.
- Pour les chargements on utilise des chargeurs.
- Pour les transports des remblais on utilise les camions à benne.

Exploitation des carrières

-Les décapages des couches superficielles et leur transport vers les dépôts provisoires se feront à l'aide des bulldozers muni de rippers.

-On doit procéder à un aménagement des fosses de ceinture tout autour de la carrière.

-On doit encore procéder à des rampes pour permettre tous les accès.

✚ Exécution de la fouille d'encrage de la digue

- Les terrains meubles seront exécutés à l'aide des chargeurs.
- Les terrains rocheux seront exécutés à l'aide des explosifs.

✚ Choix des engins

Les engins utilisés pour les excavations sont des excavateurs à godets et des excavateurs de tranchée. En ce qui concerne le transport des camions à bennes sont utilisés qui ont une bonne capacité, le nivellement sera fait par des niveleuses.

On compacte le sol dans le corps du barrage couche par couche par un rouleau. Pour atteindre la densité du projet, il faut faire des couches de sol de 30cm d'épaisseur avec 6 à 8 passes au rouleau pour obtenir un remblai bien compacté. Un contrôle journalier doit être fait durant toute la période de réalisation du remblai. Pendant la saison d'été il faudra augmenter la quantité d'eau pour l'humidification et pour faciliter le compactage.

✚ Réalisation des drains et filtres

On a projeté un drain incliné suivi d'un drain tapis pour acheminer l'eau infiltrée vers le drain prisme, qui va l'évacuer en dehors du remblai.

Le compactage des filtres s'effectue à l'aide d'un compacteur à pneu vibrant. On note que la circulation des engins au dessus des collecteurs et des drains n'est autorisée qu'après la mise en place d'une couche suffisante de remblai.

✚ Protection de la crête et des talus

La crête est protégée par une couche de 40 cm insensible à l'eau (produit asphaltique), résistant à la circulation des véhicules.

La mise en place des enrochements pour la protection des talus se fait à l'aide d'une pelle mécanique. Les enrochements seront posés sur des épaisseurs au moins égales à celle indiquées sur les plans d'exécution.

b. Réalisation de l'évacuateur de crue

L'évacuateur de crue sera réalisé en parallèle avec la digue.

Les principales étapes de sa réalisation sont:

- Exécution de la fouille de l'évacuateur le long du tracé à l'aide de pelles mécaniques ou de BULLDOZERS.
- Aménagement du fond du canal.
- Aménagement des filtres, béton de propreté et des drains.
- Coffrage, ferrailage, bétonnage, blocs par blocs et mise des joints.
- Protection en enrochement à l'entrée et à la sortie de l'ouvrage.

c. Réalisation de la dérivation provisoire

La galerie de dérivation se fait en béton armé elle en section fer de cheval avec un diamètre de 5m, l'épaisseur des parois est de 25cm (barrage Souk Tlata avant projet détaillé).

La vidange de fond est une conduite en béton, de diamètre 2500mm, la prise d'eau est une conduite en acier de diamètre 620mm. (barrage Souk Tlata avant projet détaillé).

Avant d'entamer la réalisation du corps du barrage, on est tenu à réaliser la dérivation provisoire qui va servir à évacuer le débit de chantier et qu'on transformera plus tard en vidange de fond.

On résumera les étapes de sa construction en:

- Excavation de la tranchée le long de la trace de la galerie à l'aide d'une pelle mécanique.
- Préparation et mise du béton de propreté pour la galerie le long de la trace.
- Coffrage, ferrailage et bétonnage de la galerie par tranche avec jointure.
- Réalisation du batardeau et du remblai déversé en argile.
- Montage de la vidange de fond.
- Exécution de la prise d'eau.
- Exécution de la chambre des vannes et montage des vannes.
- Réalisation du bassin d'amortissement et en fin le canal de restitution.

VII.2 Planification

La planification n'est rien d'autre que le résultat d'un bon management basé sur la recherche permanente de nouvelles méthodes du travail pour un meilleur rendement; son objectif est de s'assurer que le travail se fait dans un enchaînement logique, dans les délais et au moindre coût.

Le délai de construction du barrage Souk Tlata en tenant compte du temps de réalisation de chacune des opérations qui le composent (sachant que certaines opérations peuvent être menées parallèlement) est estimé à 59mois au maximum, pendant la période de préparation, on installe et on organise le chantier.

VII.3 Devis estimatif du barrage et des ouvrages annexes (Barrage Souk Tlata avant projet détaillé)

Le devis estimatif du barrage et des ouvrages annexes est déterminé en sommant le coût des différents travaux, à savoir les excavations, les remblais et le bétonnage pour l'évacuateur de crues et la dérivation provisoire.

Ainsi on obtient les résultats pour les différents ouvrages dans les tableaux VII.1, VII.2 et VII.3.

Tableau VII.1: devis estimatif de la digue

Désignation	Unité	Quantité	P.U	Montant
		m ³	(DA)	(M DA)
Noyau du barrage	m ³	205000	500	102,5
Recharge amant	m ³	337800	400	135,12
Recharge aval	m ³	400000	400	160
Deblai de tranchee de la parafuille	m ³	31000	300	8,3
Transition alluvionnaire amant	m ³	38200	400	15,28
Filtre	m ³	32000	600	19,2
drain	m ³	50000	600	30
L'enochement	m ³	35600	3000	106,8
Protection du parement aval	m ³	6400	240	1,536
Colmatage aval	m ³	37000	500	18,5

Montant total =597,236(M Da)

Tableau VII.2 : devis estimatif L'évacuateur de crues

Désignation	Unité	Quantité	P.U	Montant
		m ³	(DA)	(M.DA)
Déblai	m ³	28690	300	86,07
Remblai	m ³	18220	500	0,9 11
Béton armé 350 kg/m³	m ³	6600	15000	99,000
Béton de propreté 250 kg/m³	m ³	250	11000	2,75000
Enrochements	m ³	750	3000	2,25000
sable	m ³	1260	1200	1,51200
Waterstop	ml	900	300	0,27
Montant total = 114,76 (M.Da)				

Tableau VII.3 : Dérivation, vidange de fond et prise d'eau

Désignation	Unité	Quantité	P.U	Montant
		m ³	(DA)	(M.DA)
Déblai	m ³	12400	250	3,10000
Remblai	m ³	9300	500	4,65000
Béton armé 350 kg/m ³	m ³	1780	15000	26,70000
Béton de propreté 250 kg/m ³	m ³	80	11000	0,88000
Enrochements	m ³	50	3000	0,15000
Conduite métallique 300 mm	ml	1410	40000	56,40000
Vannes 300mm	u	20	38000	0,76000
Vannes 100mm	u	20	18000	0,36000
Grille	u	10	3000	0,03000
Montant total = 93,03 (Da)				

Le coût total de l'ouvrage est de: huit cent cinq millions dinars (805DA).

Chapitre VIII

PROTECTIO ET SECURITE DE TRAVAIL

Introduction

Dans le cadre de la gestion de l'absentéisme, vous pouvez être confronté à des pathologies ou maladies d'origine professionnelle, on a de nombreux accidents de travail.

Les accidents du travail et les problèmes qui en découlent ont une grande importance, sur le plan financier, sur le plan de la production et sur le plan humain.

L'objet sera donc de diminuer la fréquence et la gravité des accidents de chantier, il existe pour cela un certain nombre de dispositifs de consignes et de règlements dits « de sécurité », leur utilisation est contestable bien que le problème reste difficile.

VIII.1 Comite de sécurité

L'Agent de sécurité fait la patrouille périodiquement dans le chantier et rapporte le résultat de la patrouille à la réunion tenue à cet égard.

VIII.2 Instructions structurelles sur la sécurité**✚ Instructions à donner aux travailleurs et aux visiteurs du chantier**

Quoiqu'il en soit, Algérien ou expatrié, la personne qui travaille ou pénètre sur le site doit être informé en matière de sécurité de façon qu'il respecte les règles de sécurité du chantier.

✚ Instructions à donner au Chef d'équipe

Le Chef d'équipe confirme périodiquement les mesures préventives contre les accidents.

- **Réunion matinale en matière de sécurité :** Le contre maître de chaque poste préside tous les matins une réunion pour expliquer le détail des travaux à exécuter en précisant l'instruction sur la sécurité.
- **Mise en ordre du chantier :** L'effectif de chaque poste s'engage à la mise en ordre du chantier une fois par mois à la date préalablement fixée.

✚ Principales fonctions du service de sécurité**✚ Etudes :**

- ✓ Participation au Comité d'hygiène et de sécurité.
- ✓ Analyse des postes de travail « Etude Sécurité ».
- ✓ Suggestions du Personnel.
- ✓ Statistique : élaboration et commentaire.
- ✓ Rapport avec l'administration.

✚ Exécution :

- ✓ Mesures légales d'hygiène et de sécurité (code de travail).
- ✓ Réalisations pratiques des suggestions et des études.

✚ Contrôle :

- ✓ Enquêtes à la suite des accidents.
- ✓ Inspections des installations.
- ✓ Visites périodiques effectuées par les organismes.
- ✓ Contrôle éventuel des moyens de transport du personnel.

✚ Animation :

- ✓ Lutte contre l'incendie et les accidents de trajet.
- ✓ Equipes de secours.
- ✓ Formation spéciale concernant certaines professions

VIII.3 Causes des accidents de travail

Les différents facteurs réagissant les causes d'accidents de travail se divisent en deux catégories : l'une se traduit par les facteurs humains, l'autre par les facteurs matériels.

+ facteurs humains

Ces facteurs concernent les actions dangereuses dans le travail dues au comportement de nature humaine qui nécessite dans certains cas l'intervention d'un médecin et d'un psychologue tel que :

- La négligence des travailleurs.
- La fatigue excessive
- Manque de concentration.
- L'agitation
- La nervosité.
- Inaptitude mentale ou physique.
- Taux d'erreur important.

+ facteurs matériels

Les causes d'accidents d'origine matérielle évoluent généralement pendant l'exécution des travaux. Elles proviennent :

- Des outils et engins utilisés (implantation, entretien).
- Du lieu de travail (éclairage, conditions climatiques).
- Des conditions d'hygiène et de sécurité (ventilation, production).

VIII.4 Causes des maladies professionnelles**+ Les poussières**

Par son inhalation, la poussière est l'un des facteurs qui cause le plus de maladies graves. Parmi ces maladies nous pouvons citer la silicose due aux poussières de silicium qui est l'une des plus graves et des plus fréquentes des maladies professionnelles, notons également l'asbestose due aux poussières d'amiante, ainsi que la sidérose due aux poussières d'oxyde de fer.

Ces maladies se traduisent par un certain nombre de symptômes tels que :

- dyspnée : au début difficulté de respirer, c'est une dyspnée d'effort, puis cela aboutit à une insuffisance respiratoire plus importante.
- l'hémoptysie : expectoration sanglante avec risque de tuberculose.

Le bruit

Les surdités professionnelles surviennent par traumatismes sonores dus à la nocivité du bruit pour l'oreille interne, surtout les bruits impulsifs inférieur à une seconde et aigus, c'est une surdité de perception parce qu'elle se situe au niveau de l'oreille interne.

Nous pouvons citer comme exemple le marteau piqueur qui donne une surdité de perception avec une notion à clarifier : une durée minimale d'exposition de deux années, déficit audiométrique bilatéral par lésions cochléaire irréversible, c'est-à-dire ne s'aggravant plus après cessation d'exposition aux risques, le marteau piqueur donne également des tendinites aux niveaux des coudes et des poignets par microtraumatismes dus aux vibrations.

VIII.5 Conditions dangereuses dans le chantier

-  Installation non protégée ou mal protégée.
-  Outillages, engins et équipements en mauvais état.
-  Matière défectueuse, stockage irrationnel.
-  Protection individuelle inexistante.
-  Défauts dans la construction.
-  Eclairage défectueux.
-  Facteur d'ambiance impropre.
-  Conditions climatiques défavorables.

VIII.6 Actions dangereuses

- ✚ Intervenir sans précaution sur des installations sous tension, sous pression ou contenant des substances toxiques ou inflammables.
- ✚ Intervenir sans précaution sur des machines en mouvement.
- ✚ Agir sans prévenir ou sans autorisation.
- ✚ Ne pas utiliser l'équipement de protection individuelle.
- ✚ Imprudence durant le travail.
- ✚ Suivre un rythme de travail inadapté.

VIII.7 Methodes et moyens de prévention

La protection du personnel doit être assurée d'une manière bien satisfaisante par les services appropriés.

- ✚ Les appareils de levage doivent être établis sur une surface présentant une résistance suffisante.
- ✚ Les câbles et les chaînes de levage ne doivent pas être soumis à des charges supérieures à celle fixée.
- ✚ Les travaux ne doivent être exécutés que lorsque l'installation est mise hors tension et hors tous dangers.

Les abris doivent être aérés et chauffés

VIII.8 Plan de sécurité adapté aux travaux de réalisation

Puisque les travaux de terrassement sont les travaux qui prennent la plupart du temps dans la réalisation du barrage, on a proposé un plan de sécurité adapté aux travaux de terrassement généraux, de soutènement et de fondation profonde. Le plan de sécurité est résumé dans le tableau suivant.

Tableau VIII .1 : Plans de sécurités

OBJECTIFS VISES	MESURES A PRENDRE
<p>- Prévenir les risques d'accidents par chutes, chutes et engins de terrassement.</p>	<p>Disposition concernant :</p> <ul style="list-style-type: none"> -La réalisation du chantier de jour comme nuit. -Les zones interdites au public. - Les précautions particulières à prendre en cas de brouillard. -Réglementation de la circulation, signalisation interne aux chantiers, dépôts (panneaux, repérages.).
<p>- Limiter les risques d'incidents lors de l'approvisionnement du chantier. Assurer la stabilité, la consolidation et la reprise des éléments stockés.</p>	<p>Repérage des lignes électriques.</p>
<p>- Prévenir les accidents lors de l'utilisation du matériel : De renversement des engins ; De l'éboulement des terrains ;</p>	<p>Disposition à prendre pour le guidage des camions et des engins notamment lors des manœuvres en marche arrière.</p>
<p>- Eviter les heurtes entre les engins et renversement des engins.</p>	<p>Interdiction de dépassement et de stationnement.</p>
<p>- Assurer la stabilité à la conservation et la reprise aisée des éléments stockés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Définition des lieux de stockage des divers matériaux. -Moyens de calage de chargement et de déchargement.
<p>- Eliminer les surcharges en bordure des fouilles.</p>	<p>Mode de stockage des déblais et leur mode de déchargement.</p>
<p>- Prévenir les chutes des objets.</p>	<p>Examen des câbles soumis à des sollicitations particulières.</p>
<p>- Prévenir des ruptures des organes de levage.</p>	<p>Disposition et consignes particulières concernant l'entretien des matériels, des installations, les engins et les véhicules.</p>
<p>- Heurts des personnes par les outils.</p>	<p>Les travailleurs qui utilisent la pioche ou la pelle dans leurs activités doivent être tenus à une distance suffisant les uns des autres.</p>

Conclusion

La prévention et la sécurité de travail doivent être prises très au sérieux, l'esprit de sécurité et protection doit être dans chaque employé, dans chaque ouvrier, dans chaque responsable pour que la perte de vie humaine inutilement cesse, et ne se préoccuper uniquement que du rendement du travail.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de la préparation du mémoire de fin d'étude, nous avons essayé de traiter et d'étudier la faisabilité d'un barrage sur l'oued Bougdoura dans la wilaya de Tizi-Ouzou qui est destiné à l'AEP et AEI.

La fiabilité d'un ouvrage hydraulique dépend essentiellement de sa conception, de l'information et de la qualité de l'information ainsi que de la puissance des méthodes de dimensionnement des ouvrages en question.

On a procédé en premier lieu à l'élaboration d'une étude géologique et géotechnique comprenant l'étude de la fondation du site, de la cuvette et de la disponibilité des matériaux de construction

L'élaboration de l'étude hydrologique a posé un problème vu le manque d'informations hydrologiques.

En fonction des différents paramètres entrant dans la conception des ouvrages de retenue, plusieurs variantes ont été proposées dont la variante de digue en matériaux locaux homogènes qui a été la plus probable vu les conditions de son établissement.

Finalement, il est utile de noter que l'élaboration d'une telle étude nécessite des connaissances bien approfondies dans tous les domaines qui touchent l'hydraulique. De plus La disponibilité de l'information aurait rendu l'étude beaucoup plus simple et les résultats obtenus bien plus fiables notamment l'étude hydrologique.

Toutefois, nous espérons que cette présente étude fruit de toute une formation soit un travail de base qui est sujet à réflexion et amélioration afin qu'il soit bénéfique.

BIBLIOGRAPHIE

ANBT : agence national des barrages et transfert (Alger).

BENABBAS (1988) .contribution a l'étude géologique et géotechnique du barrage de Souk Tleta, ing d'état en geol-IST (USTHB).

CIGB : « Chantiers de barrages, prévention des accidents », Bulletin 80 .1992

GERARD DEGOUTTE : «Petits barrages».Comité français des grands barrages Edition CEMAGREF. France, 1997.

Deere D. U., Peck R. B., Parker H. *Design of tunnel support system.* High. Res. Rec. n° 339, pp. 26- 33, 1970.

Association Française des Travaux en Souterrain. *Groupe de travail n°1 : Texte des Recommandations pour une description des massifs rocheux utile à l'étude de la stabilité des ouvrages souterrains,* Lyon, 1993.

G. REMENIERAS : «L'hydrologie de l'ingénieur». Edition EYROLLES 1999.N°17, édition 1958.

PADAUX : «Techniques des barrages en aménagement rural». Edition EYROLLES 1985.

Expertise avant projet détaillé du barrage Souk Tleta. (Document ANBT)

Avant projet détaillé bureau d'étude lombardi (suisse).

HABIRECHE.A ET GUIROUS .L (2010).gestion d'une crue dans un barrage, thèse de master, université mouloud mammeri TIZI-OUZOU

Chalah.N et Mestar.N : **étude et conception d'un barrage en terre** (université mouloud mammeri TIZI-OUZOU ; promotion 1999)

Afiri .R : **etude de faisabilité d'un barrage en terre** ; barrage de Souk Tleta, thèse de master, université mouloud mammeri TIZI-OUZOU

Anton J.schleiss et Henri pougatsh2010, les barrages du projet à la mise en service ; volume 17 presse polytechnique et université Romande.

BIBLIOGRAPHIE

Ouznaoui, H., 1990, « Faisabilité du barrage Babar sur oued el Abiod wilaya de kenchela ». Mémoire de fin d'études. Institut de Génie Civil, Université des Sciences et de la Technologie Hourii Boumediene. 189 pages.

Guilcher, A., 1979, « Précis d'Hydrologie Marine et Continentale ». Edition Masson, 2ème édition.

BOUCHEMAL, R., 2005, « Etude de faisabilité d'un petit barrage sur l'oued de Kolla W. Ain Temouchent ». Mémoire de fin d'études, option « conception des ouvrages Hydraulique » E.N.S.H Blida.

Bénina, T., 2004, « Manuel pratique d'hydrologie ». 166 pages.

Ayad, H. & Mazrou, S., 1993, « Etude de faisabilité du barrage Takdempt sur l'oued Sebaou ». Mémoire de fin d'études, département hydraulique. Ecole Nationale Polytechnique Alger.

A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques), données pluviométriques de tizi-ouzou, 1968 à 2002.

Annexes

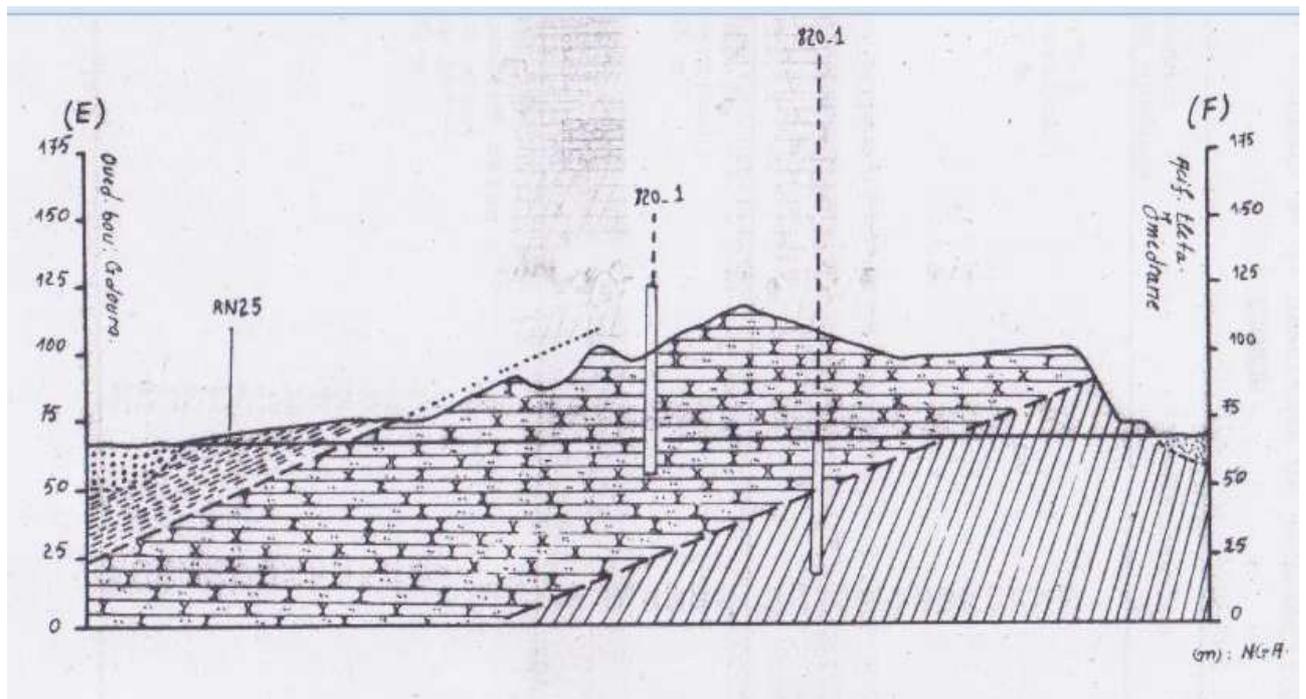


Figure I.1 : coupe géologique ; acif tala imedrane.

----- Fuseau des courbes granulométrique

————— Ecart min. et max. P= 67.3 %

• Classification U.S.C.S :

GM/GM-ML à SM-ML/SM-ML

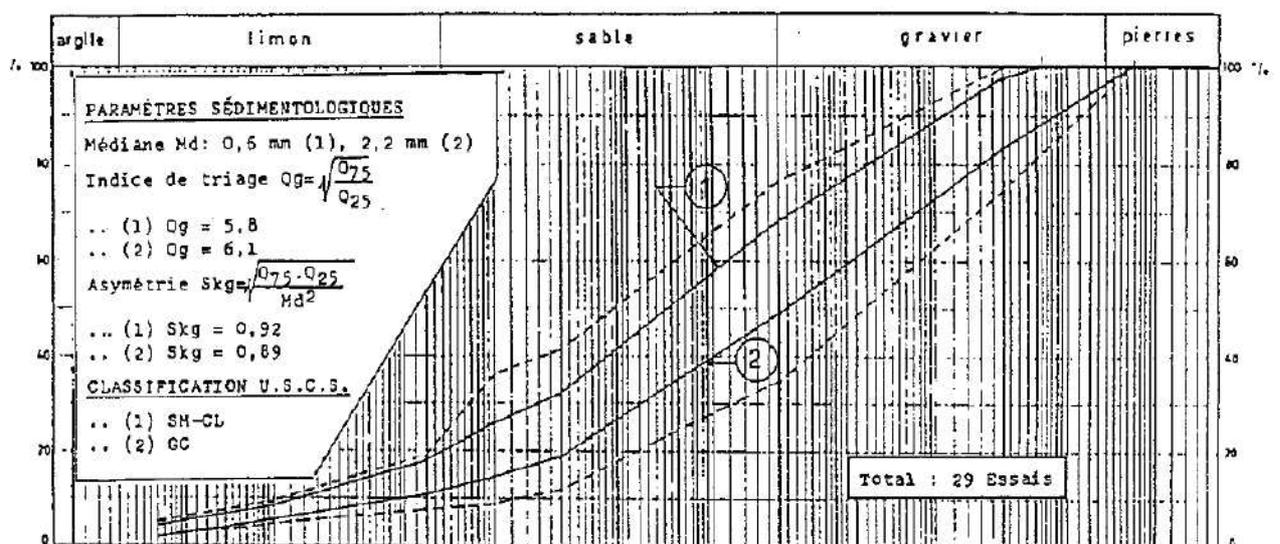


Figure I.2 : courbe granulométrique des alluvions

Poudingues Pliocènes. Fuseau des courbes granulométriques

Forage F112 et 119bis

----- courbe de Fuller pour $D_{max} = 50\text{mm}$

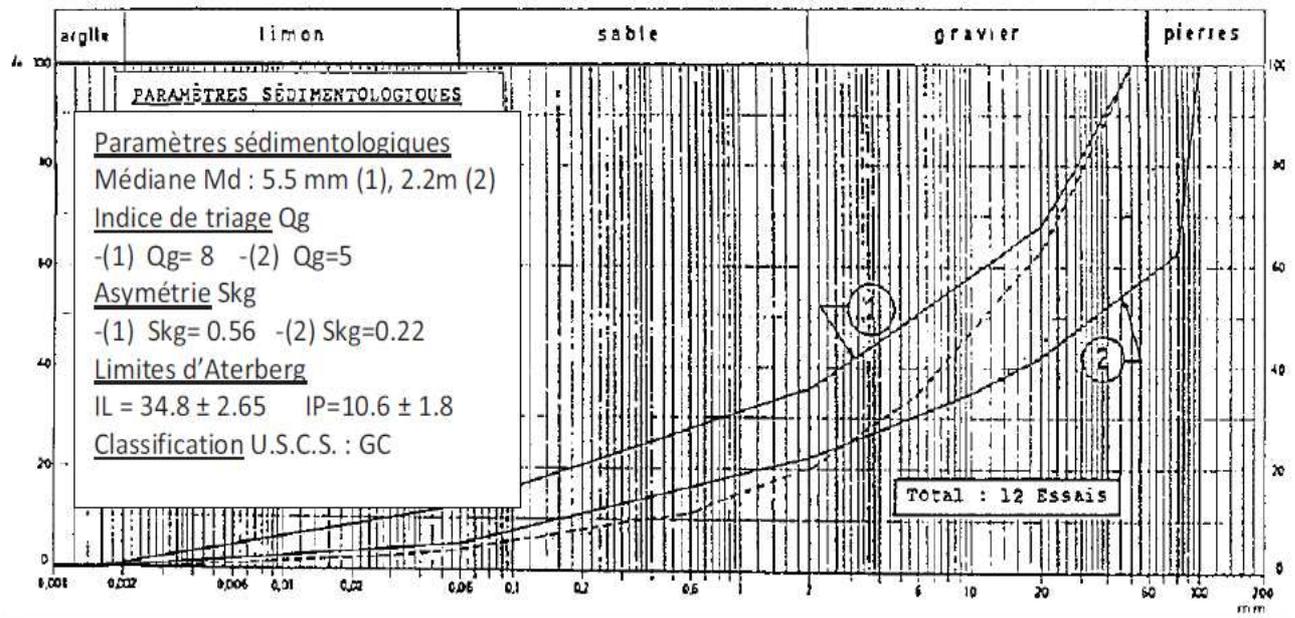


Figure I.2 : courbe granulométrique des poudingue

PROVENANCE : B.ge de SOUK EL TLATA
 Grès burdigaliens

- F 102: 106,6-106,9 m
- F 116: 14,1-14,7
- F 103: 96,9-97,1 m
- F 115: 8,0- 8,65 m
- F 115: 9,0- 9,74 m

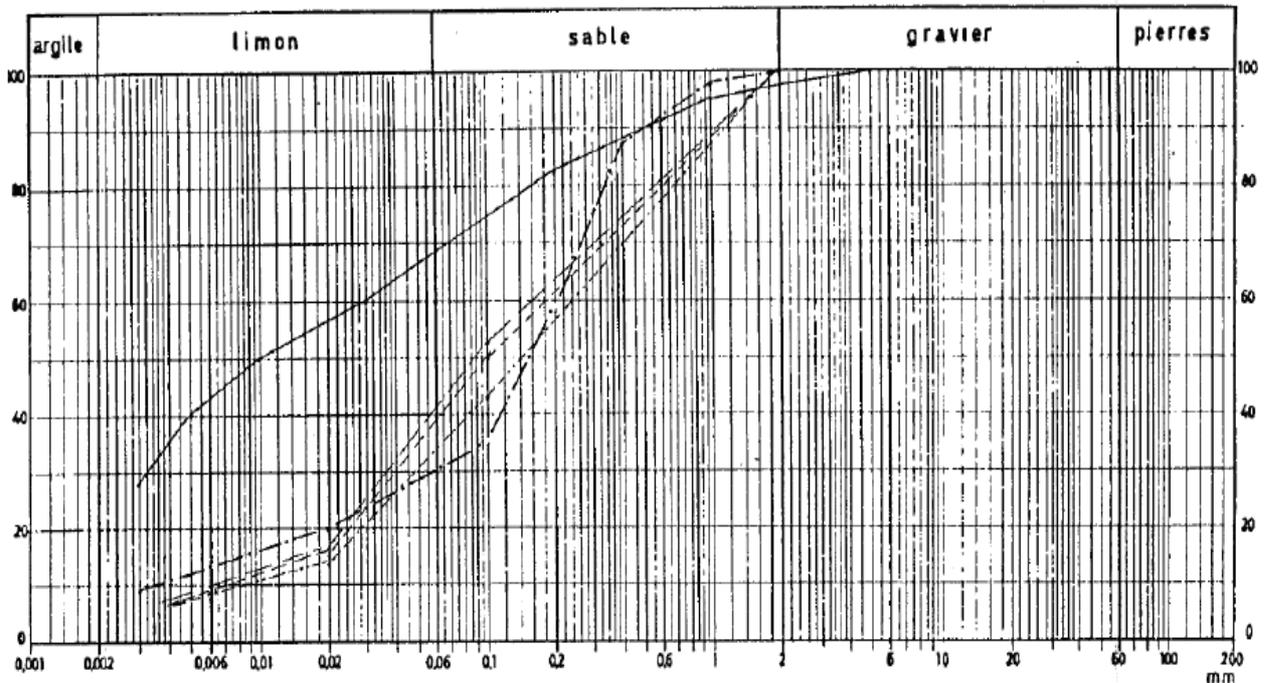


Figure I.2 : courbe granulométrique des grès

Tableau I.1 : tableau récapitulatif des résultats d'essais de laboratoire des matériaux

			Argiles colluviales	Poudingues pliocènes	Alluvions
Paramètre de classification	granulométrie	< 2 micron %	7-15	/	/
		< 0.06 mm %	/	4-12	8-23
	Limites d'atterberg	W _L (%)	35.3	34.1	/
		I _p (%)	16.5	10.5	/
	Densité saturé	γ_{sat} (KN/m ³)	/	21.8	22
	Densité sèche	γ_d (KN/m ³)	/	19.7	21.3
	Densité humide	γ_h (KN/m ³)	18	24	21
	Teneur en eau optimum %:-	W _{opt} (%)	14.7	4.7	7.3
	Teneur en eau naturel	W _n (%)	/	/	/
	Densité sèche optimum	$\gamma_{d\ opt}$ (KN/m ³)	18.3	22.7	21.3
	Classification U.S.C.S		CL	GS	GM-ML/SM-ML
	Activité colloïdale	A(%)	1.56	/	/
	Poids spécifique des grains	$\bar{\gamma}_s$ (KN/m ³)	/	2.66	/
	Teneur en CaCO3 %	X(%)	0	/	/
	Teneur en matière organique %	\bar{X} (%)	0.93	/	/
Paramètres mécaniques	Indice de compression	C _c %	15	/	2.5
	Indice de gonflement	C _g %	1.8	/	0.75
	Module de compressibilité	E _o (Mpa)	20	40	46.9
	résistance au cisaillement:	C (Kpa)	35	150	110
		ϕ (°)	18	38	36
Coeff. De perméabilité	K (cm/s)	1.10 ⁻⁶	5.10 ⁻⁵	5.10 ⁻³	

Tableau I.1 : tableau récapitulatif des résultats d'essais de laboratoire des matériaux

			Pélites saines	Grès burdigaliens
Paramètre de classification	granulométrie	< 2 micron %	/	/
		< 0.06 mm %	/	30-68
	Limites d'atterberg	W _L (%)	57	27.4
		I _p (%)	29	12.2
	Densité saturé	γ _{sat} (KN/m ³)	19	20
	Densité sèche	γ _d (KN/m ³)	1.6	2.17
	Densité humide	γ _h (KN/m ³)	20	20.5
	Teneur en eau optimum %:-	W _{opt} (%)	/	/
	Teneur en eau naturel	W _n (%)	9.3	3.6
	Densité sèche optimum	γ _{d opt} (KN/m ³)	/	19.5
	Classification U.S.C.S		CH	CL
	Activité colloïdale	A(%)	/	/
	Poids spécifique des grains	γ _s (KN/m ³)	27.1	26.8
	Teneur en CaCO3 %	X(%)	18.4	13.7
Teneur en matière organique %	X̄(%)	/	/	
Paramètres mécaniques	Indice de compression	C _c %	6.9	/
	Indice de gonflement	C _g %	2.75	/
	Module de compressibilité	E _o (Mpa)	50	/
	résistance au cisaillement:	C (Kpa)	30	0
		φ (°)	24	30
Coeff. De perméabilité	K (cm/s)	4.10 ⁻⁶	4.5.10 ⁻⁵	

Années	Tizi-Meden	D.E.M	Boghni	Ain-Zaouia	Nezlioua	Tizi-Letnine	Souk Tlet
1968-1969	636,4	613,7	715,2	655,5	811,91	692,8	688,6
1969-1970	1083,9	1058,7	1104,8	1119,7	1300,8	1386,9	1111,4
1970-1971	556,2	518,1	540,2	422,3	756,5	330,2	613,3
1971-1972	904	1154,6	912,3	519,3	1091,4	1507,7	941,6
1972-1973	1047,8	975,4	1066,2	550,3	1157	830	1162,2
1973-1974	989,3	997,5	1003,3	774,9	1062,9	1005,6	1021,9
1974-1975	565,1	545,1	593,1	571,2	571,8	578,8	621,7
1975-1976	845,2	822,4	970	904,8	556,6	941,5	886,1
1976-1977	645,3	624,5	620,4	519,5	541,4	658,2	697,4
1977-1978	590,6	472,8	623,3	523,8	675	641,7	640,7
1978-1979	644,9	602,9	639,2	543,2	788,4	744,7	697,5
1979-1980	677,1	657,1	720	590,4	787,7	843,6	800,7
1980-1981	808,8	734	814,5	739,1	736,1	802,5	886,1
1981-1982	660,1	635,1	609,1	644,5	632,9	745,4	679
1982-1983	707,7	668,2	543,3	639,3	698,2	682,1	663,5
1983-1984	664,6	703,1	643,7	539,6	693,2	595,9	647,9
1984-1985	837,1	834,7	775,6	721,9	1064,3	764,8	896,8
1985-1986	658,1	715,8	665,9	563,2	714,8	593	694,1
1986-1987	895,6	880,6	912,6	738,2	928,2	761,2	985,7
1987-1988	520,4	520,9	500,4	417,6	648,8	602,8	514,4
1988-1989	720,4	597,7	685,6	539,4	649,4	603,6	729,4
1989-1990	514,5	475,6	495,6	451,6	560,6	496,7	727,3
1990-1991	714	743,7	709	667	851,4	846,5	725,2
1991-1992	658,5	729	649,7	633,8	851	761,8	729,8
1992-1993	672,1	651	644,2	686,5	710,8	677,4	722,7
1993-1994	535	515,3	517,5	745	545,3	478,3	593,3
1994-1995	869,4	670,3	773,8	697,3	783,8	663,1	693,1
1995-1996	853,1	702,2	807,3	681,2	721,2	742,1	892,1
1996-1997	407,2	394	372,2	368,4	423,6	392,5	446,2
1997-1998	980,1	936,6	892,2	766,2	1063	719,2	1124
1998-1999	634	567,8	642,6	640,9	643,6	645,9	659
1999-2000	496	414,5	462	392	416,4	410,4	473,8
2000-2001	670,4	624,2	702,5	600,1	765,6	545,1	707,9
2001-2002	772,4	863,1	697	215,9	803,1	614,1	710,6
moyenne	718,69	694,71	706,60	611,28	764,90	714,89	758,38
ecart type	165,45	184,08	174,36	164,60	206,33	237,34	177,03
coef de variation	0,23	0,26	0,25	0,27	0,27	0,33	0,23

Tableau II.1 : pluviométries annuelles des sept stations

ANNEXES

Année	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
68-69	0,4	0	79,4	177,2	64,8	56,7	112,9	151,4	25,9	38,1	4,6	3,8
69-70	73,8	263,5	141,7	241,8	62	124,5	176,1	163,1	80	16,5	1,8	3,2
70-71	0	79,8	6,3	114,3	114,1	31,3	87,7	42,3	40,9	1,5	0	0
71-72	0,4	0	79,4	177,2	64,8	56,7	112,9	151,4	25,9	38,1	4,6	3,8
72-73	73,8	263,5	141,7	241,8	62	124,5	176,1	163,1	80	16,5	1,8	3,2
73-74	1	81,6	6,2	92	131,7	25,8	137	61,1	45,9	7,6	4,2	4,1
74-75	70,8	55	113,2	92,1	375,5	108,3	116,2	94,4	144,2	30,5	0,2	0
75-76	78,8	56	25,8	296	205	250	132,2	47,6	0,2	26,5	0,4	14,9
76-77	101	32,7	18,9	185,4	13,4	187,2	297,2	126,8	6,5	13,6	0,7	0,7
77-78	25,7	73,8	54,1	21,7	37	109,3	149,8	27,3	58	26,2	0	10,2
78-79	84,2	13,4	238,5	47,7	73,8	178,7	89,9	108,6	76,2	25,7	27,4	5,9
79-80	21,9	99	89,4	127	92	27,9	22,1	92,7	30,3	4,6	0,8	12,7
80-81	2,2	29,1	101,5	12,8	105,7	45	105,5	147,6	82,7	0,2	0	0
81-82	0	89,8	105,4	33,1	49,9	153,5	109,4	73,1	12,9	4,7	4,5	4,7
82-83	55,4	71,1	110,3	46,1	116,6	61,6	115,6	105,7	34,1	1,5	0	2
83-84	1	55,6	110,2	277,6	36,7	79,3	84,8	70,2	40,7	6,5	0,2	51,7
84-85	9,3	30,7	33,5	84,5	220,9	126,7	56,4	18,4	23,2	3,8	1,7	0
85-86	48,6	101,4	168,1	66	1,6	53,4	38	48,6	4,8	0,9	5,1	6,8
86-87	0	23	56,6	47,4	112,2	161,8	61	49,1	99,7	16,4	7,5	0
87-88	38,7	97,9	37	149,3	77,1	38	223,6	20,3	88,5	0,6	3,3	1,3
88-89	69,9	40,8	90,5	52,4	49	75,5	199,7	37,3	10,6	33,5	2,8	3,9
89-90	25	73,2	96,3	204,4	156,4	219,2	75,6	13,7	15,5	14	14,3	5
90-91	8,1	35,9	82,9	51,4	59,1	66,4	70,4	71,6	31,4	17,8	5,4	0
91-92	35,4	7,6	52,2	257,6	52,5	36,5	52,4	131	4,7	32,7	5,8	17,2
92-93	18,1	31	83,5	28,2	82,8	0	46,5	45,2	104,3	10,3	36,9	0,2
93-94	14,1	50,9	53	166,9	88,8	123,9	78,2	38,9	73,6	2,3	0,4	8,6
94-95	29,2	66,7	30,5	15,4	99,8	35,4	73,6	160,2	70,8	22,8	19,1	0
95-96	10,9	52,6	133,7	194,3	43,4	60,9	17,3	89,6	28,9	1,7	0,2	9
96-97	78,1	33,1	86,9	82,9	73,6	84,4	4,2	61,2	1,4	0	0	0
97-98	132,6	78,8	30,7	74,1	275,9	31,7	98,3	14,4	1	23,9	0,4	12
98-99	14,5	27,6	26,8	46,6	135,1	219,2	60,3	181,1	57,4	16	8,9	13,8
99-00	20,1	25,9	45,2	67,4	40,7	20,5	22,9	80,2	19,7	7,9	5,3	16,4
moy	35,72	63,78	79,04	117,89	99,18	92,93	100,12	83,98	44,37	14,47	5,26	6,72

Tableau II.2 : pluies mensuelle moyenne

Tableau IV: la série de debits

mois	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	ANNEE
annee													
1974	20,52	0,72	0,55	21,15	18,00	59,68	605,90	57,40	8,70	2,00	0,92	0,50	605,90
1975	0,43	1,66	3,00	0,92	1,66	33,72	48,30	4,75	1,96	27,69	0,30	0,24	48,30
1976	116,00	0,25	116,00	151,48	13,12	118,20	89,40	53,20	17,50	2,45	1,34	0,32	151,48
1977	0,36	2,07	13,96	93,00	64,68	5,00	2,04	12,80	2,11	2,11	0,34	0,09	93,00
1978	0,09	0,27	1,25	1,40	2,28	2,64	29,00	60,30	7,52	1,38	0,27	0,11	60,30
1979	0,06	2,36	8,18	6,53	1,75	52,20	88,00	10,60	1,86	0,72	0,18	0,05	88,00
1980	0,32	1,48	5,37	10,60	43,80	6,16	62,40	29,85	52,60	1,19	0,41	0,14	62,40
1981	0,03	0,15	0,44	8,45	3,46	4,50	4,73	4,59	3,29	0,79	0,27	0,15	2,57
1982	0,11	0,43	0,51	2,31	149,40	122,00	9,66	7,97	6,35	1,53	0,24	0,08	149,40
1983	1,08	22,36	19,28	169,00	5,07	4,01	2,35	1,73	2,04	0,32	0,15	3,60	169,00
1984	0,08	0,08	13,40	0,60	4,22	31,50	20,42	10,68	4,85	3,22	0,60	0,08	31,50
1985	0,39	2,86	0,80	20,04	19,66	6,02	78,10	5,36	3,89	1,52	0,32	0,11	78,10
1986	0,28	0,55	1,59	1,12	1,59	16,17	146,00	0,95	0,38	0,10	0,03	0,00	146,00
1987	0,03	0,43	0,54	25,98	44,74	185,00	35,50	18,64	2,48	0,84	0,32	0,02	185,00
1988	0,00	0,28	0,60	1,00	3,97	1,80	6,45	3,28	2,62	0,72	0,10	0,00	6,45
1989	0,31	0,05	0,15	34,29	4,32	3,28	11,56	12,15	1,84	0,80	0,31	0,00	34,29
1990	0,15	0,22	0,80	0,57	1,01	0,72	0,65	2,62	34,29	1,64	0,00	0,00	34,29
1991	0,09	1,14	0,32	0,52	8,52	1,48	2,92	88,24	10,70	1,65	1,12	0,12	88,24
1992	0,00	0,18	6,76	28,55	13,35	1,72	11,19	5,20	8,71	0,81	0,16	0,00	28,55
1993	0,03	0,01	0,81	6,51	6,78	9,64	2,04	2,60	2,04	0,53	0,00	0,00	9,64
MOY	7,02	1,88	9,72	29,20	20,57	33,27	62,83	19,65	8,79	2,60	0,37	0,28	103,62

Talu aval : Fonctionnement normal

R=126,04

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	feq	tgf	Ceq	l	c*I	P	(N-P)tgf	dn	aGndn
-4	12,6	0	0	4,45	2,2	2,25	1,25	70,11	-0,29	0,96	67,19	-20,03	36	0,73	1,5	13,15	19,73	58,53	6,32	124,61	611,55
-3	12,6	0	1,59	9,16	2,2	2,25	1,25	189,41	-0,21	0,98	185,01	-40,59	36	0,73	1,5	12,90	19,36	138,72	33,79	122,43	1623,23
-2	12,6	0	7,19	12,42	2,2	2,25	1,25	399,58	-0,14	0,99	395,48	-57,08	36	0,73	1,5	12,73	19,10	249,73	106,40	118,44	3312,82
-1	12,6	0	12,79	13,56	2,2	2,25	1,25	576,35	-0,07	1,00	574,88	-41,17	36	0,73	1,5	12,64	18,95	332,97	176,60	114,48	4618,63
0	12,6	0	17,54	14,97	2,2	2,25	1,25	733,27	0,00	1,00	733,27	0,00	36	0,73	1,5	12,60	18,91	409,76	236,16	111,78	5737,54
1	12,6	1,36	22,63	14,33	2,2	2,25	1,25	905,24	0,07	1,00	902,93	64,66	36	0,73	1,5	12,64	18,95	484,22	305,66	108,47	6873,43
2	12,6	1,87	27,72	12,42	2,2	2,25	1,25	1033,64	0,14	0,99	1023,04	147,66	36	0,73	1,5	12,73	19,10	534,98	356,28	106,55	7709,41
3	12,6	2,65	32,54	9,16	2,2	2,25	1,25	1140,60	0,21	0,98	1114,10	244,41	36	0,73	1,5	12,90	19,36	572,28	395,53	105,5	8423,32
4	12,6	2,35	38,44	4,45	2,2	2,25	1,25	1225,39	0,29	0,96	1174,31	350,11	36	0,73	1,5	13,15	19,73	595,01	422,89	105,31	9033,23
5	12,6	4,86	39,62	0	2,2	2,25	1,25	1258,35	0,36	0,93	1175,36	449,41	36	0,73	1,5	13,49	20,24	600,21	419,86	106,3	9363,35
6	12,6	8,11	33,66	0	2,2	2,25	1,25	1179,44	0,43	0,90	1065,64	505,48	36	0,73	1,5	13,95	20,93	582,69	352,55	108,46	8954,58
7	12,6	11,48	25,07	0	2,2	2,25	1,25	1029,29	0,50	0,87	891,39	514,64	36	0,73	1,5	14,55	21,83	531,94	262,40	11,76	847,31
8	12,6	14,95	12,83	0	2,2	2,25	1,25	778,39	0,57	0,82	638,79	444,80	36	0,73	1,5	15,36	23,04	426,66	154,85	115,61	6299,29
9	12,6	9,95	0	0	2,2	2,25	1,25	275,90	0,64	0,77	211,34	177,37	36	0,73	1,5	16,45	24,68	163,72	34,76	120,22	2321,82
								10794,96				2739,67					283,90		3264,05		75729,52

Kss=1,29

Kas=1,15

R=118,9

Talu aval : Fonctionnement normal

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	feq	tgf	Ceq	l	c*1	P	(N-P)tgf	dn	aGndn
-4	11,89	0	0	3,66	2,2	2,25	1,25	54,40	-0,29	0,96	52,13	-15,54	36	0,73	1,5	12,41	18,61	45,41	4,90	117,73	448,29
-3	11,89	0	4,7	8,12	2,2	2,25	1,25	246,42	-0,21	0,98	240,70	-52,80	36	0,73	1,5	12,17	18,26	156,05	61,79	114,55	1975,92
-2	11,89	0	9,99	10,59	2,2	2,25	1,25	424,65	-0,14	0,99	420,30	-60,66	36	0,73	1,5	12,01	18,02	247,23	126,34	110,36	3280,52
-1	11,89	0	15,28	13,01	2,2	2,25	1,25	602,14	-0,07	1,00	600,60	-43,01	36	0,73	1,5	11,92	17,88	337,23	192,26	103,11	4346,06
0	11,89	1,01	19,56	13,6	2,2	2,25	1,25	751,83	0,00	1,00	751,83	0,00	36	0,73	1,5	11,89	17,84	406,28	252,25	100,5	5289,11
1	11,89	1,39	24,47	13,01	2,2	2,25	1,25	884,35	0,07	1,00	882,10	63,17	36	0,73	1,5	11,92	17,88	463,35	305,69	98,72	6111,24
2	11,89	1,98	29,17	11,2	2,2	2,25	1,25	998,62	0,14	0,99	988,38	142,66	36	0,73	1,5	12,01	18,02	508,76	350,12	97,86	6840,77
3	11,89	2,61	33,83	8,12	2,2	2,25	1,25	1093,99	0,21	0,98	1068,58	234,43	36	0,73	1,5	12,17	18,26	542,42	384,10	98	7504,79
4	11,89	2,4	39,33	3,66	2,2	2,25	1,25	1169,35	0,29	0,96	1120,61	334,10	36	0,73	1,5	12,41	18,61	563,16	406,93	99,14	8115,07
5	11,89	5,21	39,45	0	2,2	2,25	1,25	1191,67	0,36	0,93	1113,08	425,60	36	0,73	1,5	12,73	19,09	568,50	397,54	101,53	8469,31
6	11,89	8,29	33,79	0	2,2	2,25	1,25	1120,82	0,43	0,90	1012,67	480,35	36	0,73	1,5	13,16	19,74	553,77	335,00	104,39	8190,14
7	11,89	11,48	25,66	0	2,2	2,25	1,25	986,76	0,50	0,87	854,56	493,38	36	0,73	1,5	13,73	20,59	509,91	251,60	108,25	7477,20
8	11,89	14,41	14,06	0	2,2	2,25	1,25	753,08	0,57	0,82	618,01	430,33	36	0,73	1,5	14,49	21,73	412,49	150,03	112,86	5949,46
9	11,89	12,35	0	0	2,2	2,25	1,25	323,05	0,64	0,77	247,45	207,68	36	0,73	1,5	15,52	23,28	191,70	40,70	117,32	2653,03
								10601,136				2639,67					267,82		3259,25		76650,91

Kss=1,34

Kas=1,17

R=134,45

Talu aval : Fonctionnement normal

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	feq	tgf	Ceq	l	c*I	P	(N-P)tgf	dn	aGndn
-4	13,45	0	0	3,29	2,2	2,25	1,25	55,29	-0,29	0,96	52,99	-15,80	36	0,73	1,5	14,03	21,04	46,16	4,99	133,4	516,32
-3	13,45	0	0	8,32	2,2	2,25	1,25	139,83	-0,21	0,98	136,58	-29,96	36	0,73	1,5	13,76	20,65	114,52	16,10	131,37	1285,84
-2	13,45	0	4,31	11,79	2,2	2,25	1,25	328,53	-0,14	0,99	325,16	-46,93	36	0,73	1,5	13,58	20,38	218,71	77,71	128,44	2953,73
-1	13,45	0	10,29	13,83	2,2	2,25	1,25	543,72	-0,07	1,00	542,33	-38,84	36	0,73	1,5	13,48	20,22	325,12	158,56	124,21	4727,45
0	13,45	0,31	15,95	14,51	2,2	2,25	1,25	735,54	0,00	1,00	735,54	0,00	36	0,73	1,5	13,45	20,17	413,70	234,94	120,51	6204,76
1	13,45	1,2	12,03	13,83	2,2	2,25	1,25	631,85	0,07	1,00	630,23	45,13	36	0,73	1,5	13,48	20,22	364,75	193,80	117,56	5199,60
2	13,45	1,74	26,46	11,79	2,2	2,25	1,25	1050,06	0,14	0,99	1039,29	150,01	36	0,73	1,5	13,58	20,38	543,24	362,12	115,5	8489,74
3	13,45	2,71	31,47	8,32	2,2	2,25	1,25	1171,99	0,21	0,98	1144,77	251,14	36	0,73	1,5	13,76	20,65	585,00	408,63	114,41	9386,15
4	13,45	2,4	37,76	3,29	2,2	2,25	1,25	1268,57	0,29	0,96	1215,69	362,45	36	0,73	1,5	14,03	21,04	609,60	442,45	114,38	10156,93
5	13,45	4,72	37,92	0	2,2	2,25	1,25	1286,74	0,36	0,93	1201,88	459,55	36	0,73	1,5	14,39	21,59	613,77	429,32	115,28	10383,48
6	13,45	8,17	31,57	0	2,2	2,25	1,25	1196,69	0,43	0,90	1081,22	512,87	36	0,73	1,5	14,88	22,32	591,37	357,59	117,55	9846,98
7	13,45	11,78	22,4	0	2,2	2,25	1,25	1026,07	0,50	0,87	888,60	513,03	36	0,73	1,5	15,52	23,29	530,64	261,31	120,85	8680,03
8	13,45	15,49	9,33	0	2,2	2,25	1,25	740,42	0,57	0,82	607,63	423,10	36	0,73	1,5	16,38	24,57	406,63	146,73	124,71	6463,67
9	13,45	4,75	0	0	2,2	2,25	1,25	140,50	0,64	0,77	107,62	90,32	36	0,73	1,5	17,55	26,33	83,37	17,70	129,3	1271,67
								10315,797				2676,07					302,85		3111,94		85566,35

Kss=1,27

Kas=1,14

R=134,77

Talu amant: Vidange rapide

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*1	P	(N-P)tgf	dn	aGndn	
-3	13,5	0	0	4,09	2,2	2,25	1,25	71,97	-0,23	0,97	70,02	-16,61	36	0,73	1,5	13,85	20,78	56,65	9,76	133,37	671,88	
-2	13,5	0	4,58	7,58	2,2	2,25	1,25	257,88	-0,15	0,99	254,81	-39,67	36	0,73	1,5	13,64	20,46	165,85	64,94	130,52	2356,12	
-1	13,5	0	10,57	9,63	2,2	2,25	1,25	467,15	-0,08	1,00	465,76	-35,93	36	0,73	1,5	13,52	20,28	273,04	140,68	126,39	4132,99	
0	13,5	0	16,56	10,3	2,2	2,25	1,25	657,81	0,00	1,00	657,81	0,00	36	0,73	1,5	13,48	20,22	361,99	215,95	122,59	5644,89	
1	13,5	0	22,55	9,63	2,2	2,25	1,25	830,42	0,08	1,00	827,96	63,88	36	0,73	1,5	13,52	20,28	434,98	286,88	120,07	6979,59	
2	13,5	0	28,54	7,58	2,2	2,25	1,25	984,43	0,15	0,99	972,71	151,45	36	0,73	1,5	13,64	20,46	492,65	350,44	118,35	8155,49	
3	13,5	0	34,53	4,09	2,2	2,25	1,25	1119,03	0,23	0,97	1088,82	258,24	36	0,73	1,5	13,85	20,78	534,92	404,35	116,59	9132,73	
4	13,5	0	39,57	0	2,2	2,25	1,25	1216,74	0,31	0,95	1157,71	374,38	36	0,73	1,5	14,16	21,25	560,48	435,98	116,48	9920,79	
5	13,5	0	38,75	0	2,2	2,25	1,25	1191,87	0,38	0,92	1100,19	458,41	36	0,73	1,5	14,60	21,90	565,75	390,14	117,49	9802,31	
6	13,5	0	35,84	0	2,2	2,25	1,25	1103,63	0,46	0,89	979,05	509,37	36	0,73	1,5	15,19	22,79	544,48	317,24	119,4	9224,15	
7	13,5	1,99	28,26	0	2,2	2,25	1,25	932,78	0,54	0,84	786,01	502,27	36	0,73	1,5	15,99	23,99	483,81	220,61	122,58	8003,84	
8	13,5	12,6	8,26	0	2,2	2,25	1,25	640,60	0,62	0,79	504,94	394,22	36	0,73	1,5	17,10	25,65	356,49	108,37	126,2	5659,08	
9	13,5	0,23	0	0	2,2	2,25	1,25	23,67	0,69	0,72	17,08	16,38	36	0,73	1,5	18,68	28,01	4,30	9,33	130,45	216,10	
								9497,98				2636,38					286,82		2954,67		79899,96	
																			Kss=1,23	Kas=1,21		

R=142,31

Talu amant: Vidange rapide

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*I	P	(N-P)tgf	dn	aGndn			
-4	14,2	0	0	2,65	2,2	2,25	1,25	55,50	-	0,96	53,19	-15,86	36	0,73	1,5	14,85	22,28	39,35	10,10	141,48	549,66			
-3	14,2	0	0	7,97	2,2	2,25	1,25	131,21	-	0,98	128,16	-28,12	36	0,73	1,5	14,57	21,85	116,12	8,79	139,41	1280,44			
-2	14,2	0	0,83	11,7	2,2	2,25	1,25	210,16	-	0,99	208,00	-30,02	36	0,73	1,5	14,38	21,57	179,44	20,85	137,53	2023,20			
-1	14,2	0	7,16	13,8	2,2	2,25	1,25	443,58	-	1,00	442,45	-31,68	36	0,73	1,5	14,27	21,40	299,19	104,58	133,68	4150,85			
0	14,2	0	13,48	14,5	2,2	2,25	1,25	656,19	0,00	1,00	656,19	0,00	36	0,73	1,5	14,23	21,35	398,61	188,03	129,76	5960,32			
1	14,2	0	19,8	13,8	2,2	2,25	1,25	848,31	0,07	1,00	846,14	60,59	36	0,73	1,5	14,27	21,40	479,53	267,63	124,81	7411,43			
2	14,2	0	26,13	11,7	2,2	2,25	1,25	1020,26	0,14	0,99	1009,79	145,75	36	0,73	1,5	14,38	21,57	543,22	340,60	123,39	8812,26			
3	14,2	0	32,45	7,97	2,2	2,25	1,25	1170,25	0,21	0,98	1143,07	250,77	36	0,73	1,5	14,57	21,85	588,90	404,54	123,28	10098,80			
4	14,2	0	38,78	2,65	2,2	2,25	1,25	1297,23	0,29	0,96	1243,15	370,64	36	0,73	1,5	14,85	22,28	615,24	458,38	124,13	11271,73			
5	14,2	0	40,57	0	2,2	2,25	1,25	1316,83	0,36	0,93	1229,98	470,30	36	0,73	1,5	15,24	22,85	618,12	446,66	126,21	11633,80			
6	14,2	0	37,5	0	2,2	2,25	1,25	1218,53	0,43	0,90	1100,95	522,23	36	0,73	1,5	15,75	23,63	590,66	372,52	128,82	10987,97			
7	14,2	0	31,61	0	2,2	2,25	1,25	1029,93	0,50	0,87	891,95	514,97	36	0,73	1,5	16,43	24,65	519,43	271,94	133,35	9613,91			
8	14,2	12	9,68	0	2,2	2,25	1,25	704,06	0,57	0,82	577,79	402,32	36	0,73	1,5	17,34	26,01	376,30	147,09	137,73	6787,96			
9	14,2	0,27	0	0	2,2	2,25	1,25	26,24	-	0,96	25,15	-7,50	36	0,73	1,5	14,85	22,28	4,01	15,43	90,44	166,13			
								10128,28				2624,38						314,96			3057,13			90582,30
																			Kss=1,28				Kas=1,17	

R=137,35

Talu amant: Vidange rapide

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*l	P	(N-P)tgf	dn	aGndn
-3	13,7	0	0	4,8	2,2	2,25	1,25	82,41	-0,23	0,97	80,19	-19,02	36	0,7	1,5	14,12	21,17	67,05	9,59	135,7	782,81
-2	13,7	0	3,5	8,3	2,2	2,25	1,25	240,29	-0,15	0,99	237,43	-36,97	36	0,7	1,5	13,90	20,85	164,30	53,38	133,2	2240,67
-1	13,7	0	9,6	10	2,2	2,25	1,25	457,07	-0,08	1,00	455,71	-35,16	36	0,7	1,5	13,78	20,66	275,38	131,64	129,1	4131,79
0	13,7	0	16	11	2,2	2,25	1,25	654,61	0,00	1,00	654,61	0,00	36	0,7	1,5	13,74	20,60	367,55	209,55	125,4	5747,08
1	13,7	0	22	10	2,2	2,25	1,25	833,47	0,08	1,00	831,00	64,11	36	0,7	1,5	13,78	20,66	443,17	283,12	122,4	7142,37
2	13,7	0	28	8,3	2,2	2,25	1,25	992,80	0,15	0,99	980,98	152,74	36	0,7	1,5	13,90	20,85	502,78	349,09	120,6	8381,22
3	13,7	0	34	4,8	2,2	2,25	1,25	1132,52	0,23	0,97	1101,95	261,35	36	0,7	1,5	14,12	21,17	546,71	405,32	119,2	9449,74
4	13,7	0	40	0	2,2	2,25	1,25	1244,36	0,31	0,95	1183,99	382,88	36	0,7	1,5	14,44	21,65	573,23	445,86	119	10363,75
5	13,7	0	39	0	2,2	2,25	1,25	1219,32	0,38	0,92	1125,53	468,97	36	0,7	1,5	14,88	22,32	578,82	399,10	119,8	10226,96
6	13,7	0	36	0	2,2	2,25	1,25	1129,09	0,46	0,89	1001,63	521,12	36	0,7	1,5	15,48	23,22	557,07	324,53	122,4	9674,80
7	13,7	1,4	29	0	2,2	2,25	1,25	954,45	0,54	0,84	804,27	513,94	36	0,7	1,5	16,30	24,45	494,86	225,87	125,2	8362,15
8	13,7	13	8,4	0	2,2	2,25	1,25	654,47	0,62	0,79	515,87	402,75	36	0,7	1,5	17,43	26,14	364,19	110,73	129,2	5916,70
9	13,7	0,2	0	0	2,2	2,25	1,25	23,51	0,69	0,72	16,97	16,28	36	0,7	1,5	19,03	28,55	4,00	9,47	132,9	218,67
								9618,37				2692,99					292,31		2957,26		82638,71

Kss=1,21 Kas=1,2

R=117,4

Talus aval : Fin de construction

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*l	P	(N)tgf	dn	aGdn
-4	11,7	0	0	1,88	2,2	2,25	1,25	36,75	-0,29	0,96	35,21	-10,50	36	0,73	1,5	12,25	18,38	23,03	25,71	116,76	300,33
-3	11,7	0	4,03	6,27	2,2	2,25	1,25	194,74	-0,21	0,98	190,21	-41,73	36	0,73	1,5	12,02	18,03	123,80	138,86	114,09	1555,23
-2	11,7	0	9,25	9,31	2,2	2,25	1,25	368,31	-0,14	0,99	364,54	-52,62	36	0,73	1,5	11,86	17,79	220,15	266,11	110,18	2840,65
-1	11,7	0	14,47	11,09	2,2	2,25	1,25	527,10	-0,07	1,00	525,75	-37,65	36	0,73	1,5	11,77	17,66	300,84	383,80	106,26	3920,65
0	11,7	0,95	18,74	11,68	2,2	2,25	1,25	671,35	0,00	1,00	671,35	0,00	36	0,73	1,5	11,74	17,61	368,28	490,09	102,99	4839,98
1	11,7	1,38	23,52	11,09	2,2	2,25	1,25	801,80	0,07	1,00	799,75	57,27	36	0,73	1,5	11,77	17,66	423,60	583,82	100,41	5635,58
2	11,7	1,88	28,24	9,31	2,2	2,25	1,25	918,49	0,14	0,99	909,07	131,21	36	0,73	1,5	11,86	17,79	467,71	663,62	98,64	6341,99
3	11,7	2,64	32,7	6,27	2,2	2,25	1,25	1020,24	0,21	0,98	996,54	218,62	36	0,73	1,5	12,02	18,03	500,12	727,48	97,76	6981,71
4	11,7	2,36	38,2	1,88	2,2	2,25	1,25	1106,75	0,29	0,96	1060,62	316,22	36	0,73	1,5	12,25	18,38	519,92	774,25	97,83	7579,16
5	11,7	4,53	37,2	0	2,2	2,25	1,25	1114,31	0,36	0,93	1040,82	397,97	36	0,73	1,5	12,57	18,85	524,50	759,80	98,89	7713,61
6	11,7	7,52	31,67	0	2,2	2,25	1,25	1045,46	0,43	0,90	944,59	448,06	36	0,73	1,5	12,99	19,49	509,23	689,55	101,48	7426,56
7	11,7	10,64	23,71	0	2,2	2,25	1,25	915,78	0,50	0,87	793,09	457,89	36	0,73	1,5	13,56	20,33	465,65	578,96	103,85	6657,30
8	11,7	13,85	12,3	0	2,2	2,25	1,25	697,30	0,57	0,82	572,24	398,46	36	0,73	1,5	14,31	21,46	374,09	417,73	107,61	5252,53
9	11,7	11,45	0	0	2,2	2,25	1,25	310,41	0,64	0,77	237,77	199,55	36	0,73	1,5	15,33	22,99	175,49	173,57	111,89	2431,19
								9728,79				2482,75					264,44		6673,33		69476,48

Kss=2,79

Kas=2,25

R=122,02

Talus aval : Fin de construction

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*l	P	(N)tgf	dn	aGndn
-3	12,2	0	1,69	1,34	2,2	2,25	1,25	78,00	-0,23	0,97	75,90	-18,00	36	0,73	1,5	12,54	18,81	38,00	55,40	120,92	660,23
-2	12,2	0	7,47	4,49	2,2	2,25	1,25	275,12	-0,15	0,99	271,85	-42,33	36	0,73	1,5	12,35	18,52	147,69	198,45	117,79	2268,48
-1	12,2	0	12,89	6,35	2,2	2,25	1,25	446,62	-0,08	1,00	445,30	-34,36	36	0,73	1,5	12,24	18,36	235,46	325,07	114,01	3564,37
0	12,2	0,84	17,47	6,96	2,2	2,25	1,25	602,36	0,00	1,00	602,36	0,00	36	0,73	1,5	12,20	18,30	308,34	439,72	110,68	4666,83
1	12,2	1,34	22,39	6,35	2,2	2,25	1,25	743,41	0,08	1,00	741,21	57,19	36	0,73	1,5	12,24	18,36	368,13	541,08	108,01	5620,72
2	12,2	1,86	27,3	4,49	2,2	2,25	1,25	869,48	0,15	0,99	859,13	133,77	36	0,73	1,5	12,35	18,52	415,54	627,16	106,42	6477,09
3	12,2	2,7	31,89	1,34	2,2	2,25	1,25	979,61	0,23	0,97	953,17	226,06	36	0,73	1,5	12,54	18,81	450,58	695,81	105,31	7221,37
4	12,2	2,41	34,37	0	2,2	2,25	1,25	1023,56	0,31	0,95	973,90	314,94	36	0,73	1,5	12,82	19,24	471,67	710,95	105,01	7523,87
5	12,2	4,33	31,71	0	2,2	2,25	1,25	1002,07	0,38	0,92	924,99	385,41	36	0,73	1,5	13,22	19,83	476,41	675,24	106,24	7452,20
6	12,2	7,44	25,97	0	2,2	2,25	1,25	927,97	0,46	0,89	823,22	428,29	36	0,73	1,5	13,75	20,63	459,54	600,95	108,13	7023,88
7	12,2	10,68	17,68	0	2,2	2,25	1,25	787,35	0,54	0,84	663,46	423,96	36	0,73	1,5	14,48	21,72	410,67	484,32	110,92	6113,27
8	12,2	14,01	5,85	0	2,2	2,25	1,25	551,95	0,62	0,79	435,06	339,66	36	0,73	1,5	15,48	23,22	307,44	317,60	114,48	4423,12
9	12,2	4,16	0	0	2,2	2,25	1,25	126,93	0,69	0,72	91,59	87,87	36	0,73	1,5	16,91	25,36	70,34	66,86	118,48	1052,67
								8414,43				2302,47					259,69		5738,62		64068,11

Kss=2,6

Kas=2,12

R=124,84

Talus aval : Fin de construction

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*1	P	(N)tgf	dn	aGndn
-4	12,48	0	0	0,8	2,2	2,25	1,25	25,72	0,29	0,96	24,65	-7,35	36	0,73	1,5	13,03	19,54	10,55	17,99	124,59	224,29
-3	12,48	0	0,74	5,5	2,2	2,25	1,25	104,80	0,21	0,98	102,37	-22,46	36	0,73	1,5	12,78	19,17	79,50	74,73	122,85	901,25
-2	12,48	0	6,43	8,7	2,2	2,25	1,25	304,83	0,14	0,99	301,70	-43,55	36	0,73	1,5	12,61	18,92	190,84	220,24	119,42	2548,18
-1	12,48	0	11,98	11	2,2	2,25	1,25	484,44	0,07	1,00	483,20	-34,60	36	0,73	1,5	12,52	18,77	282,61	352,74	115,25	3908,23
0	12,48	0,7	16,82	11	2,2	2,25	1,25	647,36	0,00	1,00	647,36	0,00	36	0,73	1,5	12,48	18,73	358,79	472,57	111,81	5066,68
1	12,48	1,29	21,78	11	2,2	2,25	1,25	795,14	0,07	1,00	793,11	56,80	36	0,73	1,5	12,52	18,77	421,41	578,97	109,08	6071,40
2	12,48	1,81	26,81	8,7	2,2	2,25	1,25	926,99	0,14	0,99	917,49	132,43	36	0,73	1,5	12,61	18,92	470,73	669,76	107,16	6953,56
3	12,48	2,71	31,46	5,5	2,2	2,25	1,25	1042,13	0,21	0,98	1017,92	223,31	36	0,73	1,5	12,78	19,17	506,76	743,08	106,16	7744,25
4	12,48	2,44	37,27	0,8	2,2	2,25	1,25	1139,61	0,29	0,96	1092,10	325,60	36	0,73	1,5	13,03	19,54	527,86	797,24	106,13	8466,26
5	12,48	4,23	35,53	0	2,2	2,25	1,25	1129,78	0,36	0,93	1055,27	403,49	36	0,73	1,5	13,37	20,05	531,41	770,35	107,86	8530,09
6	12,48	7,41	29,67	0	2,2	2,25	1,25	1052,52	0,43	0,90	950,96	451,08	36	0,73	1,5	13,82	20,73	512,34	694,20	109,39	8059,46
7	12,48	10,73	21,19	0	2,2	2,25	1,25	905,51	0,50	0,87	784,19	452,75	36	0,73	1,5	14,42	21,62	460,14	572,46	113,32	7182,85
8	12,48	14,14	9,09	0	2,2	2,25	1,25	659,29	0,57	0,82	541,04	376,74	36	0,73	1,5	15,21	22,82	353,38	394,96	116,61	5381,56
9	12,48	6,88	0	0	2,2	2,25	1,25	204,56	0,64	0,77	156,69	131,50	36	0,73	1,5	16,30	24,45	112,13	114,39	121	1732,65
								9422,68				2445,75					281,20		6473,68		72770,71

Kss=2,76

Kas=2,23

R=123,61

Talus amant : Fin de construction

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*1	P	(N)tgf	dn	aGndn
-3	12,4	0	0,83	1,85	2,2	2,3	1,25	61,40	-0,23	0,97	59,75	-14,17	36	0,73	1,5	12,70	19,06	34,05	43,61	122,84	527,99
-2	12,4	0	5,68	5,04	2,2	2,3	1,25	235,72	-0,15	0,99	232,92	-36,27	36	0,73	1,5	12,51	18,76	134,11	170,03	119,62	1973,81
-1	12,4	0	11,8	6,92	2,2	2,3	1,25	429,45	-0,08	1,00	428,18	-33,03	36	0,73	1,5	12,40	18,60	232,21	312,57	115,87	3483,24
0	12,4	0	17,3	7,54	2,2	2,3	1,25	590,08	0,00	1,00	590,08	0,00	36	0,73	1,5	12,36	18,54	307,17	430,76	112,51	4647,32
1	12,4	0	22,8	6,92	2,2	2,3	1,25	735,11	0,08	1,00	732,93	56,55	36	0,73	1,5	12,40	18,60	368,46	535,04	109,8	5650,05
2	12,4	0	28,3	5,04	2,2	2,3	1,25	864,56	0,15	0,99	854,27	133,01	36	0,73	1,5	12,51	18,76	416,96	623,61	107,88	6528,81
3	12,4	0	33,8	1,85	2,2	2,3	1,25	978,10	0,23	0,97	951,69	225,71	36	0,73	1,5	12,70	19,06	452,77	694,74	107,2	7339,63
4	12,4	0	36,5	0	2,2	2,3	1,25	1030,60	0,31	0,95	980,60	317,11	36	0,73	1,5	12,99	19,49	474,18	715,84	106,03	7649,20
5	12,4	0	35,8	0	2,2	2,3	1,25	1009,74	0,38	0,92	932,07	388,36	36	0,73	1,5	13,39	20,09	478,73	680,41	107,6	7605,36
6	12,4	0	33,1	0	2,2	2,3	1,25	935,76	0,46	0,89	830,13	431,89	36	0,73	1,5	13,93	20,90	461,07	606,00	109,42	7167,35
7	12,4	0	27,8	0	2,2	2,3	1,25	788,35	0,54	0,84	664,31	424,50	36	0,73	1,5	14,67	22,00	407,66	484,94	112,16	6189,52
8	12,4	8,44	10,9	0	2,2	2,3	1,25	548,68	0,62	0,79	432,48	337,65	36	0,73	1,5	15,68	23,52	303,60	315,71	116,84	4487,54
9	12,4	3,83	0	0	2,2	2,3	1,25	119,61	0,69	0,72	86,31	82,80	36	0,73	1,5	17,13	25,69	65,61	63,00	119,57	1001,08
								8327,16				2314,11					263,07		5676,27		64250,90

Kss=2,56

Kas=2,09

R=128,55

Talus amant : Fin de construction

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*I	P	(N)tgf	dn	aGndn
-3	12,9	0	0,37	0,79	2,2	2,3	1,25	36,93	-0,23	0,97	35,93	-8,52	36	0,73	1,5	13,21	19,82	15,33	26,23	128,22	331,43
-2	12,9	0	6,08	4,11	2,2	2,3	1,25	244,76	-0,15	0,99	241,85	-37,66	36	0,73	1,5	13,01	19,51	132,57	176,55	125,05	2142,50
-1	12,9	0	11,8	6,06	2,2	2,3	1,25	434,98	-0,08	1,00	433,69	-33,46	36	0,73	1,5	12,89	19,34	230,14	316,60	121,28	3692,82
0	12,9	0	17,5	6,71	2,2	2,3	1,25	608,49	0,00	1,00	608,49	0,00	36	0,73	1,5	12,86	19,28	311,22	444,20	117,87	5020,60
1	12,9	0	23,2	6,06	2,2	2,3	1,25	765,29	0,08	1,00	763,02	58,87	36	0,73	1,5	12,89	19,34	377,38	557,01	115	6160,59
2	12,9	0	28,9	4,11	2,2	2,3	1,25	905,38	0,15	0,99	894,60	139,29	36	0,73	1,5	13,01	19,51	429,72	653,06	133,33	8449,98
3	12,9	0	34,6	0,79	2,2	2,3	1,25	1027,85	0,23	0,97	1000,11	237,20	36	0,73	1,5	13,21	19,82	467,95	730,08	11,88	854,76
4	12,9	0	36,3	0	2,2	2,3	1,25	1066,87	0,31	0,95	1015,11	328,27	36	0,73	1,5	13,51	20,27	490,83	741,03	117,74	8792,92
5	12,9	0	35,6	0	2,2	2,3	1,25	1044,31	0,38	0,92	963,98	401,66	36	0,73	1,5	13,93	20,89	495,08	703,70	112,59	8230,51
6	12,9	0	32,8	0	2,2	2,3	1,25	964,48	0,46	0,89	855,61	445,14	36	0,73	1,5	14,49	21,74	475,15	624,59	114	7696,54
7	12,9	0	27,5	0	2,2	2,3	1,25	810,60	0,54	0,84	683,06	436,48	36	0,73	1,5	15,26	22,88	419,07	498,63	116,4	6604,80
8	12,9	10,8	7,73	0	2,2	2,3	1,25	544,80	0,62	0,79	429,43	335,26	36	0,73	1,5	16,31	24,46	302,04	313,48	120,56	4597,69
9	12,9	0,28	0	0	2,2	2,3	1,25	23,99	0,69	0,72	17,31	16,61	36	0,73	1,5	17,81	26,72	4,99	12,64	128,01	214,94
								8478,73				2319,13					273,59		5797,79		62790,07

K_{ss}=2,62K_{as}=2,16

R=133,52

Talus amant : Fin de construction

N°tranche	largeur	h1	h2	h3	g1	g2	g3	G	sina	cosa	N	T	36	tgf	Ceq	l	c*I	P	(N)tgf	dn	aGndn
-2	13,4	0	3,7	2,4	2,2	2,25	1,25	159,22	-0,18	0,98	156,57	-28,95	36	0,73	1,5	13,58	20,37	82,15	114,30	131,49	1465,53
-1	13,4	0	9,63	4,4	2,2	2,25	1,25	364,48	-0,09	1,00	362,97	-33,13	36	0,73	1,5	13,41	20,11	187,84	264,97	128,13	3269,02
0	13,4	0	15,6	5,1	2,2	2,25	1,25	551,87	0,00	1,00	551,87	0,00	36	0,73	1,5	13,35	20,03	275,32	402,87	124,6	4813,42
1	13,4	0	21,5	4,4	2,2	2,25	1,25	721,07	0,09	1,00	718,09	65,55	36	0,73	1,5	13,41	20,11	346,99	524,20	121,53	6134,26
2	13,4	0	27,4	2,4	2,2	2,25	1,25	872,12	0,18	0,98	857,58	158,57	36	0,73	1,5	13,58	20,37	404,36	626,04	119,59	7300,77
3	13,4	0	32,3	0	2,2	2,25	1,25	986,15	0,27	0,96	948,76	268,95	36	0,73	1,5	13,88	20,82	447,85	692,60	118,38	8171,79
4	13,4	0	33,2	0	2,2	2,25	1,25	1014,38	0,36	0,93	944,94	368,87	36	0,73	1,5	14,33	21,50	476,01	689,81	118,14	8388,76
5	13,4	0	32,4	0	2,2	2,25	1,25	990,05	0,45	0,89	881,86	450,02	36	0,73	1,5	14,99	22,49	485,68	643,76	119,05	8250,59
6	13,4	0	29,5	0	2,2	2,25	1,25	903,53	0,55	0,84	757,28	492,83	36	0,73	1,5	15,93	23,90	470,27	552,82	120,87	7644,68
7	13,4	0	24	0	2,2	2,25	1,25	737,70	0,64	0,77	569,05	469,44	36	0,73	1,5	17,31	25,96	415,42	415,41	122,7	6336,09
8	13,4	10,6	4,12	0	2,2	2,25	1,25	451,24	0,73	0,69	309,71	328,18	36	0,73	1,5	19,45	29,18	285,97	226,09	127,02	4012,19
								7751,82				2540,33					244,83		5152,84		65787,10

Kss=2,12

Kas=1,78