

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE  
ARBAOUI ABDALLAH

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

OPTION : Conception Des Ouvrages Hydrotechniques

**THEME:**

ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DE LA DIGUE DU BARRAGE DE  
M'DJEDEL (W.M'SILA)

Présenté par :

M<sup>r</sup>. KOUICI Adel

**DEVANT LES MEMBRES DE JURY**

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M <sup>r</sup> B.BENLAOUKLI	M C.B	President
M <sup>r</sup> A.ZEROUAL	M A.B	Examineur
M <sup>me</sup> N.SAIL	M A.A	Examinatrice
M <sup>me</sup> S.BERBACHE	M A.A	Examinatrice
M <sup>r</sup> M.D BENSALAH	M A.A	Promoteur

Septembre 2012

# *Dédicace*

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

*À mes très chers parents, sans eux ce travail n'aurait jamais vu le jour.*

*À ma mère qui est un être cher et celle qui ma bercé d'un amour sincère*

*À mon père de qui je tiens ma fierté et ma persévérance*

*À mes frères, ma richesse sur cette terre*

*À ma chère grand-mère*

*À mes neveux et mes nièces*

*À mes belles sœurs*

*À tous mes amis et toutes mes amies.*

*En un mot, à toute ma famille (KOUICI), mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation*

# Remerciements

*Au terme de ce travail, je rends grâce à Dieu pour tous ses bienfaits.*

*Il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon promoteur Mr. BENSALAH.M pour m'avoir encadré, appris plein de choses et pour sa disponibilité sans pareille.*

*Je remercie également le président et les membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.*

*Mes sincères remerciements vont aussi à ma famille, l'ensemble du corps enseignant de l'ENSH.*

*Mes remerciements vont aussi à tout le personnel de l'Agence Nationale Des Barrages Et Transfert qui m'a fourni les données de la région d'étude en particulier, Mr ZIANI, Mme OUCHAR, Mme AICHAA qui n'ont pas ménagé le moindre effort pour mettre à ma disposition tous les moyens nécessaires à l'élaboration et au couronnement de ce mémoire.*

*Je tiens aussi à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à mes amis.*

*Enfin, pour leur soutien très précieux de tous les instants, j'associe à ce travail mes parents ainsi que toute ma famille. Je pense surtout à ma mère sans qui je n'aurais pas pu traverser ces cinq années.*

## ملخص:

دراستنا هذه تسجل في إطار الحفاظ على الموارد المائية من أجل تخزين ملايين الأمتار المكعبة في الجزائر بصفة عامة ، و ولاية المسيلة بصفة خاصة و هذا لتغطية العجز في مياه السقي و الشرب.

وفي إطار ذلك تأتي مذكرتنا هذه لتناول دراسة مفصلة لسد مائي على مستوى ولاية المسيلة و بالتحديد على مستوى وادي لمجدل.

بعد دراسة معمقة و شاملة لمختلف الجوانب (الجيولوجية ، الهيدرولوجية ، الطبوغرافية) قمنا باختيار الاقتراح المناسب حيث صممنا الحاجز المائي و تحققنا من ثباته .

أما فيما يتعلق بالإنجاز فقد قمنا بشرح معمق و دقيق يضم مختلف أطوار الإنجاز.

### Résumé:

Notre présente étude s'inscrit dans le cadre de conservation des eaux et la mobilisation des millions de mètres cubes d'eau en Algérie généralement et à M'sila précisément.

L'étude que nous avons menée dans ce mémoire est une étude d'avant-projet détaillée de la digue d'un barrage dans la wilaya de M'sila et principalement sur l'Oued M'djedel.

Après une étude profonde et complète des différentes étapes (géologique, hydrologique, topographique), nous avons choisi la variante adéquate, puis nous avons implanté la digue et vérifié sa stabilité. Pour la réalisation nous avons élaboré un note explicative contenant les différentes étapes de calcul.

### Abstract:

In the setting of the national strategy concerning conservation of water, that aims at mobilizing an important quantity of water to Algeria, in M'sila exactly.

However, the choice and the dimensionality of the storage works deserve to be deepened, so to survey, we led in this these is a Detailed of a dam in the wilaya of M'sila in oued M'djedel.

After a precise and complete study of the various stages "geology, hydrology, topography), we chose the adopted alternative, then one established the dam and one checked its stability. For the realisation we gave an explanation supplements containing the various stages of calculation.

# Sommaire

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I : Synthèse de l'étude de faisabilité

Introduction .....	3
I.1.Généralités .....	3
I.1.1.Objectif du barrage.....	3
I.1.2. Localisation de l'ouvrage .....	3
I.1.3.Composition de la variante retenue dans l'étude de faisabilité.....	4
I.1.3.1.Digue .....	4
I.1.3.2.Evacuateur de crue .....	4
I.1.3.3.Dérivation provisoire .....	5
I.1.3.4.Tour de prise d'eau .....	5
I.1.3.5.vidange de fond .....	5
I.2.Synthèse des études préliminaires .....	5
I.2.1.Généralités .....	5
I.2.2.Etudes topographiques .....	5
I.2.3.Etudes géologiques et géotechniques .....	7
I.2.3.1.Contexte géologique régionale .....	7
I.2.3.1.1. Lithologie et stratigraphie.....	7
I.2.3.1.2.Tectonique régionale.....	9
I.2.3.2.Sismicité.....	9
I.2.3.3. Reconnaissance géologique réalisées.....	10
I.2.3.3.1.Sondages.....	10
I.2.3.3.2. Puits.....	10
I.2.3.3.3. Géophysique.....	10
a) Sismique réfraction.....	10
b) prospection électrique.....	11
I.2.3.3.4.Essai au laboratoire.....	11
I.2.3.4.Géologie de la cuvette.....	11
I.2.3.4.1.Terrains de couvertures.....	11
I.2.3.4.2.Substratum rocheux.....	11
I.2.3.5.Etude géologique de site du barrage.....	11
I.2.3.5.1.Géologie de site du barrage.....	11
I.2.3.5.2.Les caractéristiques hydrogéologiques.....	12
a) Niveau aquifère.....	12
b) Mesure de la perméabilité du substratum.....	12
I.2.3.5.3.Aspect géotechnique.....	13
a) Substratum rocheux.....	13
b) Sols cohérents.....	13
c) Dépôts alluviaux.....	14
I.2.3.6.Etude géologique des matériaux de construction.....	14

I.2.3.6.1.Zone d'emprunt des graves.....	14
I.2.3.6.2.Zone d'emprunt des argiles.....	15
I.2.3.6.3.zone de carrière.....	15
I.2.4.Etude géophysique.....	16
I.2.5.Etude hydrologique.....	17
Conclusion.....	17

## Chapitre II : Etude Hydrologique

Introduction .....	18
II.1.Topographie et hydrographie du bassin.....	18
II.1 .1.Caractéristiques hydromorphométrique du bassin versant.....	18
II.1.2.Climatologie.....	22
a) Température.....	22
b) Vitesse du vent.....	23
c) Evaporation.....	24
d) Pluviométrie.....	25
II.2.Etude des précipitations.....	25
II.2.1.Homogénéisation des données.....	25
II.2.1.1.Test de la médiane ou test de Mood.....	26
II.2.2.Les précipitations maximales journalières.....	26
II.2.2.1.Choix de la loi d'ajustement.....	27
II.2.2.1.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi log normal(Galton). 27	
II.2.2.1.2.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel.....	29
II.2.3. La pluie de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités.....	33
II.3.Etude des apports.....	34
II.3.1. L'apport moyen interannuel (A0).....	34
a) Formule de SAMIE.....	34
b) Formule de DERYE II.....	34
c) Formule de l'ANRH.....	35
d) Formule de MEDINGER.....	35
e) Formule de CHAUMONT.....	35
f) Formule de COUTAGNE.....	36
II.3.2.Répartition mensuelle de l'apport moyen.....	36
II.3.3.Les apports fréquents.....	37
II.3.3.1.Répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%.....	38
II.3.4. Apport solide et Estimation de volume mort .....	38
II.3.4.1.Estimation de l'apport solide.....	38
a) Formule de Tixeront .....	38
b) Formule de Grivilovitch .....	39
II.3.4.2. Calcul du volume mort .....	40
a) Formule de Tixeront .....	40
b) Formule de Grivilovitch .....	40

II.4. Etude des crues.....	41
II.4.1. Détermination des crues.....	41
a) Formule de Giandotti.....	41
b) Formule de Mallet Gauthier.....	42
c) Formule de SOKOLOVSKY.....	42
II.4.2. Hydrogramme de crue.....	44
II.4.2.1. Détermination des Hydrogramme de crues probables par la méthode de Sokolovsl.....	44
II.4.3. Estimation de la crue de projet.....	45
II.5. Régularisation.....	47
II.5.1. Courbes « Hauteur-Capacité-Surface » .....	47
II.5.2. Calcul du volume utile .....	48
II.5.2.1. Calcul du volume utile interannuel par la méthode Kristly-Menkel.....	48
II.6. Laminage des crues.....	50
II.6.1. Méthode de Kotcherine.....	51
II.7. Etude d'optimisation.....	52
II.7.1. Calcul du cout approximatif de la digue.....	52
II.7.1.1. Calcul de la revanche .....	53
II.7.1.2. Calcul de la largeur en crête.....	54
a) Formule de KNAPEN .....	54
b) Formule de F-PREECE.....	54
c) Formule simplifiée.....	54
II.7.1.3. Calcul du volume de la digue pour les différentes largeurs déversantes .....	54
II.7.2. Calcul du coût de l'évacuateur de crues .....	55
II.7.2.1. Coût du déversoir .....	55
II.7.2.2. Coût du canal d'approche.....	56
II.7.2.3. Coût du coursier.....	56
Conclusion.....	59

## **Chapitre III : Choix des variantes**

Introduction .....	60
III.1. Le choix du site du barrage .....	60
III.2. le choix du type de barrage .....	60
III.3. les variantes à choisir .....	62
III.4. Objet de l'étude de variantes .....	63
III.5. Définition du profil général du barrage .....	63
III.5.1. Hauteur de barrage .....	63
III.5.1.1. calcul de la revanche .....	63
III.5.2. calcul de la largeur en crête .....	63
a) Formule de KNAPEN .....	63
b) Formule de F-PREECE .....	63

c) Formule simplifiée .....	64
III.5.3. La longueur en crête .....	64
III.5.4. Pentés des talus .....	64
III.5.5. Les bermes .....	65
III.5.5.1. Talus amont .....	65
III.5.5.2. Talus aval .....	65
III.5.6. Revêtement de la crête et des talus de la digue : .....	65
III.5.6.1. Talus amont .....	65
a) Première méthode .....	65
b) Deuxième méthode .....	67
III.5.6.2. Talus aval .....	68
III.5.6.3. La crête .....	68
III.5.7. Etanchéité du barrage .....	68
III.5.7.1. le noyau .....	68
a) Dimensionnement du noyau .....	68
III.5.7.2. Les drains .....	69
a) Dimensionnement du prisme de drainage (drain prisme) .....	70
b) Dimensionnement du drain tapis .....	70
c) Dimensionnement du drain vertical .....	71
III.5.7.3. Les filtres .....	71
III.6. Calcul du volume des différents matériaux .....	72
III.6.1. Barrage homogène en argile avec drain vertical .....	73
III.6.1.1. les recharges (argile) .....	73
III.6.1.2. protection rip-rap .....	74
III.6.1.3. filtres et drains .....	74
III.6.2. Barrage zoné à noyau d'argile .....	74
III.6.2.1. le Noyau .....	75
III.6.2.2. les recharges .....	75
III.6.2.3. protection en rip-rap .....	75
III.6.2.4. filtres et drains .....	76
III.6.3. Barrage en enrochement avec masque en béton .....	76
III.6.3.1. recharges (enrochements) .....	77
III.6.3.2. masque en béton .....	77
III.7. Estimation du coût des variantes .....	78
Conclusion .....	79

## **Chapitre IV : L'étude et conception détaillée de la digue**

Introduction .....	80
IV.1. Dimensionnement de la digue .....	80
IV.1.1. la revanche du barrage .....	80
IV.1.2. la hauteur du barrage .....	80
IV.1.3. largeur en crête .....	80
IV.1.4. la longueur en crête .....	80
IV.1.5. les bermes .....	80

IV.1.5.1. Talus amont .....	80
IV.1.5.2. Talus aval .....	81
IV.1.6. Classification de l'ouvrage .....	81
IV.1.7. Pentes des talus .....	81
IV.1.8. Revêtement de la crête et protection des talus de la digue .....	82
IV.1.8.1. La crête .....	82
IV.1.8.2. Talus aval .....	82
IV.1.8.3. Talus amont .....	82
IV.2. Drainage de la digue .....	82
IV.2.1. But du drainage .....	82
IV.2.2. Constitution et fonctionnement des filtres et drains .....	83
IV.2.2.1. les filtres .....	83
IV.2.2.2. les drains .....	83
IV.2.3. Règles générales de dimensionnement des drains et filtres .....	84
IV.2.3.1. Calcul des filtres .....	85
a) règles des filtres .....	85
b) Détermination de la courbe granulométrique des Filtres .....	86
c) Vérification du contact Noyau – Recharges .....	86
d) Vérification de la condition d'uniformité .....	87
IV.2.3.2. Calcul des drains .....	87
a) Dimensionnement du drain tapis .....	87
b) Dimensionnement du prisme aval .....	87
IV.3. Etanchéité du barrage .....	87
IV.3.1. Le noyau .....	87
IV.3.2. La clé d'ancrage .....	88
IV.4. Etude des infiltrations .....	88
IV.4.1. Défaut d'étanchéité et conséquences des infiltrations .....	89
IV.4.1.1. les fuites diffuses .....	89
IV.4.1.2. La surélévation de la ligne de saturation .....	89
IV.4.2. Hypothèse de calcul .....	89
IV.4.3. ligne de saturation .....	89
IV.4.4. Construction de la ligne de saturation .....	90
IV.4.5. Calcul du débit de fuite par infiltration .....	91
IV.4.5.1. Digue .....	91
IV.4.5.2. Fondation .....	92
IV.4.6. Vérification de la résistance d'infiltration du sol du barrage .....	92
IV.4.6.1. dispositif d'étanchéité .....	92
IV.4.6.2. fondation du barrage .....	93
IV.5. Calcul de stabilité .....	94
IV.5.1. Généralité sur la stabilité des barrages (Talus) .....	94
IV.5.2. Stabilité des talus .....	94
IV.5.3. Ordre de calcul (Méthode des tranches) .....	96
IV.5.4. Calcul des forces appliquées à chaque tranche .....	96
IV.5.4.1. Force de pesanteur (poids propre de la tranche) .....	96
IV.5.4.2. Force de pression interstitielle .....	97
IV.5.4.3. Forces de cohésion .....	97

IV.5.4.4. forces de frottement .....	97
IV.5.4.5. force séismique .....	97
IV.5.5. Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement .....	97
IV.5.5.1. Retenue pleine : (talus aval) .....	97
IV.5.5.2. Retenue vide (fin de construction) : (talus amont et aval) .....	98
IV.5.5.3. vidange rapide :(talus amont) .....	98
Conclusion .....	100

## **Chapitre V : Organisation de chantier et sécurité**

### **De travail**

Introduction .....	101
V.1. Organisation de chantier.....	101
V.1.1. Role et responsabilités des intervenants sur le chantier.....	101
V.1.1.1. Maître de l'ouvrage .....	101
V.1.1.2. Maître d'œuvre .....	101
V.1.1.3. L'entrepreneur .....	101
V.1.2. Installations du chantier .....	102
V.1.2.1. Installations destinées au personnel .....	102
V.1.2.2. Installations destinées au stockage des matériaux .....	102
V.1.2.3. Installations destinées à la réparation des engins.....	102
V.1.2.4. Installation destinée pour la préfabrication.....	102
V.1.3. Ordre d'exécution des travaux.....	102
V.1.4. Planification .....	102
V.1.4.1. Définition .....	102
V.1.4.2. procédures de travail de planification .....	103
V.1.4.3. Techniques de la planification .....	103
V.1.4.3.1. méthodes basées sur le réseau.....	103
a) Définition du réseau .....	103
b) Différentes méthodes basées sur le réseau.....	104
V.1.4.3.2. Méthodes basées sur le graphique .....	104
a) Méthode linéaire (ligne of balance technic) .....	104
b) Méthode à barres .....	104
V.1.4.4. Choix de la méthode de calcul .....	104
V.1.4.5. Les paramètres de la méthode C.P.M .....	104
V.1.4.5.1. Chemin critique (C.C) .....	105
V.1.4.6. Les compositions du projet .....	105
V.1.4.7. Détermination des chemins critiques.....	106
V.1.4.7.1. Méthode de réseau à nœuds .....	106
V.1.4.7.2. Méthode des figures (réseau à flèches).....	106
V.1.4.7.3. Méthode du tableau .....	106
V.1.5. Matériel et personnel nécessaires.....	106
V.1.5.1. Matériels nécessaires .....	106
V.1.5.2. Personnel nécessaire .....	107

V.1.6. Le coût d'un barrage .....	107
V.1.6.1. Le coût des études.....	107
V.1.6.2. Le coût des travaux de construction du barrage .....	108
V.1.6.3. Coût de l'entretien et de la surveillance .....	108
V.2. Protection et sécurité de travail.....	108
V.2.1. Organisation de la prévention des accidents de travail.....	108
V.2.2. Causes des accidents de travail.....	109
V.2.2.1. Causes humaines.....	109
V.2.2.2. Causes techniques .....	110
V.2.3. Moyens employés pour promouvoir la sécurité de travail .....	110
V.2.4. Calcul du débit d'air nécessaire à la ventilation de la galerie de dérivation .....	111
V.2.4.1. Calculer le débit d'air « Q » par le taux de ventilation « K » .....	111
V.2.4.2. Détermination de Q par l'alimentation minimum Am.....	112
V.2.4.3. Calcul de la ventilation basée sur les accroissements de chaleur .....	112
V.2.4.4. Calcul du diamètre de la canalisation d'air nécessaire à la ventilation .....	113
V.2.4.4.1. Etude de dimensionnement du réseau de ventilation.....	113
V.2.4.4.2. Calcul du diamètre des canalisations.....	114
Conclusion.....	114
Conclusion générale .....	115

Expert PDF Evaluation

## Liste des tableaux

Tableau I.01 : Caractéristiques morphométriques du bassins versants.....	6
Tableau I.02 : Coefficients d'accélération du séisme.....	10
Tableau I.03 : Résumé des résultats obtenus sur la roche.....	13
Tableau I.04: Les résultats de tamisage des matériaux de la zone d'emprunt des graves.....	14
Tableau II.01 : principales caractéristiques du bassin versant.....	18
Tableau II.02 : Coordonnées de la courbe hypsométrique .....	20
Tableau II.03 : Les stations de référence.....	22
Tableau II.04 : Températures a la station de Djelfa (°C).....	22
Tableau II.05 : Températures a la station de M'sila (°C).....	22
Tableau II.06 : Vent moyen en (m/s) - Période 1970/1999. ....	23
Tableau II.07 : Répartition mensuelle de l'évaporation.....	24
Tableau II.08 : Caractéristiques des stations pluviométriques disponibles.....	25
Tableau II.09: : Répartition mensuelle de la pluie annuelle.....	25
Tableau II.10 : Caractéristiques empiriques de la série avec N=42ans.....	26
Tableau II.11 : Ajustement à la loi de Galton.....	28
Tableau II.12: Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.....	28
Tableau II.13 : Ajustement à la loi de Gumbel.....	31
Tableau II.14 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.....	31
Tableau II.15 : Répartition mensuelle de l'apport moyen.....	37
Tableau II.16 : Apports fréquentiels.....	37
Tableau II.17 : Répartition mensuelle des apports moyens annuels de fréquence 80%.....	38
Tableau II.18 : Récapitulatif des résultats du volume mort.....	40
Tableau II.19 : Débits maxima selon formule Giandotti.....	41
Tableau II.20 : Débits maxima selon formule Mallet Gauthier.....	42
Tableau II.21 : Débits maxima selon formule de SOKOLOVSKY.....	43
Tableau II.22 : Récapitulatif des résultats de débit de crue.....	43
Tableau II.23 : Débits fréquentiels calculés.....	43
Tableau II.24: Surfaces submergées et les volumes d'eau.....	47
Tableau II.25 : Récapitulatif des résultats de la méthode de Kotcherine.....	52
Tableau II.26 : Les largeurs en crête pour différentes charges déversées.....	54
Tableau II.27 : Résultats de calculs du coût du déversoir pour les différentes largeurs.....	54

Tableau II.28 : Résultats de calculs du coût du canal d'approche pour	
Les différentes largeurs déversants.....	56
Tableau II.29 : Récapitulatif des coûts du coursier pour différentes largeurs déversantes.....	57
Tableau II.30 : Récapitulatif des prix totaux pour les différentes largeurs déversantes.....	57
Tableau II.31 : Caractéristiques du barrage .....	58
Tableau III.01 : Les résultats de la largeur en crête.....	64
Tableau III.02: Valeurs indicatives des fruits de talus.....	64
Tableau III.03 : Epaisseur de l'encrochement et $D_{50}$ minimal des pierres	
En fonction de la hauteur de la vague.....	66
Tableau III.04 : Valeurs du coefficient K en fonction de la catégorie de l'ouvrage.....	67
Tableau III.05 : Volumes des recharges (argile).....	73
Tableau III.06 : Volume des rip-rap.....	74
Tableau III.07 : Volume des sables.....	74
Tableau III.08 : Volume du noyau.....	75
Tableau III.09 : Volumes des recharges.....	75
Tableau III.10: Volume du rip-rap.....	76
Tableau III.11 : Volume des sables.....	76
Tableau III.12 : Volume des recharges (encrochements).....	77
Tableau III.13 : Volume du béton.....	77
Tableau III.14 : Volume des graviers.....	78
Tableau III.15: Les coûts des différentes variantes étudiées.....	78
Tableau IV.01 : Classe de barrage en terre en fonction du type	
De la fondation. (V.volkov,1986).....	81
Tableau IV.02 : Valeurs indicatives des fruits de talus.....	81
Tableau IV.03 : Récapitulatif des résultats de la couche de filtre.....	86
Tableau IV.04 : Coordonnées de la parabole de KOZENY .....	90
Tableau IV.05 : Gradient hydraulique admissible.....	93
Tableau IV.06: Détermination du gradient d'infiltration admissible.....	93
Tableau IV.07 : Détermination de coefficient de sécurité.....	94
Tableau IV.08 : Caractéristiques mécaniques des matériaux.....	95
Tableau IV.09 : Coefficient de stabilité admissible des talus.....	95
Tableau IV.10 : les valeurs admissibles des coefficients de sécurité.....	96

Tableau IV.11 : Coefficients de sécurité pour différents cas de fonctionnement.....	99
Tableau V.01 : Symboles des opérations.....	105
Tableau V.02 : Détermination du chemin critique par la méthode du tableau.....	106
Tableau V.03 : Devais estimatif du cout de la digue.....	108
Tableau V.04 : Vitesse de l'air dans les différentes canalisations.....	113

Expert PDF Evaluation

## Liste des figures

Figure I.01: L'emplacement du site de M'djedel.....	3
Figure I.02 : La topographie du bassin versant de M'djedel.....	6
Figure I.03 : La carte géologique régionale.....	8
Figure I.04 : Carte de micro zonage sismique du territoire national .....	10
Figure II.01 : Répartition des courbes de niveaux du bassin versant .....	19
Figure II.02: Rectangle équivalent .....	19
Figure II.03: Le réseau hydrographique du bassin versant.....	20
Figure II.04 : Profil en long du cours d'eau principal et la courbe hypsométrique de l'oued.....	26
Figure II.05 : Variation mensuelle de températures-Station de Djelfa.....	23
Figure II.06 : Variation mensuelle de températures-Station de M'sila.....	23
Figure II.07 : Vitesse des vents-Station de BouSaada .....	24
Figure II.08 : Répartition mensuelle de l'évaporation .....	24
Figure II.09 : Répartition mensuelle des précipitations .....	25
Figure II.10 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton.....	29
Figure II.11 : Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.....	32
Figure II.12 : La comparaison graphique entre les deux lois (Galton et Gumbel).....	32
Figure II.13 : Pluies de Courtes durées.....	33
Figure II.14 : Intensité –Durée –Fréquence .....	34
Figure II.15: Répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel .....	37
Figure II.16 : Représentation mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80% .....	38
Figure II.17 : L'Hydrogrammes des crues probables en fonction de temps (SOKOLOVSKY).....	45
Figure II.18 : L'Hydrogramme de la crue de projet pour une période de retour 1000 ans .....	46
Figure II.19 : Courbes « Hauteurs-Capacité-Surface .....	48
Figure II.20 : La représentation graphique de la méthode de Kotcherine.....	51
Figure II.21 : Courbe d'optimisation .....	58
Figure III.01 : Abaque de détermination de la hauteur des vagues,l'US Army Corps of Engineers...	66
Figure IV.01 : Forces exercées par une tranche de sol instable sur le cercle de glissement(O, Ri)...	95
Figure V.01 : Organigramme de la prévention .....	109

## Liste des planches

Planche N°1 : vue en plan de l'aménagement.

Planche N°2 : coupe géologique dans l'axe du barrage.

Planche N°3 : profil en long et vue en plan de la 1ere variante (évacuateur de crue latéral a entonnement latéral).

Planche N°4 : profil en long et vue en plan de la 2eme variante (évacuateur de crue latéral a entonnement a déversoir touches de Piano).

Planche N°5 : détail de variante retenue (évacuateur de crue latéral a touches de piano).

Planche N°6: coupe en travers de la deuxième variante (évacuateur de crue latéral a touches de Piano)

Planche N°7: ferrailage (évacuateur de crue latéral a touches de piano).

Planche N°8: Le planning des travaux.

Expert PDF Evaluation

# **Introduction générale :**

Expert PDF Evaluation

## **Introduction générale :**

Depuis longtemps la pluie et les écoulements dans les rivières sont les sources essentielles, Mais ses sources sont gérées par la nature et il est très difficile de les utiliser dans leurs états naturels, car leurs répartitions varient irrégulièrement. Pour cette raison l'homme a pensé de régulariser ce don par la réalisation d'un barrage.

Un barrage est un ouvrage d'art coupant le lit d'un cours d'eau et destiner à en retenir l'eau par la création d'un lac artificiel à fin de répondre aux besoins des populations soit ; en alimentation en eau potable, en irrigation, production de l'énergie et même pour des fins touristiques. Les barrages sont parmi les constructions humaines les plus importantes, à la fois par leurs dimensions parfois exceptionnelles et par leur utilité sociale.

La science qui s'intéresse au domaine des barrages s'appelle l'hydraulique, c'est une partie de la mécanique qui a pour objet la direction et la conduite de l'eau. C'est la science qui se préoccupe des ressources en eau pour les différents buts d'économie et lutte contre les effets nuisibles de l'eau en adoptant des techniques de projection des ouvrages. L'hydraulique étudie aussi les méthodes d'utilisation des ressources en eau pour des besoins de l'économie en édifiant les ouvrages hydrauliques tels que les barrages.

Selon les plus récentes données moins de 1 % de toute l'eau douce sur la planète est facilement accessible à l'être humain, et a une forte tendance à se réduire en considérant la croissance démographique de la pollution, le réchauffement de la terre et la mauvaise gestion des ressources disponibles. Ce problème qui interpelle plusieurs chercheurs dans le monde est posé avec intensité en ALGERIE.

Le développement de notre pays suppose la maîtrise des ressources en eau, parmi lesquelles les eaux de surface qui ont une importance vitale pour toute entreprise agricole ou pastorale entre autres. Depuis la dernière décennie, l'édification des barrages a été une solution très largement utilisée pour résoudre les délicats problèmes de mobilisation des ressources en eau

L'objet de cette étude est la mobilisation des ressources superficielles de l'oued M'djedel dans la wilaya de M'sila en vue de l'alimentation en eau potable de la région de M'djedel .l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) a confié cette étude d'avant-projet détaillé du barrage de M'djedel au bureau d'étude français en se basant sur les études antérieures, notamment de faisabilité afin de présenter un rapport ou seront formulées toutes les solutions les plus recommandables pour l'étude du barrage.

Le contenu comprendra cinq chapitres répartis comme suit :

Dans le premier chapitre qui sera un mémoire de synthèse de l'étude de faisabilité qui a été faite par un bureau d'étude français « Coyne et bellier, Ingénieur, Conseils, Paris ».

Tout dimensionnement d'un barrage s'articule sur une étude hydrologique détaillée. Celle-ci consiste essentiellement à la détermination des conditions actuelles qui caractérisent la zone de l'aménagement, à savoir calculer les caractéristiques morphologiques, les données climatologiques et pluviométriques, de déterminer l'apport liquide moyen annuel, ainsi que les apports de différentes fréquences. Les débits maxima et les apports solides seront également déterminés.

Toutes ses caractéristiques sont nécessaires au dimensionnement du barrage et du ses ouvrages annexes tels que le déversoir de surface et la vidange du fond.

On consacrerá un chapitre pour l'analyse des variantes de digues et le choix sera en fonction de la disponibilité des matériaux ; ainsi une étude détaillée de la conception, d'infiltrations et de la stabilité des talus de cette dernière.

Le chapitre qui suit sera consacré à l'organisation de chantier qui interprétera les moyens à mettre en œuvre pour la construction et l'exécution des différentes tâches de réalisation ainsi que le planning des travaux pour conclure la protection et la sécurité de travail de notre projet.

Expert PDF Evaluation

# **Chapitre I : Synthèse de l'étude de faisabilité**

Expert PDF Evaluation

## Introduction :

L'étude de faisabilité a pour but la description générale de l'aménagement et la présentation d'un exposé descriptif et justificatif de la solution adoptée. Ce qui nous permettra de faire l'étude d'avant-projet détaillé de ce barrage en se basant et en complétant les études faites au stade de l'étude de faisabilité.

### I.1.Généralités :

Le barrage M'djedel se situe sur Oued M'djedel, dans la wilaya de M'sila, est parmi les ouvrages qui sont en étude, dont l'étude de faisabilité qui a été faite par le bureau d'études Coyne et Bellier (France).

#### I.1.1.Objectif du barrage :

L'objectif est de mobiliser les ressources de surface par des réservoirs de régularisation des oueds afin d'alimenter les périmètres irrigués existants (environ 3000ha) et nouveau à créer (possibilité de centaines de hectares), mais afin de recharger la nappe phréatique pour utiliser les réservoirs souterrains comme réservoir de régularisation et faciliter les pompes ultérieures.

#### I.1.2. Localisation de l'ouvrage :

Le projet de barrage M'Djedel est situé à quelques **3 Km** en amont du village M'Djedel dans la wilaya de M'Sila, à moins de **55 Km** de la ville de Boussaâda et à moins de **200 km** de la zone côtière méditerranéenne.

Les coordonnées UTM de site sont :

X=562,750 Km ; Y=3886,670 Km ; Z=868m,NGA (fond de la vallée)

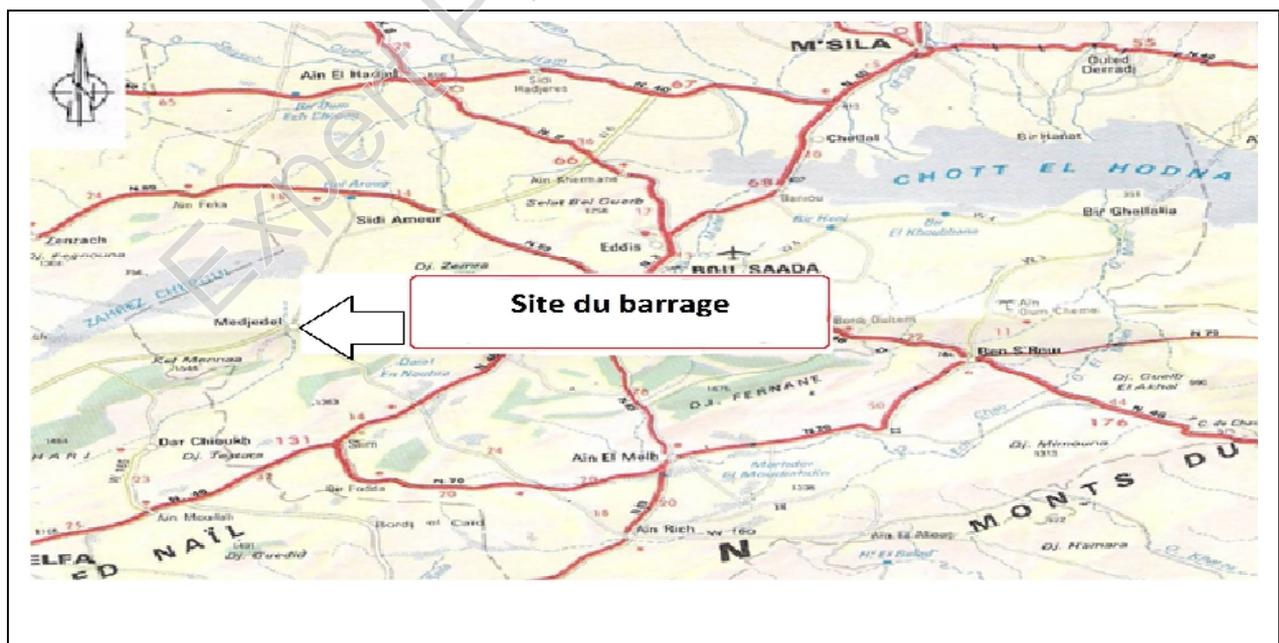


Figure I.01 : L'emplacement du site de M'djedel.

(Source : A.N.B.T)

L'accès au site est possible le long du lit de l'oued sur une piste à partir du village de M'Djedel. Cette piste est praticable seulement pendant la période d'étiage.

Il est aussi possible d'accéder au site du barrage à partir du village de Mena.

### **I.1.3.Composition de la variante retenue dans l'étude de faisabilité :**

#### **I.1.3.1.Digue :**

L'ouvrage principal est une digue en terre. La crête est calée à la cote 905 m NGA. Le parement amont est pente à 2,8/1, et le parement aval à 2,2/1. Ces pentes sont avant tout fixées par les caractéristiques mécaniques des recharges en alluvions graveleuses mises en place

A l'aval du noyau étanche, les percolations éventuelles à travers le noyau sont collectées par un filtre drainant de 3 mètres d'épaisseur. Celui-ci se prolonge sous la recharge aval par un tapis drainant faisant transiter les débits vers le pied aval de la digue.

Le talus amont est protégé de l'action de la retenue par un rip-rap résistant au gel de 1 mètre d'épaisseur. Le talus aval est recouvert d'une couche d'enrochements de protection de 60 cm d'épaisseur pour éviter les érosions dues à la pluie.

#### **I.1.3.2. Evacuateur de crue :**

L'évacuateur de crues projeté est un évacuateur de surface bétonné, implanté en rive droite. L'implantation de l'ouvrage a été déterminée pour fonder le coursier au rocher avec une incidence optimum du jet restituée par rapport au lit de la rivière.

Le seuil, calé à la cote de RN 901 m NGA, a une longueur développée de 91 mètres. Il est fondé au rocher sain. Des ancrages sont prévus au niveau du seuil déversant et sur les 30 premiers mètres du coursier (dans l'axe de l'évacuateur). La présence d'un rideau d'étanchéité sous le seuil déversant permet de limiter le débit de fuites et ainsi limiter le risque de sous-pression sous les dalles du coursier.

La crue de projet est la crue décennale dont le débit de pointe à l'entrée dans la retenue est de 1045 m<sup>3</sup>/s. Le débit sortant laminaire est de 1025 m<sup>3</sup>/s avec une cote maximale du plan d'eau à 899,5 m NGA. Il reste encore 1,5 m avant que le niveau du réservoir n'atteigne la crête du barrage.

Sur les 72 premiers mètres, le coursier a une pente de 5,88% et sa largeur se réduit progressivement pour atteindre 25 mètres. Au-delà, sur une longueur de 194 mètres, la pente du coursier est de 9% et sa largeur reste constante et égale à 25 mètres. La hauteur des bajoyers est de 8 m jusqu'à ce que le radier atteigne la cote 890 m NGA, elle diminue progressivement en deux phases pour atteindre 4 m et finir à 3 m.

Le système de drainage est prévu sous le coursier de manière à éviter toutes les sous-pressions d'eau.

### I.1.3.3. Dérivation provisoire :

#### -La galerie à la rive :

La dérivation provisoire de l'oued durant les travaux est assurée par une galerie bétonnée de largeur 3.5m qui a une forme de fer à cheval avec une section de 12.69 m<sup>2</sup> et une hauteur de 4m, sa longueur de 143 m, son radier aval est calé à 867m NGA, et 868m NGA à son radier amont.

#### -la galerie sous le remblai :

En phase définitive, la galerie sous le remblai assure les fonctions telles que la vidange de fond et la prise d'eau.

#### -le batardeau:

La protection de chantier contre la crue d'une période de retour 50ans qui a donné un débit 305 m<sup>3</sup>/s, avec une revanche de 1.5m et la cote de la crête de batardeau est de 892,1 m NGA, Ce dernier sera intégré à la digue comme recharge amont de remblai.

### I.1.3.4. Tour de prise d'eau :

La structure de la tour de prise a été étudiée pour obtenir un ensemble ayant des formes faciles à réaliser et économes en matériaux, dont les caractéristiques sont les suivantes :

-Hauteur : 38 m.

-forme : pentagonal.

-Vanne de garde : 1.8 x 2.4 m.

-Accès à la tour se fait par une passerelle à partir de la crête du barrage.

-Diamètre de la conduite de prise d'eau : 800mm dans la tour puis 600 mm dans la vidange de fond

### I.1.3.5. Vidange de fond :

la galerie de vidange, par laquelle la conduite transite connectée aux deux prises d'eaux étagées, elle est équipée à l'amont d'une vanne de réglage, le débit maximal de vidange est de 30 m<sup>3</sup>/s et un temps de purge est de 3 jours, l'énergie évacuée par la vidange est dissipée par un ouvrage aval de type saut de ski.

## I.2. Synthèse des études préliminaires :

### I.2.1. Généralités :

Dans cette partie, nous exposons le résumé des études préliminaires élaborées lors de l'étude de faisabilité : l'étude topographique, géologique, géotechnique et hydrologique.

### I.2.2. Etudes topographiques :

La région se présente généralement comme une région à relief modéré et aux pentes moyennes, La plus grande partie du bassin versant de l'oued M'djedel se situe entre 1000 et 1200 m d'altitude, Les montagnes les plus escarpées s'élèvent jusqu'à 1400 m environ et culminent à 1484 m, Le bassin versant a une forme plus ou moins allongée, avec un coefficient de compacité de 1.49, Cette forme allongée, suggère que les crues seront moins catastrophiques

au site du barrage, dufait que les eaux de crues drainées par les différents affluents du bassin arriveront avec unecertain décalage au site de la retenue.

Les principales caractéristiques morphologiques du bassin versant sont indiquées dans le tableau I.1.et la figure I.02.

Tableau I.1 – Caractéristiques morphologique de bassin versant ( Source :ANBT)

Désignation	unités	valeurs
Superficie du bassin «S»	Km <sup>2</sup>	645
Périmètre du bassin versant « P»	Km	135
Kc (Coef de compacité) adimensionnel		1.49
L (longueur équivalent)	Km	55.98
I (largeur équivalent)	Km	11.52
H max	m,NGA	1484
H moy	m,NGA	1060
H min	m,NGA	862
H50%	m,NGA	1061
Dénivelée brute « h »	m	622
Dénivelée utile (H5%-H95%)	m	264
Indice de pente globale	m/m	0.005
Dénivelée spécifique Ds	m	120
Longueur du thalweg principal Lp	Km	52

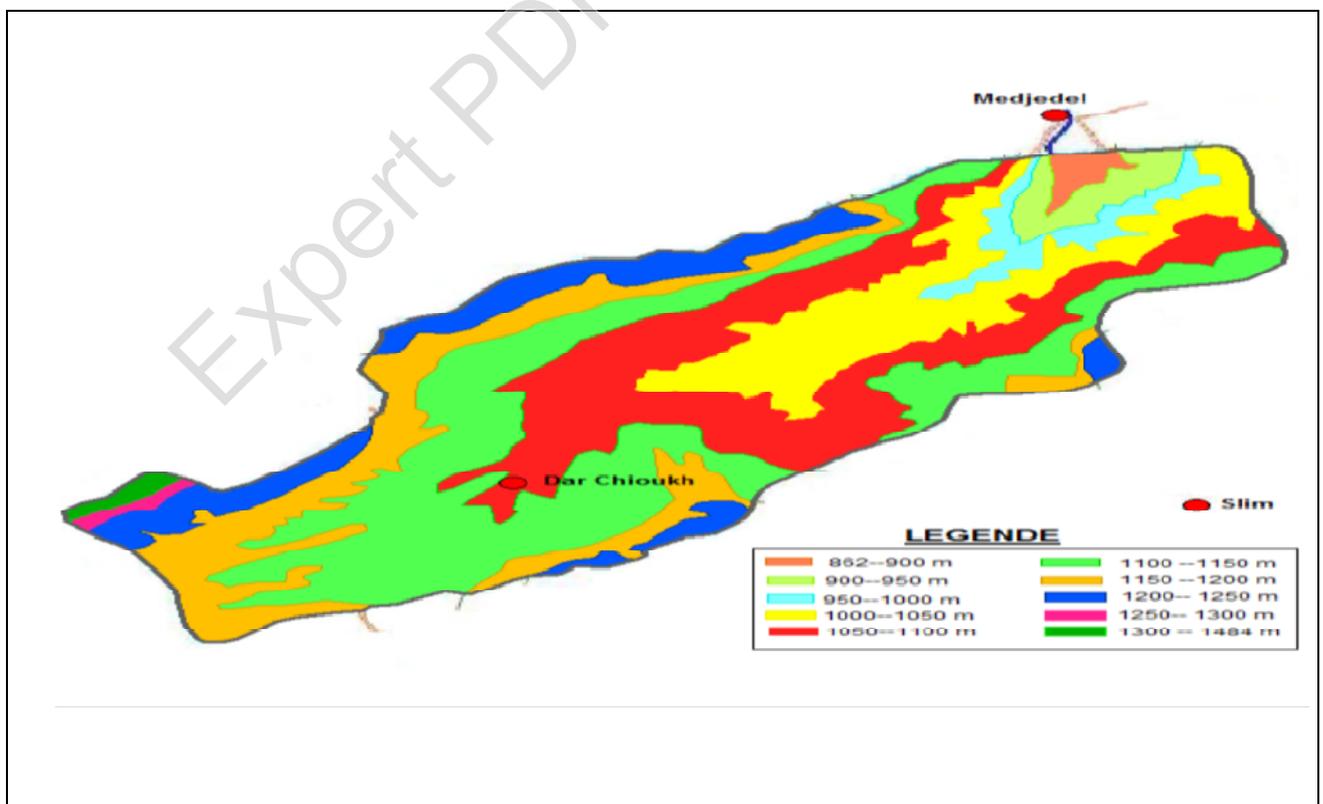


Figure I.02 :La topographie du bassin versant de M' djedel

( source :ANBT)

### **I.2.3. Etudes géologique et géotechnique :**

Les objectifs principaux des investigations étaient d'obtenir les informations sur:

- Le bassin de rétention d'eau et la zone aval.
- La situation du site, afin de comprendre et expliquer les effets de terrassement et de construction par rapport à la stabilité des pentes, les eaux souterraines et la perméabilité du bassin réservoir.
- Les conditions de fondation, la distribution et les propriétés des différents matériaux de fondation, la perméabilité, la solidité et le terrassement des différentes classes de matériaux, la convenance des matériaux de terrassement comme matériaux de construction, et des caractéristiques des discontinuités géologiques qui pourraient influencer la fondation.
- A partir des investigations, une carte géologique à l'échelle 1:2000 du site de barrage a été préparée. La carte comprend les zones adjacentes qui couvrent les ouvrages auxiliaires principaux comme l'évacuateur de crue et l'ouvrage de vidange. Les coupes géologiques ont été préparées pour mettre en évidence les aspects qui affecteront l'axe du barrage et les ouvrages auxiliaires comme l'évacuateur de crues et l'ouvrage de vidange.
- En plus une carte géologique du bassin de rétention à l'échelle 1:100 000 a été préparée. Cette carte permettra d'identifier les formations rocheuses et les aspects qui pourraient affecter la perméabilité du bassin

#### **I.2.3.1. Contexte géologique régionale :**

La zone d'étude se situe à l'extrémité orientale de l'Atlas saharien, dans la région des Monts des Oulad Naïl.

La morphologie est conditionnée par une succession de plis parallèles de direction SO-NE se traduisant par une alternance de crêtes allongées (djebels) le long des rides anticlinales et de cuvettes synclinales. L'altitude moyenne des rides varie de 1250 à 1400 m, le Djebel Chebeibita culminant à 1544 m, tandis que l'altitude des dépressions se situe entre 1000 et 800 m. La grande cuvette centrale de Dar Chioukh plonge légèrement vers le NE et son altitude varie de 1150 m au SO à 870 m au NE.

##### **I.2.3.1.1. Lithologie et stratigraphie :**

Dans la zone d'étude prédominent les sédiments marins du crétacé, des formations d'âge crétacé inférieur sont exposées dans les parties hautes des reliefs correspondant aux rides anticlinales, tandis que des sédiments du tertiaire continental recouvrent le substratum et occupent les larges dépressions séparant les rides, et le crétacé supérieur est constitué entièrement de sédiments d'origine marine.

-le crétacé inférieur est constitué par deux unités lithostratigraphique l'une est de formation argilo-gréseuse et l'autre formée d'une série argilo-carbonatée tel que les dolomies, le calcaire gréseux.

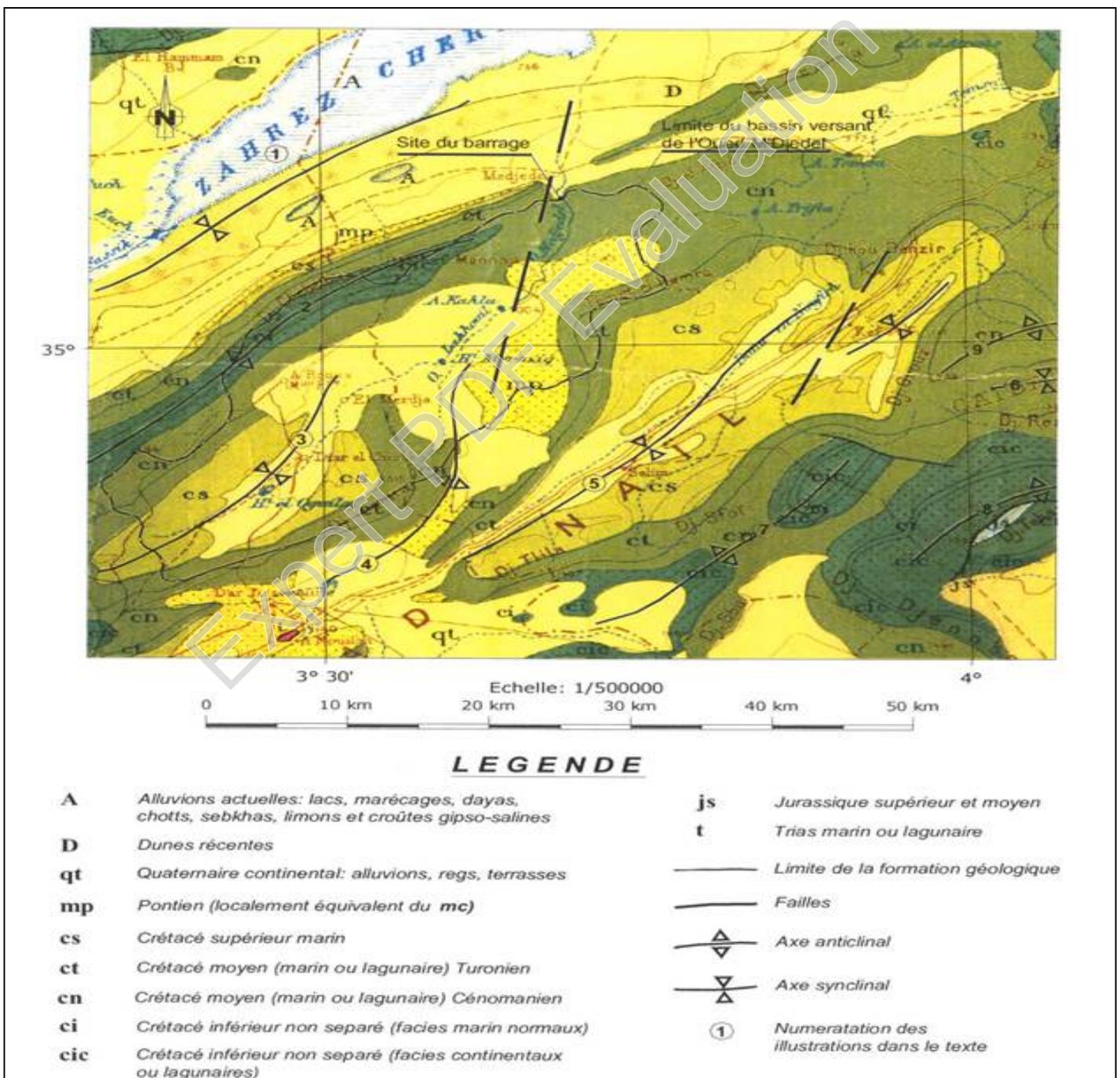
-le crétacé supérieur est largement représenté comme le cénonanien qui est constitué de marnes grises et les débris organiques avec des grés argileux fins, le turonien qui est le basale calcaire

Constitué généralement des falaises, le sénonien est constitué de l'ammonite et de calcaire argileux, le campanien qui est caractérisé par les marnes et une tendance de calcaire.

Les séries continentales du tertiaire se composent d'une alternance d'argiles sableuses, de grés, de sables et de graviers, de conglomérats à éléments polygéniques de taille variable.

Le quaternaire récent couvre une superficie importante, il occupe toutes les zones dépressionnaires et se raccorde par un talus en pente douce aux flancs des reliefs son épaisseur dépasse 30m.

Figure I.03 : la carte géologique régionale Source : A.N.B.T.



### **I.2.3.1.2. Tectonique régionale:**

les observations de terrain dans la zone d'étude et l'analyse des documents géologiques ont permis de distinguer les ensembles morpho-structuraux suivants ,on allant du NO vers SE :

-la depression des ZAHREZ, au nord et nord-ouest du site de barrage, et recouverte de dépôts quaternaires qui masquent les structures plissées des formations crétacées sous-jacentes.

-l'anticlinal du DJEDBEL CHEBEIBITA lequel s'appuie la forme synclinale des Zaherz, qui est situé au sud-ouest du site de barrage.

-le synclinal de DAR CHIOUKH est bien mis en évidence par les crêtes calcaires turnoneniennes qui transparaissent à travers les dépôts quaternaires.

-l'anticlinal de DAR TISSELOUINE borde au sud le synclinal de Dar Chioukh, le long de son axe, les sédiments albiens sont localement par le cénomaniens, l'inflexion de la zone axiale de cette structure marquée par un changement de direction de nord-est et sud-ouest vers le nord-sud pourrait être liée à des accidents tectoniques.

Alors à l'échelle régionale, les principales familles de failles sont orientées nord-est et sud-ouest ainsi l'est-ouest, les accidents de direction nord-ouest et sud-est sont aussi enregistrés dans la région d'étude, tous ces accidents auraient joué d'abord en failles à rejet vertical, régissant la sédimentation puis en décrochements senestres (nord-est et sud-ouest) ou dextre (est-ouest et nord-est ainsi sud-est).

Donc la structuration géologique serait liée aux épisodes d'activité tectonique intense relativement récents, d'âge Eocène moyen à Miocène, qui sont vraisemblablement superposés à des déformations plus anciennes, localement des structures géologiques complexes, tels des plissements dysharmoniques.

### **I.2.3.2. Sismicité:**

Selon le zonage sismique en territoire algérien, le site du barrage M'djedel se situerait dans une zone de sismicité faible à modérée, d'après les documents historiques de seisme aucune indication sur le mécanisme de foyer des séismes significatifs les plus proches de la zone de projet c'est à dire pas d'identification des structures sismogéniques dans un rayon d'environ 100Km autour de site de barrage, de ce fait et en raison du niveau de sismicité faible à modéré, aucune étude sismotectonique spécifique ne fut réalisée à ce stade alors l'évaluation de l'aléa sismique a été basée sur l'analyse de la sismicité historique.

Il convient de noter que le niveau d'intensité considérés pour le barrage de M'Djedel est relativement bien représentés dans les échantillons ayant servi à l'établissement des lois empiriques. Toutefois, en raison de l'incertitude inhérente aux estimations empiriques et à l'éventuelle imprécision des renseignements sur la sismicité historique, cette évaluation devrait être révisée et complétée, lors de la phase d'étude suivante, par une méthode moderne de diagnostic du risque sismique basée, en particulier, sur les données sismotectoniques récentes.

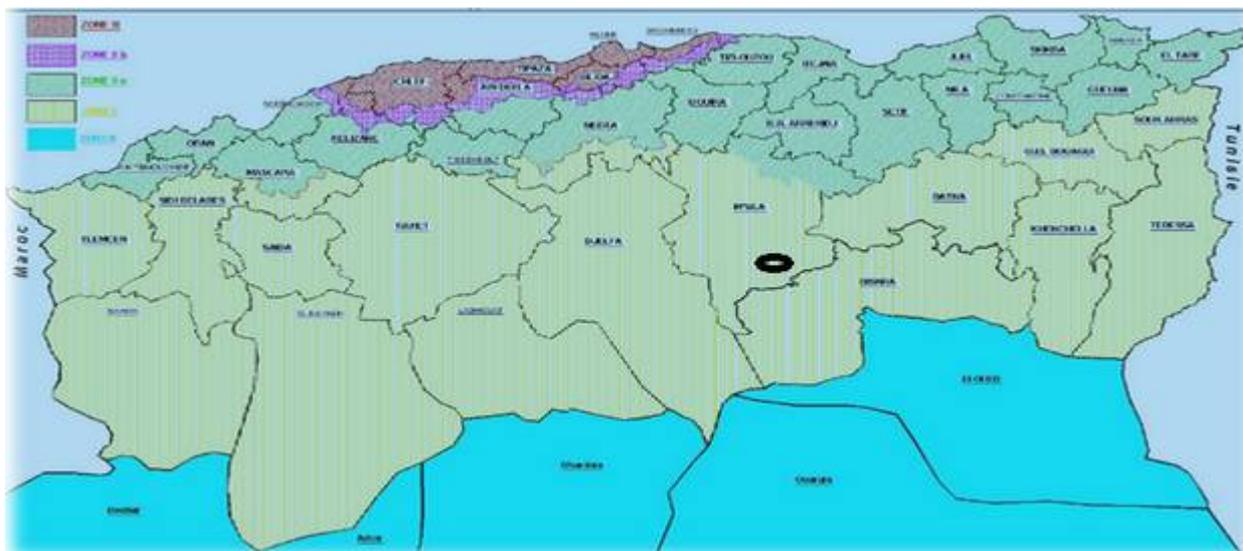


Figure I.04: .Carte de micro zonage sismique du territoire national.Source :R.P.A (99) V2003

Tableau I.02 : Coefficients d'accélération du séisme.

Zone I	Zone II-a	Zone II-b	Zone III	Classification des ouvrages selon leur importance
0.15	0.25	0.30	0.40	Ouvrages d'importance vitale
0.12	0.20	0.25	0.30	Ouvrages de grande importance
<b>0.10</b>	0.15	0.20	0.25	<b>Ouvrages courants</b>
0.07	0.10	0.14	0.18	Ouvrages de faible importance

Pour le calcul de la stabilité nous avons classé notre ouvrage groupe d'usage 2 selon le RPA (c'est-à-dire ouvrage courant), notre digue est implantée dans la wilaya de M'sila classe **zone I** selon le règlement parasismique Algérien RPA .99. (2003).

### I.2.3.3.Reconnaissance géologique réalisées:

La reconnaissance géologique de terrain, ayant pour objectif d'identifier et caractériser les formations géologiques et de relever la structure géologique du site, s'est concrétisée par la réalisation du levé géologique .D'autre part, une reconnaissance élargie de la zone du projet a visé la géologie de la zone de retenue et la prospection des gisements de matériaux de construction.

#### I.2.3.3.1.Sondages :

-Neuf sondages carottés de 236 ml, Six (06) dans l'axe (30 – 35 m), Deux sondages (20m) en fond de vallée, Un sondage de 6m pour le prélèvement de 12 échantillons d'argiles dans l'axe de barrage.

-Quatre forages ont été équipés en piézomètre en rives de l'axe de barrage.

-94 essais d'eau dont 56 lugeons et 38 Lefranc.

#### I.2.3.3.2.puits :

-Quatre puits à la pelle de 3 m de profondeur sur la zone d'emprunt d'argile à l'amont de l'axe.

-Sept puits de 2.2 m de profondeur sur la zone d'emprunt d'alluvions à l'amont de l'axe.

#### I.2.3.3.3.Géophysique :

##### a)-Sismique réfraction :

-Six profils sur site de barrage, un profil suivant l'axe du barrage et cinq profils transversaux, dont un en rive gauche, deux en fond de la vallée et deux en rive droite.

- 1 profil sur site de carrière proposé.
- 1 profil dans la zone d'emprunt de graves.

**b)-prospection électrique :**

- deux profils de résistivité,l'un de rive à rive et l'autre de l'amont à l'aval
- dix sondages électriques dans la zone d'emprunts d'argiles.

**I.2.3.3.4.Essais au laboratoires :**

Des échantillons ont été prélevés dans les carottes de sondage,dans les puits de reconnaissance et sur les affleurements pour étudier en laboratoire des terrains de la fondation du barrage et celles des matériaux de construction, alors 22 échantillons de sols cohérents,dont 12 échantillons intacts dans le sondage de 6 m de profondeur(l'axe),7 échantillons de graves,4 échantillons de rocheà l'affleurement, 24 échantillons de carottes et échantillons d'eau.

**I.2.3.4.géologie de la cuvette:****I.2.3.4.1.Terrainsde couverture :**

Le substratum rocheux est en grande partie recouvert par des terrains meublesreprésentéespar des sols fins dotés de cohésion a l'état sec et par des alluvions plus grossières dans les lits majeurs,des sédiments d'origine continentale et d'âge incertain (Miocène ou Quaternaire ancien), granulométrie globalement fine (argiles et limons sableux) mais incluant parfois des horizons ou des lentilles de graviers sableux ou limoneux, occupent généralement le haut des rives. Un horizon d'encroutement conglomératique, plus résistant à l'érosion.

Dans le fond de vallée, le substratum est généralement recouvert d'alluvions fluviales Holocènes, ayant jusqu'à 3 m d'épaisseur, composées de dépôtsgravelot-limoneux-sableux. Des terrasses basses, inondables, de même constitution lithologique mais avec une couche mince superficielle d'argile, s'étalent parfois latéralement à partir du lit de l'oued. Ces terrasses sont en général utilisées comme terrains agricoles.

**I.2.3.4.2.Substratum rocheux :**

Le substratum rocheux est constitué de sédiments marins du Crétacé supérieur (Cénomaniens) où alternance des couches de calcaires et de marnes de 20 à 60 cm d'épaisseur, avec des inters lits d'argilites schisteuses d'épaisseur centimétrique. Dans les gorges de l'oued M'Djedel a l'aval du site, les bancs calcaires atteignent 40 à 60 cm d'épaisseur, séparés par des inters lits marneux de faible épaisseur.

**I.2.3.5.Etude géologique de site du barrage:****I.2.3.5.1.Géologie du site de barrage :**

Le choix du site s'imposait tout naturellement dans la zone de rétrécissement conditionnée par la résistance plus grande à l'érosion du substratum rocheux affleurant a la faveur du cœur du pli anticlinal, le barrage est recouvert d'alluvions dont l'épaisseur peut atteindre 2 à 3 mètres,Les terrains meubles de couverture sont représentés principalement par des argiles limoneuses ou sableuses et par les alluvions du lit et des basses terrasses. Accessoirement, des éboulements et des cônes de déjection de faible étendue recouvrent localement le substratum. D'autre part, l'altération en place du substratum

affleurant conduit à la formation d'un horizon peu opaques de sol éluvial et de rocher désagrégé.

Les argiles continentales limoneuses ou sableuses sont largement répandues sur la rive droite. Elles constituent également une frange étroite mais continue au pied de la rive gauche et s'étalent vers l'aval pour recouvrir entièrement la partie inférieure de l'interfluve qui sépare le lit de l'oued du thalweg rive gauche.

En rive droite et en dehors des thalwegs profonds, l'épaisseur des sols fins cohérents varie généralement de 5 à 11 m, au gré de l'érosion différentiel mais aussi de la morphologie du toit du substratum.

Le substratum rocheux, plus ou moins altéré, affleure à l'extrémité de l'axe du barrage, entièrement érodés sur toute la largeur du lit majeur, ces terrains peuvent atteindre 2 à 3m d'épaisseur au pied de la rive gauche

Les structures du site du barrage ont les caractéristiques identiques aux structures de la cuvette et celles des linéaments régionaux. La direction des couches est généralement perpendiculaire à celle de la vallée, tandis que le pendage varie sous l'effet du plissement. C'est ainsi qu'au droit de l'axe de barrage proposé, les affleurements en rive gauche indiquent l'existence d'un axe de pli anticlinal.

#### **I.2.3.5.2. Les caractéristiques hydrogéologiques:**

##### **a). niveau aquifère :**

L'enregistrement du niveau aquifère dans les sondages a été effectué pendant la période sèche. En conséquence, les côtes respectives sont probablement minimales, le lit de l'oued se situe à la côte 870m. Dans les deux rives, le niveau de la nappe diminue, comme le montrent les sondages S-1 en Rive Gauche et S-6 en Rive Droite. L'oued alimenterait donc la nappe phréatique pendant la période d'étiage. Les sondages S-1, S-2, S-5 et S-6 ont été équipés en piézomètres. La lecture régulière du niveau aquifère devrait permettre d'étudier plus en détail les caractéristiques de la nappe phréatique.

##### **b). Mesures de la perméabilité du substratum :**

La perméabilité du substratum rocheux serait en général faible à modérée. Il faut toutefois préciser que, souvent, la pression n'a pas atteint 10 bars dans les parties les plus profondes des sondages.

Les résultats suggèrent une bonne corrélation entre les fortes valeurs de perméabilité et les niveaux calcaires. Ceci est vraisemblablement lié à la fracturation plus intense des bancs calcaires, relativement plus durs que les horizons marneux, ainsi qu'à la karstification. L'ampleur de ce phénomène n'est pas, à ce stade, suffisamment étudiée. Elle semble pourtant limitée par l'absence de communication entre les nombreux vides karstiques de taille centimétrique et seulement responsable de l'agrandissement des ouvertures des diaclases par la dissolution de leurs épontes. De surcroît, les intercalations marneuses constitueraient des coupures étanches entre les différentes couches calcaires.

De manière générale, les valeurs enregistrées n'indiquent pas une diminution significative et systématique de la perméabilité en profondeur. Cependant, les travaux d'injection ne sont pas jugés indispensables, étant donné d'une part les faibles fuites attendus au sein du rocher

sain et d'autre part la relativement faible charge hydraulique à laquelle la fondation sera soumise. En effet, bien qu'il existe des vides de dissolution karstique, on peut s'attendre à ce que les marnes de la fondation assurent son étanchéité.

### I.2.3.5.3 Aspect géotechnique :

La synthèse des résultats des sondages de reconnaissance et du levé géologique montre que les terrains à l'emplacement du barrage peuvent être attribués à trois unités géotechniques :

#### a)-substratum rocheux :

Du point de vue géotechnique, au-dessus du rocher sain, il est possible de distinguer une zone intermédiaire de rocher altéré et fracturé et une zone superficielle de rocher complètement altéré (sol éluvial). Cette séquence d'altération a été reconnue en particulier en rive gauche, tandis qu'en rive droite, le substratum est recouvert par les sols limoneux et argileux cohérents.

Tableau I.03 –Le résumé des résultats obtenus sur la roche (source : ANBT)

Types de matériaux	Essais			
	essai de la roche(RQD)	Perméabilité (lugeons)	porosité	compression
l'ensemble de substratum	45%	3-12.7 UL	—	—
les bancs calcaires	50%	10 UL	—	—
les marnes	40%	7 UL	23-34 %	1.15 MPA

#### b)-sols cohérents :

Les résultats des reconnaissances effectuées pendant l'étude préliminaire ont montrés que ces matériaux présentent une consistance dure et une compacité foisonnée et une résistance au cisaillement élevé. Dans le cas d'une teneur en eau naturelle, le module de compressibilité est de  $M = 4,7-16,7$  Mpa. Sous l'effet de l'eau, le complexe se tasse. La composition minéralogique est caractérisée par la présence d'illite et de  $\text{CaCO}_3$ , accessoirement de montmorillonite et de gypse,

Parmi les essais qui ont été réalisés au laboratoire dans le cadre de la présente étude sont :

- l'analyse granulométrique et la sédimentation montrent que ces matériaux appartiennent à la classe CL (des argiles maigres, limoneuses et sableuses).
- les limites d'Atterberg qui sont caractérisées par des limites de liquidité (LL) variant entre 21 et 37 et des indices de plasticité (IP) entre 3 et 18.
- Deux essais de cisaillement direct consolidé - non drainé (CU) ont été réalisés, indiquant une cohésion de 0,1 et 0,15 Mpa et un angle de frottement  $22^\circ$  et  $28,30^\circ$ , respectivement.
- Les 10 essais Proctor effectués ont montré que, pour des teneurs en eau optimales qui varient entre 12 et 17%, les densités sèches maximales oscillent entre 1,77 et

1,89 t/m<sup>3</sup>.

- 7 essais de compressibilité ont indiquée des pressions de pré-consolidation de 0,4 à 2,8 bars, des coefficients de compressibilité Cc dont les valeurs varient entre 7,8 et 17% et des coefficients de gonflement Cg compris entre 0,4 et 2,2%.

Selon les résultats des essais Lefranc, la perméabilité est en moyenne de **8,5 x 10<sup>-8</sup> m/s** dans la couche supérieure et de **7,2 x 10<sup>-8</sup> m/s** dans la couche inférieure.

### c)-dépôts alluviaux :

Les essais d'identification réalisés sur 7 échantillons ont montré que ces matériaux sont classés GW et SW, avec un contenu en fraction fine < 80  $\mu m$  variable (3 à 35%), sur la base de l'essai Lefranc, le coefficient de perméabilité est en moyenne de  $2,8 \times 10^{-5}$  m/s.

### I.2.3.6. Etude géologique des matériaux de constructions :

Pour les besoins de la construction du barrage et des ouvrages annexes, les trois matériaux de construction ci-dessous se trouvent sur place à proximité immédiate de l'axe du barrage :

- les graviers sableux grossiers
- les sols limono-argileux cohérents
- la roche en bancs pour l'exploitation au moyen d'explosifs.

#### I.2.3.6.1. Zone d'emprunt des graves :

Les essais sur deux échantillons d'agrégats naturels dans l'étude préliminaire ont donné les résultats mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.04 : les résultats de tamisage des matériaux de la zone d'emprunt des graves.

Composition granulométrique	Diamètre (mm)	Pourc des tamisats (%)
Galets grossiers	> 100	0
Graviers à gros grain	40-100	10-16
Graviers grossiers	10-40	19-35
Gravillons	5-10	19-35
Sables	1-5	12-14
Sables fins	0,1-1	13-34
Sables très fins	0,02-0,1	1-4
Argile – limon	< 0,02	1

- Teneur en sable H = 37 -57%

- Module de finesse  $m = 4,2 - 5,2$
- $W_{opt} 6,3 - 5,7\%$
- $\gamma_{max} 22,9 - 23,2 \text{ KN/m}^3$

La couche de gravier est épaisse de 1,6 à 2,0 m. La limite des matériaux exploitables coïncide avec le toit d'une couche de gravier fort argileux située à la base des dépôts alluviaux, juste au-dessus du substratum. La zone reconnue du lit pourrait fournir environ 700 000 m<sup>3</sup> de matériaux.

#### **I.2.3.6.2. Zone d'emprunt des argiles :**

Lesterrains de couverture quaternaires dans la cuvette ont fait l'objet des reconnaissances, en vue de leur utilisation comme matériaux imperméables dans le corps du barrage.

Les dépôts argileux sont constitués d'argiles limoneuses superficielles et d'argiles limoneuses à concrétions carbonatées en profondeur.

La zone reconnue constituerait une réserve de matériaux de 500 000 m<sup>3</sup> pour la construction du barrage. Ces argiles se trouvent à proximité immédiate du barrage en quantités illimitées. L'exploitation pourra s'effectuer sur place à sec.

Les essais qui ont été effectués sur deux échantillons dans le cadre de l'étude préliminaire ont fourni les résultats suivants :

- La limite de liquidité est: 31- 44%
- La limite de plasticité est: 18%
- Indice de plasticité est: 14- 26%
- $W_{opt} : 13 - 14\%$
- $\gamma_{max} : 19 - 19,3 \text{ KN/m}^3$
- $W_{moyennes} : 9 \%$
- Angle de frottement =  $26^\circ - 29^\circ$
- cohésion =  $22 - 35 \text{ KN/m}^2$

Pour les besoins des essais de classification et des essais spéciaux de laboratoire de la qualité de ces sols, 10 échantillons remaniés et 12 échantillons intacts ont été prélevés.

#### **I.2.3.6.3. Zone de carrière :**

Les bancs calcaires d'une épaisseur de **40 à 60 cm** dans les gorges sur la rive gauche de l'oued à l'aval à environ 1 km de l'axe du barrage sont considérés comme une source d'agrégats potentielle.

Après extraction de ces matériaux au moyen d'explosifs, ils pourront être employés pour protéger les talus. Après concassage, ils pourront être utilisés comme agrégats pour le béton.

Une limite d'exploitation qui assurera à cet emplacement un volume de 400 000 m<sup>3</sup> de matériaux est proposé. Vers l'aval, sur encore 300 m en rive gauche, les têtes de banc calcaires apparaissent

en surface du terrain et on note l'absence de lits de marnes, indiquant la possibilité de disposer de réserves supplémentaires.

Quatre échantillons (cubes 30 x 30 x 30 cm) ont été prélevés à l'affleurement pour les essais de laboratoire. Les résultats sont présentés dans son rappelés ci-dessous :

- Résistance en compression simple : 124 MPa (état sec, 1 essai) et 90 MPa (état sature, 1 essai).
- Essai Los Angeles (03) : 18,8 à 19,4%. Ces valeurs indiquent une bonne résistance à l'abrasion.
- Essai Dévale : 17,39 (état sec, 1 essai), 5,56 (état humide, 1 essai). Résistance à la traction (essai brésilien, 3 essais) : 2,6 à 4,6 MPa.

**Note :** l'emplacement et la description des zones d'emprunts pour la construction du barrage sont représentés en ANNEXE I.

#### **I.2.4. Etudes géophysique :**

Les méthodes géophysiques utilisées sont la sismique réfraction et la prospection électrique. L'ensemble des points de mesures ont été relevés topographiquement.

Les profils obtenus tant pour la sismique que pour l'électrique ont été calés sur les sondages carottés réalisés sur le site. La combinaison de ces données abouties à la caractérisation des différents horizons rencontrés ainsi qu'à la définition de leur géométrie.

Les résultats de l'étude par sismique réfraction mettent en évidence la succession de quatre couches. Il s'agit de :

- Une zone altérée.
- Une couche correspondante à l'ensemble de la formation de Gravier, Sables et Limons.
- Une couche dont le toit correspond aux formations de Marne-Calcaires ou aux Marnes.
- Une dernière couche dont le toit est une couche de Marne-Calcaires sains.

Ces couches ne sont pas présentées en continu. Quelques fois, la corrélation des couches a été difficile à cause des hétérogénéités et des variations importantes de facies. Deux sondages électriques verticaux ont été réalisés. Ces SEV confirment Hétérogénéité du sous-sol.

Il est à noter que le socle Marno Calcaire est continu et présente une géométrie douce sauf au niveau du sondage carotte S4. A ce niveau, il présente une remontée visible et probablement une faille soupçonnée.

Les vitesses des ondes transversales ont été aussi mesurées sur 5 profils.

La zone d'emprunt des argiles contient une épaisse couche d'argiles. Les SEV ont montré que son épaisseur dépasse les 10m. Une très mince couche d'alluvions vient s'intercaler dans les argiles.

Dans la zone de la carrière potentielle, la couche de calcaire intéressante est définie sur tout le flanc Ouest de l'Oued avec une épaisseur variante de 4m en bas à 10m en haut. Elle n'est couverte que partiellement, dans la partie supérieure, par une fine couche d'altération d'une épaisseur maximale de 0.5m.

### **I.2.5. Etude hydrologique :**

L'étude hydrologique a permis de définir les paramètres hydrologiques utiles pour le projet du barrage et de la retenue de M'Djedel sur l'Oued M'Djedel.

**Les principaux résultats de l'étude hydrologique sont les suivants :**

(Source : ANBT)

Superficie du bassin versant (Km <sup>2</sup> )	645
Apports liquides (hm <sup>3</sup> /an)	6.44
Débit de crue de projet (crue décennale) (m <sup>3</sup> /s)	1045
Volume de crue de projet (hm <sup>3</sup> )	54.5
Apports solides (hm <sup>3</sup> sur 50 ans)	3.665

### **Conclusion :**

Le mémoire de synthèse de faisabilité est un document très important dans l'étude d'avant-projet détaillé d'un barrage (APD). Il résume les études préliminaires faites pendant l'étude de faisabilité telle que l'étude topographique, géologique, géotechnique et hydrologique et géophysique.

Les conditions naturelles au droit du site et le contexte géologique dans la zone de la retenue sont favorables à la réalisation d'un barrage en terre.

Compte tenu des matériaux de construction disponibles à proximité immédiate du barrage, il est conseillé de remblayer le corps du barrage avec les matériaux argilo-limoneux cohérents.

Les travaux de reconnaissance réalisés ont permis de caractériser l'ensemble de la zone de la retenue et du site du barrage.

# **Chapitre II : Etude hydrologique**

Expert PDF Evaluation

## Introduction :

L'objet est la détermination des conditions actuelles qui caractérisent la zone de l'aménagement, à savoir calculer les caractéristiques morphologiques, les données climatologiques et pluviométriques, de déterminer l'apport liquide moyen annuel ainsi que les apports de différentes fréquences. Les débits maxima et les apports solides seront également déterminés.

Toutes ces caractéristiques sont nécessaires au dimensionnement du barrage et de ses ouvrages annexes tels que le déversoir de surface et la vidange de fond.

### II.1.Topographie et hydrographie du bassin versant :

Le bassin versant au droit d'une section de mesure est défini comme étant la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de cette section.

#### II.1 .1.Caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant : [1]

Les caractéristiques physico-géographiques du bassin versant ont été déterminées sur la base d'une carte d'état-major de M'DJEDEL à l'échelle 1/50000 :

Tableau II-01 : principales caractéristiques du bassin versant

Désignation		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	km <sup>2</sup>	645
Périmètre		P	km	135
Longueur du thalweg principal		L	km	52
Indice de compacité		KC	-	1.49
Coefficient d'allongement		Ca	-	4.19
Rectangle équivalent	Longueur	Lr	Km	55.47
	Largeur	lr	Km	11.63
Altitudes	maximale	Hmax	m	1484
	Moyenne	Hmoy	m	1055.21
	Médiane	Hmed	m	1061
	Minimale	Hmin	m	862
Indice de pente de Roche		IP	%	0.86
Indice de pente globale		Ig	m/km	4.76
Indice de pente moyenne		Ipm	%	11.81
Densité de drainage		Dd	Km/Km <sup>2</sup>	3.3425
Coefficient de torrentialité		Ct	-	8.79
Temps de concentration		Tc	h	16
Vitesse de ruissellement		Vr	Km/h	3.25

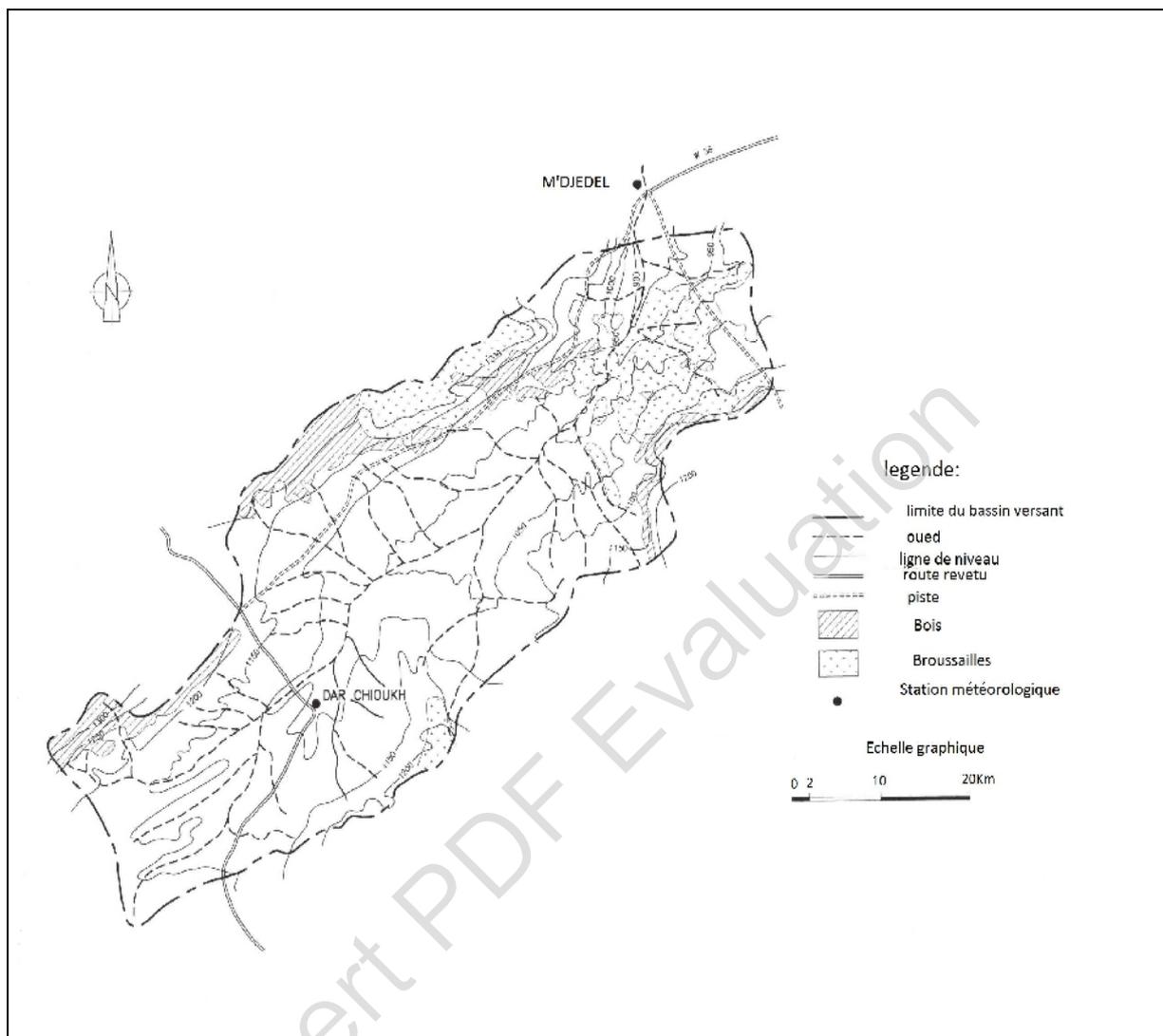


Figure II.01. : La répartition des courbes de niveaux

source : ANBT

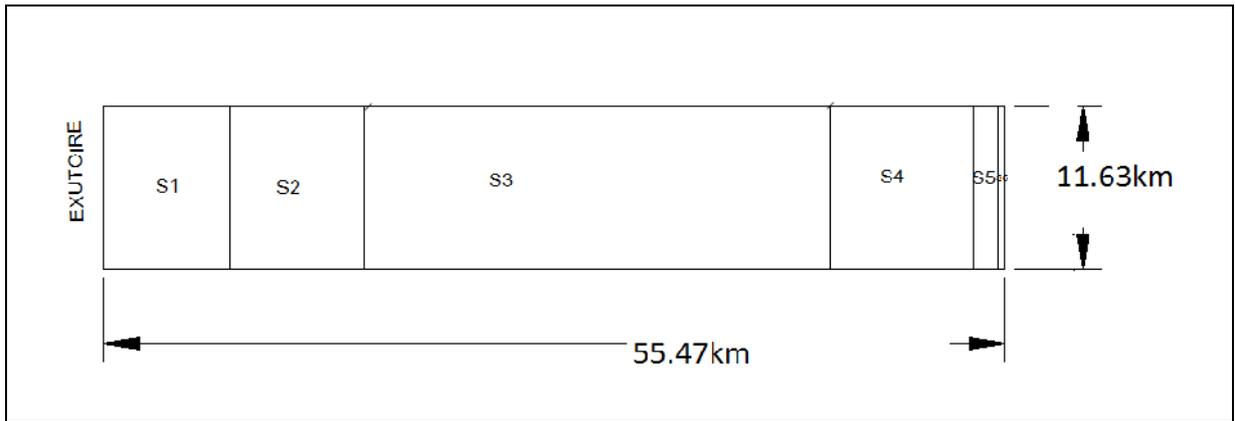


Figure II.02: Rectangle équivalent.

Figure II.03. : Le réseau hydrographique du bassin versant

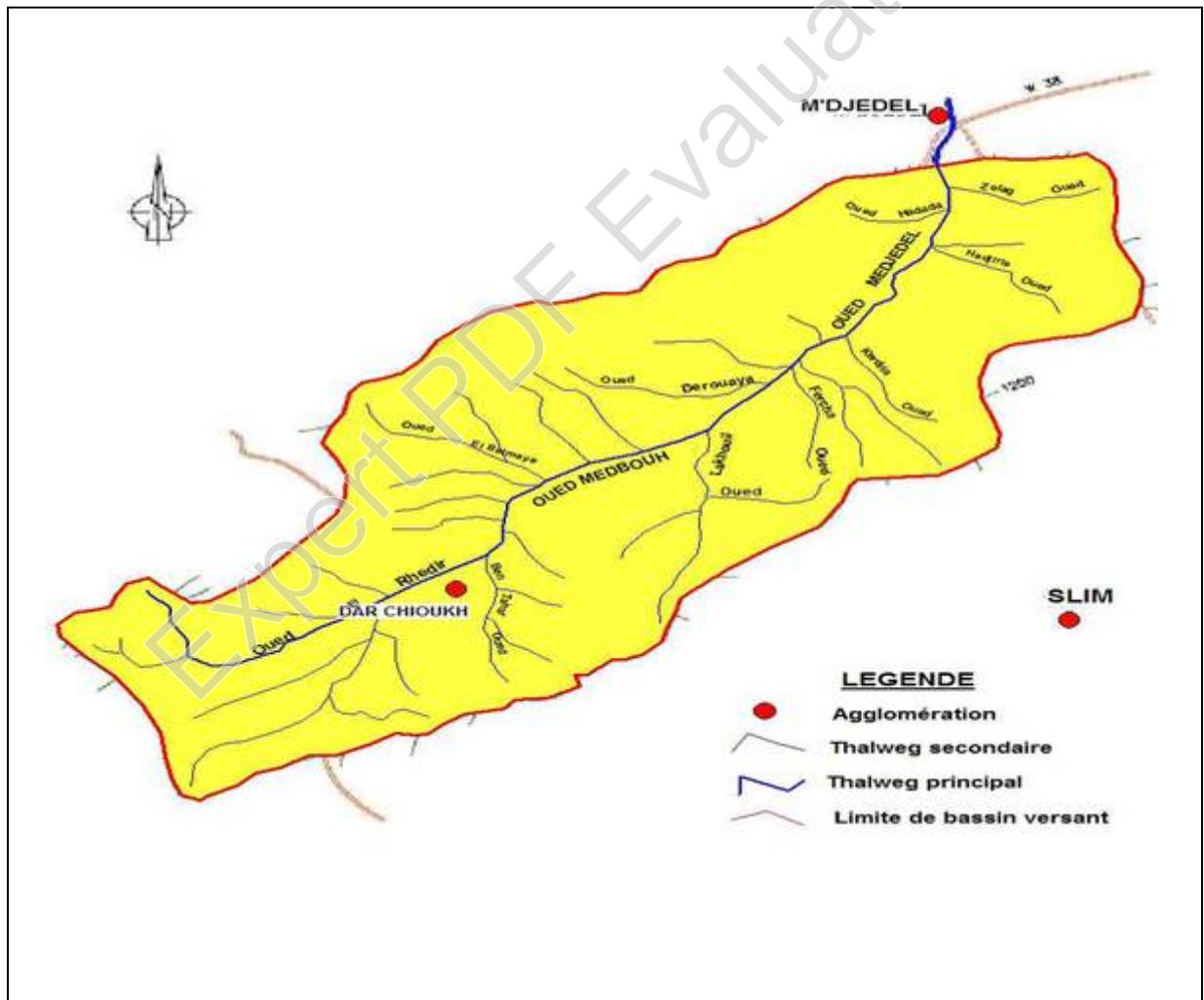
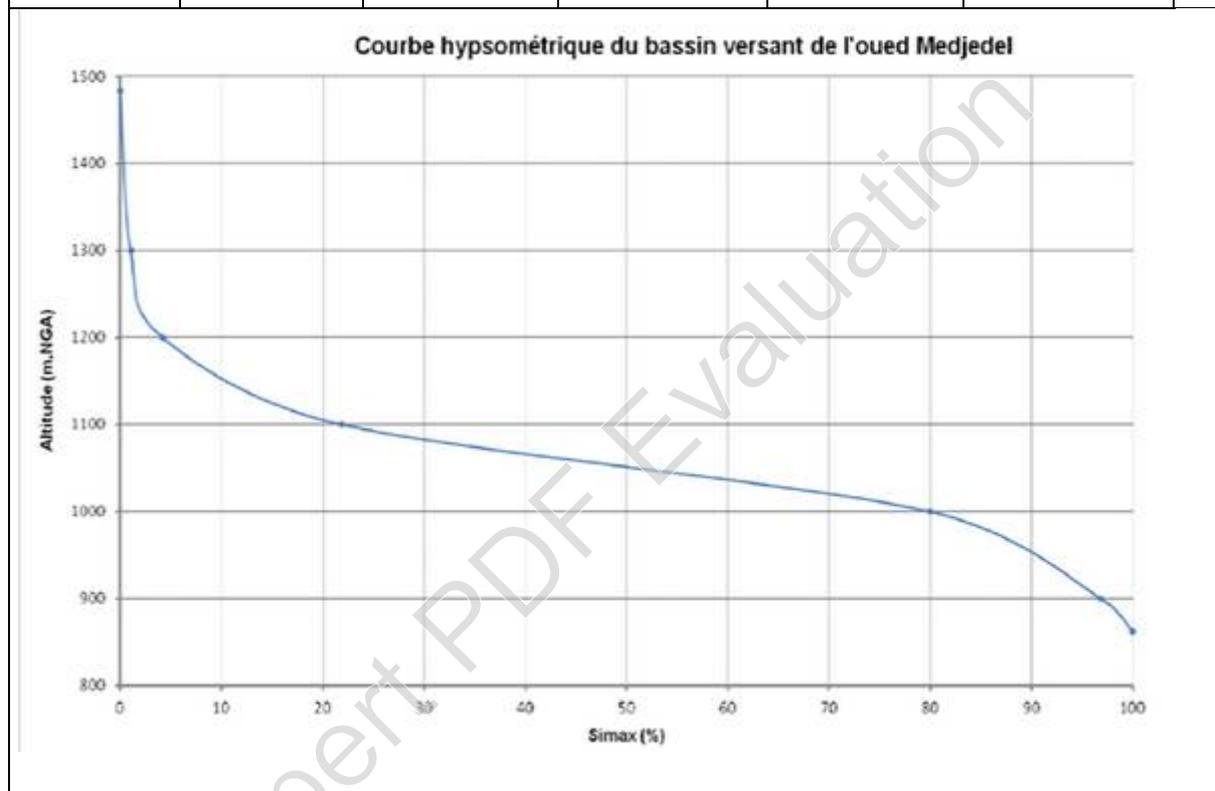


Tableau II.02 : Coordonnées de la courbe hypsométrique.

Altitude (H)	Altitude	Surfaces	Surfaces	Surfaces	Surfaces
	$H_i - H_{i-1}$	partielles (S)	Partielles (S)	cumulées	Cumulées
M	M	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
1484-1300	184	6.38	0.99	6.38	0.99
1300 – 1200	100	19.57	3.034	25.95	4.024
1200 – 1100	100	115.43	17.896	141.38	21.92
1100 – 1000	100	374.62	58.08	516	80
1000 – 900	100	108.68	16.85	624.68	96.85
900-862	42	20.32	3.15	645	100



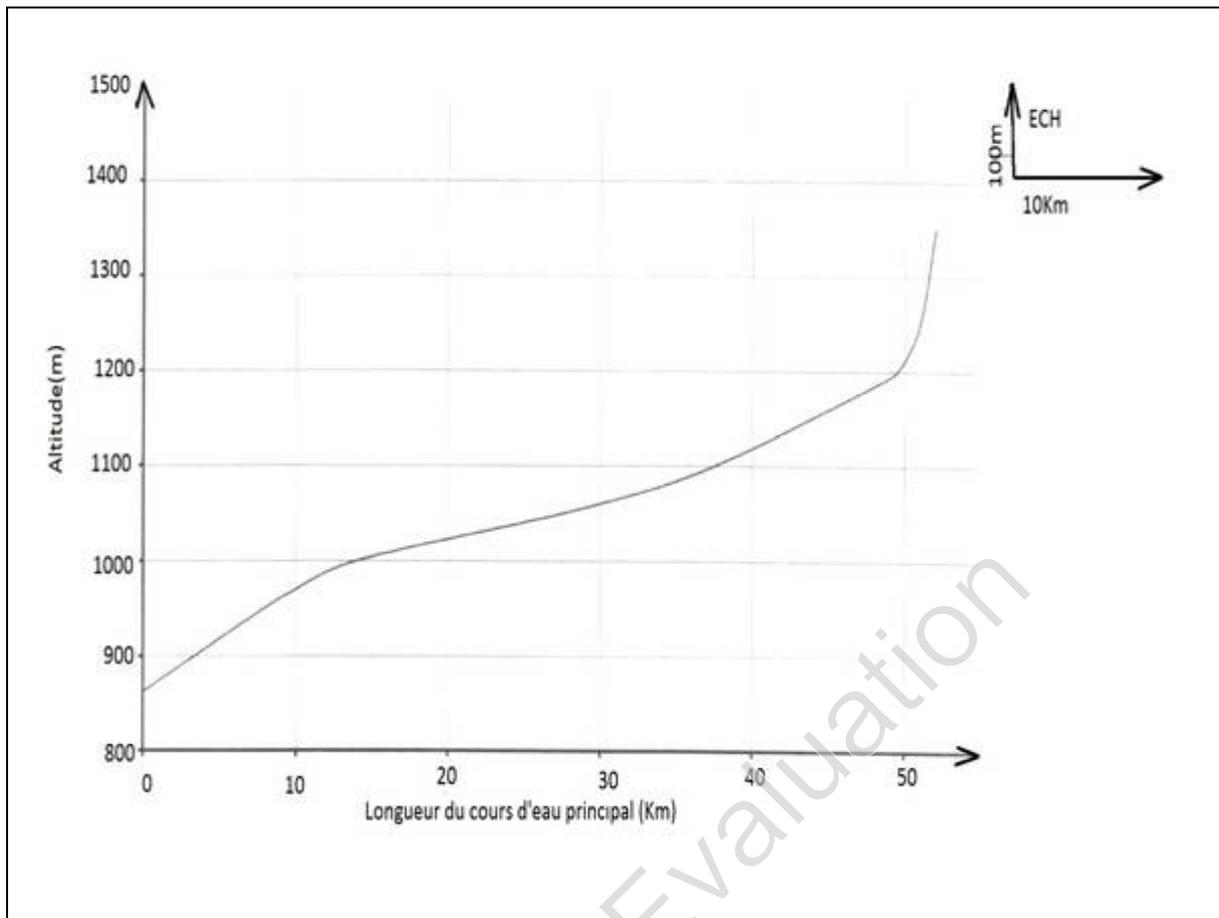


Figure II.04 : Profil en long du cours d'eau principal

### II.1.2.Climatologie:

L'objectif de l'étude climatologique est de fournir des données concernant le climat, données nécessaires pour la conception du barrage et de ses ouvrages annexes.

Compte tenu du manque de stations climatologiques dans la zone du projet, on a eu recours aux observations faites à la station climatologique de Djelfa située à l'Ouest de M'djedel et la station de M'Sila, chef-lieu de wilaya, qui se trouve au Nord Est de la zone d'étude.

Tableau II.03 : Les stations de référence.

Nom de la station	Latitude	Longitude	Altitude	Période
Djelfa	34.68 N	03.25 E	1144 m	1967-1986
M'Sila	35.68 N	04.50 E	441 m	1967-1986

- **Température :**

En Algérie, la présence du **Sirocco**, un vent chaud et sec qui vient de Sahara, est caractéristique. Les températures maximales ont pour origine de ce phénomène particulier, qui est accompagné par une humidité qui s'en trouve réduite.

Les valeurs des températures mensuelles maximales, moyennes et minimales observées à la station de **Djelfa** et **M'sila** sont indiquées dans le Tableau II.04 ; II.05

Tableau II.04 : Températures a la station de Djelfa (°C).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Max	27.4	20.3	14.1	11.1	10.4	11.7	14.7	17.6	22.0	29.3	33.6	32.2	20.4
Moy	20.1	14.1	8.6	5.2	4.4	6.0	8.2	11.8	16.4	22.1	25.6	24.9	14.0
Min	13.4	8.1	3.5	1.5	-0.2	1.6	2.4	5.4	9.0	14.5	17.6	17.0	7.8

Tableau II.05 : Températures a la station de M'sila (°C).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Max	32.0	24.1	18.4	14.3	14.0	15.3	18.9	22.3	26.8	34.2	37.8	36.6	24.6
Moy	24.7	18.2	12.1	8.3	7.8	9.5	12.4	16.0	21.1	27.0	30.2	29.4	18.0
Min	18.9	12.0	7.4	3.7	2.9	4.4	6.2	9.7	14.2	20.2	23.0	22.5	12.1

Les variations des températures mensuelles au cours de l'année au niveau des deux stations sont illustrées par les figures II.05 et II.06.

Figure II.05 : Variation mensuelle de températures – Station de Djelfa.

Figure II.06 : Variation mensuelle de températures – Station de M'sila.

Les données de températures dans la zone d'étude sont essentiellement fonction de l'altitude. Le poste de Djelfa est à la fois proche géographiquement et avec une altitude (1144m) voisine de celle du bassin versant de l'oued Mdjedel (1060m).

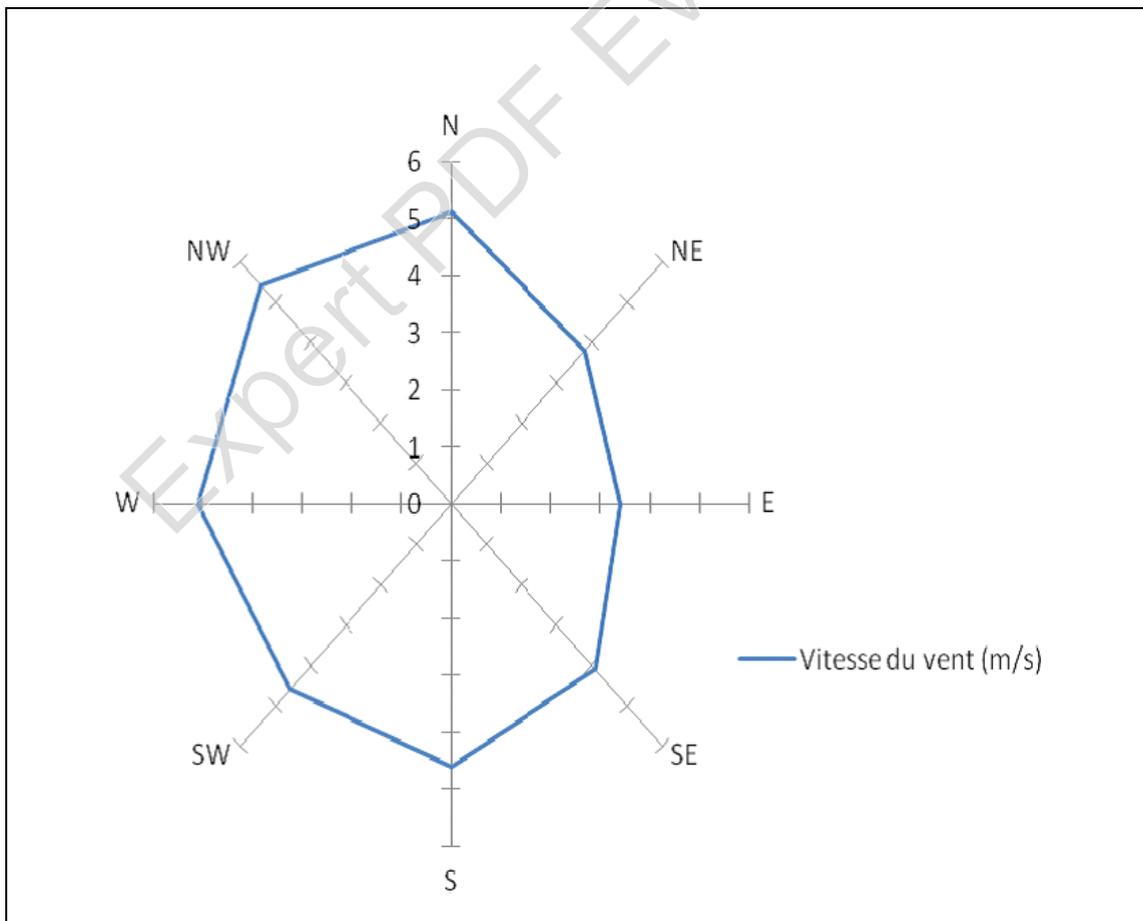
- **Vitesse du vent :**

Les valeurs de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station de **Bou Saada** pour la période **1991/2000**, ainsi que leur direction sont présentées dans le tableau II.06.

Tableau II.06: Vent moyen en (m/s) - Période 1970/1999.

Direction du vent	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calme
Pourcentage [%]	13.0	5.3	4.1	3.5	4.9	3.8	10.3	13.3	41.8
Vitesse moy [m/s]	5.1	3.8	3.4	4.1	4.6	4.6	5.1	5.4	

Figure II.07 : Vitesse des vents – Station de Bou Saada.



**c)Evaporation :**

L'évaporation est un paramètre important dans l'étude hydrologique, car il intervient dans le calcul des pertes par évaporation à partir du plan d'eau de la retenue du barrage.

Evaporation moyenne au niveau du plan d'eau du barrage M'djedel est de **1538 mm**

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total	
E (mm)	158	111	77	62	65	68	91	115	161	183	237	211	1538	
%	10.3	7.2	5	4	4.2	4.4	5.9	7.5	10.5	11.9	15.4	13.7	100	

Tableau II.07 : répartition mensuelle de l'évaporation.

Source : ONM

Figure II.08 : Répartition mensuelle de l'évaporation.

#### d) pluviométrie :

Les stations disponibles au voisinage du bassin et les plus proches du site sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.08 :Caractéristiques des stations pluviométriques disponibles.

Station	code	Coordonnées		Z (m,NGA)	Période d'observation	Nombre d'années disponibles
		X	Y			
		(Km)	(Km)			
Djelfa	17-02-08	551.000	153.000	1160	1878 - 1998	120
M'djedel	17-05-01	590.100	203.600	875	1973-1998	25
Dar chioukh	17-02-03	572.000	178.000	1100	1978-2005	27
slim	05-17-03	594.900	178.200	1070	1966-2005	39

la station de Dar Chioukh a d'ailleurs été prise comme station représentative de la pluviométrie sur le bassin versant de M'djedel.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P(mm)	19.3	18.4	18.7	23.4	25.6	15.5	18.3	22.3	24	18.2	2	5.4	<b>211.1</b>

Le choix de la station de Dar CHIoukh comme station representative des pluies du bassin versant ,a été basé sur le raisonnement suivant :

- Elle est relativement proche du site du barrage.
- Son altitude est semblable a l'altitude moyenne du bassin versant de l'oued de M'djedel.
- Elle représente une zone d'influence de 75% sur l'ensemble du bassin versant.

Tableau II.09: Répartition mensuelle de la pluie annuelle.

Figure II.09 : Répartition mensuelle des précipitations

## II.2. Etude des précipitations :

### II.2.1. Homogénéisation des données : [1]

Toute étude hydrologique nécessite la vérification des données utilisées. donc l'homogénéisation des données est une analyse statistique de l'information aidant a une prise de décision conséquente .

#### II.2.1.1. Test de la médiane ou test de Mood : [1]

Ce test permet de vérifier si une série de données est homogène.

La médiane **M** est une constante de telle sorte que 50% des  $x_i$  lui soient inférieures et 50 % des  $x_i$  lui soient supérieures.

Calculons les quantités  $N_s$  et  $T_s$

$N$  : Taille de notre série (42).

$$(N_s = 18) \gg \frac{1}{2}(42 + 1 - 1.96\sqrt{42 + 1}) = 14.64 \dots\dots\dots (II.1).$$

$$T_s = 5 \langle 3.3 [\log(42 + 1)] \rangle = 5.36 \dots\dots\dots (II.2).$$

*D'après (II.1) et (II.2) : les deux conditions sont vérifiées, donc notre série est homogène.*

**NOTE :** L'annexe II regroupe les séries pluviométriques journalières, mensuelles, et annuelles, ainsi que le test d'homogénéisation.

### II.2.2. Les précipitations maximales journalières : [1]

L'étude consiste à faire un ajustement pour la série de données des précipitations maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie et de période de retour.

Les caractéristiques empiriques de la série sont représentées dans le tableau ci-après.

Tableau II.10 : Caractéristiques empiriques de la série avec **N=42ans**.

Caractéristiques	Formules	Valeurs
La somme des $P_{\max j}$ en (mm)	$\sum_{i=1}^{N=42} X_i$	1143,3 mm

la moyenne des $P_{\max j}$ en (mm)	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N-42} X_i}{N}$ $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N-42} X_i}{N}$	27,2 mm
L'écart type « $\sigma_x$ » ; Pour $n > 30$ ans	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$ $C_v = \frac{\sigma}{\bar{X}}$ $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{42} (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$ $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{42} (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$	8,45 mm
Coefficient de variation « $C_v$ » :		0,31
Coefficient d'assymétrie « $C_s$ » :	$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{N-41} (X_i - \bar{X})^3}{(N-1)\sigma^3}$	0,514
L'exposant climatique :		$b=0,2$

L'exposant climatique pour notre région ( $b=0.2$ ) est donné par l'ARNH de Alger.

### II.2.2.1. Choix de la loi d'ajustement :

Il existe plusieurs méthodes d'ajustement des séries pluviométriques, l'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon.

Pour notre cas on utilise le logiciel **HYFRAN**.

Les lois d'ajustement choisies sont :

- 1)- la loi de Log Normale ou loi Galton .
- 2)- la loi de Gumbel.

#### II.2.2.1.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi Log Normal (Galton) :

La loi de Galton a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

Ou : l'équation de la droite de Galton est la suivante :

$$\text{Log } x(p \%) = \overline{\text{Log}x} + \sigma * \text{Log } u(p \%)$$

$$\text{Log}X = \frac{\sum_{i=1}^{42} \text{Log}Xi}{N} \dots\dots\dots (\text{II.4})$$

Les résultats de l'ajustement par la loi de Log- Normal « Galton » sont résumées dans le tableau II.11.

Galton (Méthode de vraisemblance corrigée)

Nombre d'observations : 42 ans

**Paramètres :**

$$\mu = 3,25$$

$$\sigma = 0,32$$

**Quantiles :** q = F(X) (probabilité au non dépassement)

$$T = 1 / (1-q).$$

Tableau II.11 : Ajustement à la loi de Galton.

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	P <sub>jmax</sub>	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	86.2	12.2	62.3-110
2000	0.9995	75.1	9.58	56.3-93.9
1000	0.999	70.4	8.52	53.7-87.1
200	0.995	59.6	6.23	47.4-71.8
100	0.99	55.0	5.33	44.5-65.4
50	0.98	50.4	4.46	41.6-59.1
20	0.95	44.1	3.40	37.5-50.8
10	0.9	39.2	2.65	34.0-44.4
5	0.8	34.0	1.98	30.1-37.9

• **Test d'adéquation du Khi carré :**

$$\chi^2 = 3.71 \text{ Résultats :}$$

et  $p\text{-valu } p = 0.59$

Degrés de liberté : 5 et Nombre de classe : 8

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %

- **Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon du Station de Dar-chioukh:**

Tableau II.12 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0,00	10.0
Maximum	Aucun	51.2
Moyenne	27.3	27.2
Ecart-type	9.06	8.45
Médiane	25.9	27.3
Coefficient de variation (Cv)	0.332	0.310
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.03	0.514

Le tracé de la droite de Galton est représenté sur papier normal comme le montrent la figure suivante :

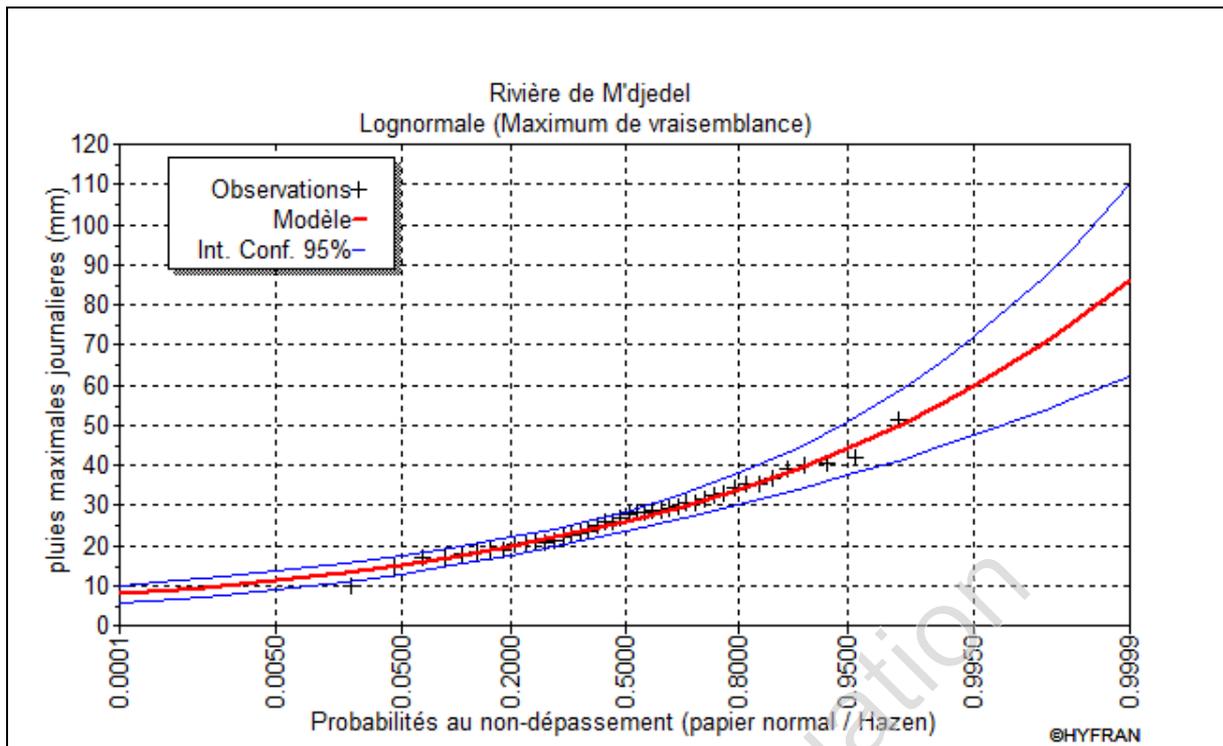


Figure II.10: Représentation graphique de l'ajustement à la loi de Galton

### II.2.2.1.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi de Gumbel:

Cette loi a une fonction de répartition qui s'exprime selon la formule suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-x_0}{\alpha}}} \dots \dots \dots (II.5).$$

Avec :  $y = \frac{x-x_0}{\alpha}$

y : variable réduite de Gumbel.

1/α : la pente de la droite de Gumbel.

x : précipitation maximale journalière (mm)

x<sub>0</sub> : paramètre de position (mode).

On peut écrire :  $y = - \ln (- \ln (F (x)))$ .

Avant de procéder à l'ajustement, il faut suivre les étapes suivantes :

- Classer les valeurs des précipitations par ordre croissant avec attribution d'un rang 1, 2,3.....n.

- calculer, pour chaque valeur de précipitation, la fréquence expérimentale par la formule de HAZEN.

$$F(x) = \frac{m - 0.5}{n} \dots\dots\dots (II.6).$$

Avec : m : rang de précipitation

n : nombre d'observations (42).

- calculer la variable réduite de Gumbel donnée par la formule suivante :  
 $y = - \ln (-\ln (F(x)))$
- calculer les paramètres d'ajustement «  $\alpha$  » et «  $x_0$  »
- représenter graphiquement les couples  $(x_i, y_i)$  sur papier Gumbel.

La droite de Gumbel est donnée par la formule :

$$x = \frac{1}{\alpha} y + x_0 \dots\dots\dots (II.7).$$

Avec :  $(1 / \alpha)$  : la pente de la droite de Gumbel

Les résultats de l'ajustement par la loi de « Gumbel » sont résumés dans le tableau suivant :

Gumbel (Méthode de moments)

Nombre d'observations: 42

**Paramètres :**

$$U = 23.18$$

$$\alpha = 7.45$$

**Quantiles :**

$$q = F(X) \text{ (probabilité au non-dépassement)}$$

$$T = 1 / (1-q)$$

Tableau II.13 : Ajustement à la loi de Gumbel.

Période de retour (ans)	Probabilité (q)	$P_{jmax}$	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	84.1	9.97	64.5-104
2000	0.9995	73.5	8.27	57.3-89.7
1000	0.9990	68.9	7.53	54.1-83.7
200	0.9950	58.3	5.84	46.8-69.7
100	0.9900	53.7	5.11	43.7-63.7
50	0.9800	49.1	4.39	40.5-57.7
20	0.9500	43.0	3.44	36.2-49.7
10	0.9000	38.2	2.72	32.9-43.6
5	0.8000	33.3	2.01	29.3-37.2

- **Test d'adéquation du Khi carré :**

Résultats :  $\chi^2 = 3.71$  et p-value  $p = 0.5912$

Degré de liberté : 5 et Nombre de classe : 8

Nous pouvons accepter  $H_0$  au niveau de signification de 5 %

- **Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon Station de Dar-CHIoukh:**

Tableau II.14 : Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon.

Paramètres	Caractéristiques de la Loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	Aucun	10.0
Maximum	Aucun	51.2
Moyenne	27.2	27.2
Ecart-type	9.56	8.45
Mode ( $x_0$ )	23.42	-
Gradex ( $\alpha$ )	6.5857	-
Médiane	25.8	27.3
Coefficient de variation (Cv)	0.310	0,310
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	0.514

Le tracé de la droite de Gumbel est représenté sur papier normal comme le montre la figure suivante :

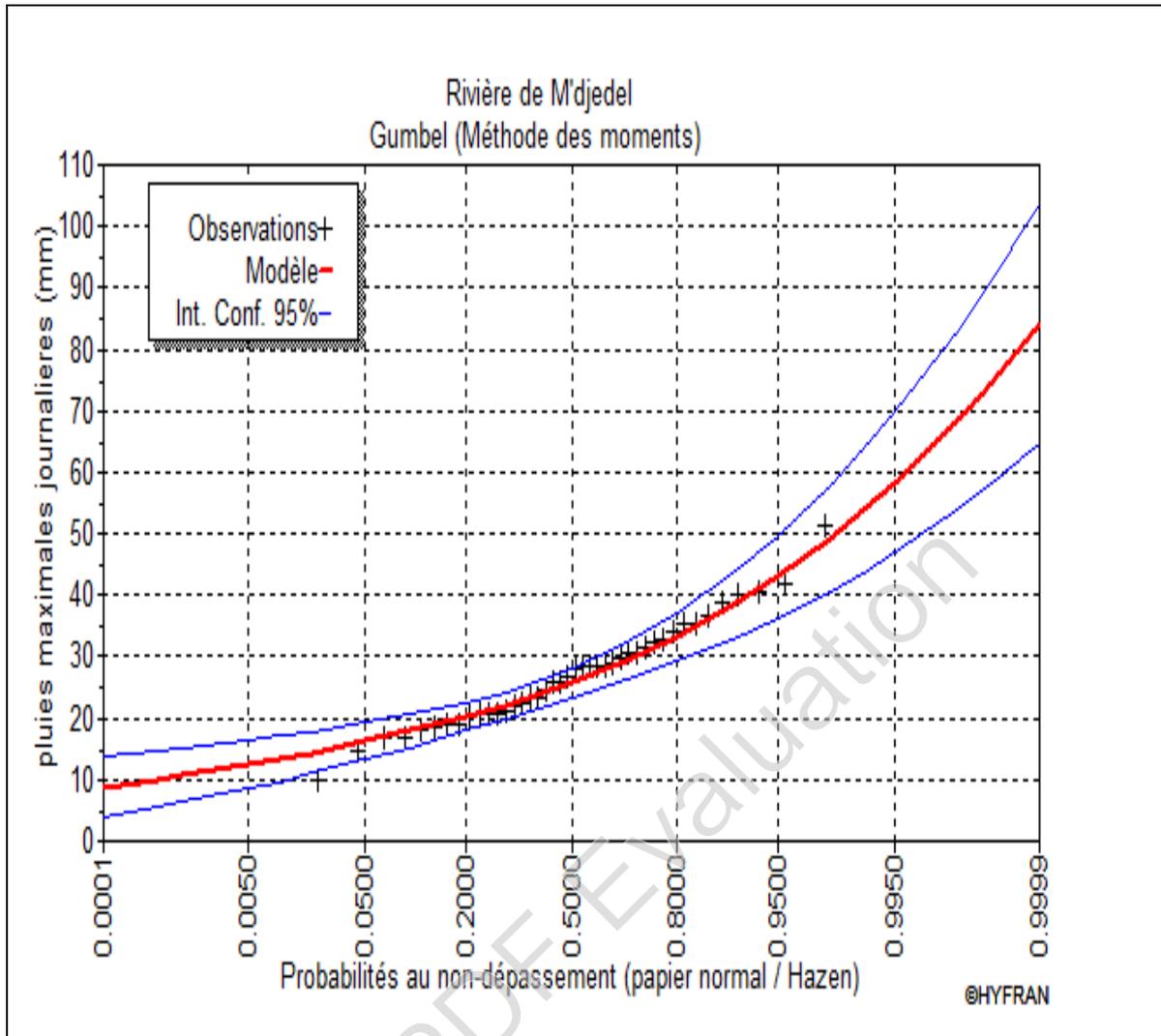


Figure II.11 : représentation graphique de l'ajustement à la loi de Gumbel.

### Conclusion :

D'après les schémas ; on trouve que la série des pluies maximales journalières suit la loi log normale « GALTON » et celle de « GUMBEL » les résultats de GUMBEL sont à considérer pour la suite de notre travail.

### II.2.3. La pluie de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités : [1]

On peut estimer les pluies de courtes durées par la formule de Montanari

$$P_{\max,t,p\%} = P_{\max,j,p\%} \left(\frac{t}{24}\right)^b \dots\dots\dots (II.8).$$

$P_{\max,t,p\%}$  : Pluie de courte durée de même fréquence que  $P_{\max,j,p\%}$  (mm).j

$P_{\max,j,p\%}$  : Pluie maximale journalière pour une fréquence donnée (mm).

t : Temps [heure].

b : Exposant climatique, pour notre région b = 0,2.

L'intensité :  $I_0 = P_{\max,t,p\%} / t \dots\dots\dots (II.9).$

**NOTE :** les résultats de calculs des pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités sont donnés en ANNEXE II.

Figure II.13 : Pluies de Courtes durées

Figure II.14 : Intensité –Durée –Fréquence

**II.3. Etude des apports :**

**II.3.1. L'apport moyen interannuel ( $A_0$ ) : [1]**

L'absence de station hydrométrique sur le bassin même ou sur un bassin voisin similaire va constituer un handicap certain pour le calcul des apports au barrage. Pour pallier ce défaut de données hydrométriques, même sur une courte période d'observation, il a été choisi de faire appel à des méthodes empiriques.

**a). Formule de SAMIE:**

$$A = L_e \cdot S \dots\dots\dots (II-10)$$

$$L_e = P^2 (293 - 2.2\sqrt{S}) \dots\dots\dots (II-11)$$

Ou:

$L_e$  : lame d'eau écoulée (mm).

$P$  : précipitation moyenne (m).

$S$ : la superficie en  $Km^2$  du bassin versant.

**b). Formule de DERYE II:**

$$A = 0.513 \cdot P^{2.683} \cdot Dd \cdot S^{0.842} \dots\dots\dots (II-12)$$

Ou:

$A$ : apport moyen interannuel (en hm<sup>3</sup>).

$P$  : précipitation moyenne (m).

$S$ : superficie (en Km<sup>2</sup>)

**c). Formule de l'ANRH:**

L'apport moyen interannuel est donnée par:

$$A_0 = 0.915 \cdot \bar{P}^{2.684} \cdot S^{0.842} \dots\dots\dots (II-13)$$

Ou :

$P$  : précipitation moyenne (m).

$S$ : superficie (en Km<sup>2</sup>).

**d). Formule de MEDINGER:**

$$L_e = 1.024(P - 0.26)^2 \dots\dots\dots (II-14)$$

$P$  : précipitation moyenne (m).

$L_e$ : lame d'eau écoulée (mm).

$$A = L_e \cdot S$$

**e). Formule de CHAUMONT:**

Cette relation donne le coefficient de ruissellement par la relation suivante:

$$C_e = 0.6(1 - 10^{-0.36P^2}) \dots\dots\dots (II-15)$$

$P$  : précipitation moyenne (m).

La lame d'eau écoulée est donnée par la relation :

$$L_e = P \cdot C_e$$

$$A = L_e \cdot S$$

**f). Formule de COUTAGNE:**

Elle donne le déficit décaoulent  $D$  tel que:

$$D = P - \lambda P^2 \dots\dots\dots (II-16)$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T_0}$$

$T_0$ : température moyenne dans la zone d'étude.  $T_0 = 14^\circ\text{c}$

La lame d'eau écaoulée est alors:

$$L_e = P - D$$

$$A = L_e \cdot S$$

Les résultats sont portés sur le tableau suivant :

Formules empiriques	SAMIE	DERIE II	ANRH	MEDINGER	CHAUMONT	COUTAGNE
Apports moyens A(Hm3)	6.81	5.87	3.26	1.58	2.96	10.38

Nous constatons bien que la formule de **SAMIE** permet d'estimer la lame d'eau ruisselée moyenne avec une marge d'erreur très faible. Donc on adopte à la valeur trouvée par la formule de **SAMIE**.

$$A_0 = 6.81 \text{ Hm}^3$$

**II.3.2 Répartition mensuelle de l'apport moyen:**

La distribution des apports mensuels en pourcentage de l'apport interannuelle a été établi sur la base de la répartition mensuelle de la pluviométrie en question étant génératrice des apports de l'oued. Cette technique d'adoption de la répartition mensuelle de la pluie a été considérée en raison de l'absence d'informations hydrométriques au niveau de l'oued concerné.

Le calcul se fait par la formule suivante:

$$Q_m = P_m \cdot C_e \cdot S \dots\dots\dots (II-17)$$

$C_e$ : coefficient d'écoulement.

$P_m$ : pluie mensuelle.

$L_e$ : lame écaoulée.

$P$ : pluie moyenne annuelle.

$S$ : surface du bassin versant ( $\text{Km}^2$ ).

$Q_m$ : apport liquide mensuel ( $\text{hm}^3$ ).

Tableau II.15 : Répartition mensuelle de l'apport moyen.

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout
Pmens(mm)	19.3	18.4	18.7	23.4	25.6	15.5	18.3	22.3	24	18.2	2	5.4
A(Hm3)	0.63	0.59	0.6	0.75	0.82	0.5	0.59	0.71	0.77	0.58	0.09	0.18

Figure II.15 : Répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel.

### II.3.3. Les apports fréquentiels :

Donc la distribution des apports fréquentiels sera régie par l'équation:

$$A_{(p\%)} = \frac{A}{(C_v^2 + 1)^{1/2}} \cdot e^{U(\log(C_v + 1))^{1/2}} \dots \dots \dots (II-18)$$

$A_{(p\%)}$ : apport de fréquence donnée.

$U$ : variable réduite de Gauss qui est estimée par la formule de **Sokolovski** et qui a donné  $C_v=0.74$

Les calculs des apports fréquentiels a conduit au tableau suivant:

période de retour	fréquence(%)	variable de Gauss	Apport A(Hm3)
1.25	80	-0.8428	<b>4.34</b>
10	90	1.285	8.17
25	96	1.753	8.85
50	98	2.0571	9.62
100	99	2.328	10.37
1000	99.9	3.1	12.82

Tableau II.16 : Apports fréquentiels.

On constate que l'apport moyen de fréquence 80% est de :  $A_{80\%}=4.34\text{Hm}^3$

#### II.3.3.1. Répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%:

Suit la même répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel. Voir le tableau et la figure ci-après :

Tableau II.17 : répartition mensuelle des apports moyens annuels de fréquence 80%

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
A80%(Hm3)	0.4	0.38	0.39	0.49	0.52	0.37	0.37	0.45	0.49	0.32	0.06	0.114

Figure II.16 : Représentation mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%.

### II.3.4. Apport solide et Estimation de volume mort : [3]

L'étude du débit solide occupe une place très importante et très vaste dans le domaine de l'hydrologie de surface et de régularisation des débit. La matière première du débit solide est principalement l'érosion continentale.

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

#### II.3.4.1. Estimation de l'apport solide : [3]

- **Formule de Tixeront :**

Elle tient compte de la répartition du bassin Versant en fonction de sa perméabilité et s'écrit :

$$T_s = \alpha \cdot L_0^{0.15} \dots\dots\dots (II.19).$$

Avec :  $T_s$  : le transport solide (t/Km<sup>2</sup>/an).

$L_0$  : la lame écoulée (mm).

$\alpha$  : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant. Dans notre cas :  $\alpha = 350$ . (Faible perméabilité)

**A.N :**  $T_s = 350 \cdot 10.56^{0.15} = 498.43 (t / km^2 / an)$   **$T_s = 498.43 \text{ t/km}^2/\text{ans}$**

- **b) Formule de Grivilovitch :**

Cette relation largement utilisée en Algérie, elle fait intervenir des caractéristiques physiques et un indice climatique du bassin versant.

$$T_0 = T_{sp} \cdot G_{rm} \dots\dots\dots (II.20).$$

Avec :  $T_{sp} = T \cdot P_{moy} \cdot \pi \cdot \sqrt{Z^3} \dots\dots\dots (II.21).$

$$T = \sqrt{\frac{t}{10}} + 1 \dots\dots\dots (II.22).$$

$$G_{rm} = \frac{(\sqrt{P} + H_{moy})}{0.2(L + 10)} \dots\dots\dots (II.23).$$

- $T_0$  : taux d'abrasion (t/Km<sup>2</sup>/an).
- $T_{sp}$  : le taux de la production annuel des matériaux en (m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an).
- $G_{rm}$  : taux de rétention des sédiments produits par le bassin.
- $T$  : coefficient thermique.
- $Z$  : coefficient d'érosion relative en fonction de la description du bassin versant (z=0.3).
- $P_{moy}$  : Pluie moyenne annuelle (mm).
- $t$  : température moyenne annuelle (°C). t=14°C
- $P$  : périmètre du bassin versant (Km). P=135 km.
- $L$  : longueur du talweg principal (Km). L=52 km.
- $H_{moy}$  : Altitude moyenne (km).  $H_{moy}$ =1.055 km.

**A.N :**

$$T = \sqrt{\frac{14}{10}} + 1 = 2.18$$

$$T_{sp} = 2.18 \cdot 211.1 \cdot \pi \cdot \sqrt{0.3^3} = 237.44 m^3 / km^2 .an$$

$$G_{rm} = \frac{\sqrt{135} + 1.055}{0.2(52 + 10)} = 1.022 (t / m^3)$$

$$T_0 = 237.44 \cdot 1.022 = 242.66 t / km^2 .an$$

$$T_0 = 242.66 t / km^2 .an$$

### II.3.4.2. Calcul du volume mort :

Le volume mort est un volume constant qui ne participe pas à la régularisation des débits. Il est destiné à être occupé pour les apports solides. Il existe plusieurs formules pour le calcul de ce dernier.

- **Formule de Tixeront : [3]**

Le volume mort est donné par la formule suivante :

$$V_m = (1.05 \div 1.10) \frac{Q_s \cdot T}{\gamma_s} \dots\dots\dots (II.24).$$

Avec :  $Q_s = T_s \cdot S \dots\dots\dots (II.25).$

**A.N :**

$$Q_s = 498.43.645 = 321487.35 (t / an)$$

$$V_m = (1.1) \frac{321487.35.50}{1.4} = 12.63 * 10^6 m^3$$

$$V_m = 12.63 \text{Hm}^3$$

• **Formule de Grivilovitch : [3]**

Le volume mort est donné par la relation ci-après :

$$V_m = \frac{T_0.T.S}{\gamma_s} \dots\dots\dots (II.26).$$

Avec :  $T_0$  : taux d'abrasion (t/Km<sup>2</sup>/an).

A.N :  $V_m = \frac{242,66.645.50}{1,4} = 5,6.10^6 m^3$

$$V_m = 5,6 \text{Hm}^3$$

Tableau II.18 : récapitulatif des résultats du volume mort

Formule	Volume mort(Hm <sup>3</sup> )
Méthode liée à l'érosion spécifique	0.347
Tixeront	12.63
Grivilovitch	5.6

La méthode de **Grivilovitch** est très largement utilisée en Algérie et elle donne de bon résultat et qui est proche de la moyenne donc on peut accepter le volume obtenu par cette formule.

$$V_m = 5.6 \text{Hm}^3$$

**II.4. Etude des crues : [1]**

Le but du calcul hydrologique des crues de projet et de chantier est de quantifier un risque : on désire protéger l'ouvrage à réaliser contre un débit de crue Q tout en sachant que le risque d'une crue supérieure n'est pas nul.

La détermination des crues permettra le dimensionnement des ouvrages principaux, soit :

- Les dimensions de l'évacuateur de crue en fonction de la cote des plus hautes eaux et du débit maximal à évacuer,
- Les dimensions des ouvrages de dérivation
- La cote de la crête du batardeau

Devant cette absence de données observées fiables, le calcul des débits de projet, a été réalisé selon les formules empiriques valables pour l'Algérie.

**II.4.1. Déterminations des crues : [1]**

Des formulations empiriques ont été utilisées pour la prédétermination des débits de crues maximales.

**a). Formule de Giandotti:**

Cette formule est intéressante, car elle tient compte de plusieurs paramètres du milieu tels que la surface S, la longueur du thalweg principal H moy, H min et un paramètre climatique à savoir la pluie de courte durée (PTc) pour t=Tc.

$$Q_{\max \%} = \frac{130 \cdot S \cdot (H_{\text{moy}} - H_{\text{min}})^{1/2}}{4(S)^{1/2} + 1.5L} \cdot P_{tc} \dots\dots\dots (II-27)$$

C : coefficient variable entre 100 et 166, pris égal à 130

Avec :

$$P_t = P_{j\max} \cdot (t / 24)^b$$

Pjmax : Pluie journalière maximale annuelle de fréquence donnée, mm

Pt : pluie de courte durée de même fréquence exprimée en mm, pour t=Tc (heures)

b : exposant climatique pris égal à 0.2

T = Tc : temps de concentration, heure

Tableau II.19 : Débits maxima selon formule Giandotti

période de retour	Tc(h)	Ptc(m)	c	Lp(km)	S(km)	Qmax p% (m3/s)
10000	16	0.077	130	52	645	505.91541
1000	16	0.063	130	52	645	413.93079
100	16	0.049	130	52	645	321.94617
50	16	0.045	130	52	645	295.66485
20	16	0.039	130	52	645	256.24287
10	16	0.035	130	52	645	229.96155

**b) Formule de Mallet Gauthier :**

$$Q_{\max \%} = 2k \text{Log}(1 + AP) \cdot \frac{S}{\sqrt{L_p}} \cdot \sqrt{1 + 4 \text{Log}T - \text{Log}S} \dots\dots\dots (II-28)$$

S: superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

Lp: longueur du talweg principal (Km).

A: coefficient régional pris égal à 20.

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

T: période de retour en années.

Tableau II.20 : Débits maxima selon formule Mallet Gauthier.

Période de retour	K	A	Pan(m)	Lp(km)	S(km <sup>2</sup> )	T(ans)	Qmax p% (m <sup>3</sup> /s)
10000	2	20	0.2111	52	645	10000	967.809596
1000	2	20	0.2111	52	645	1000	820.249242
100	2	20	0.2111	52	645	100	639.501543
50	2	20	0.2111	52	645	50	574.052684
20	2	20	0.2111	52	645	20	473.857961
10	2	20	0.2111	52	645	10	380.940451

**c) Formule de SOKOLOVSKY :**

On a :

$$Q_{\max p\%} = \frac{0.28 * (Pct - H_0) * \alpha p\% * F * \bar{S}}{T_m} \dots\dots\dots (II.29)$$

H<sub>0</sub> : pertes initiales en mm. H<sub>0</sub> = 7mm

αp% : coefficient de ruissellement de la crue probable pour une période donnée ;

$$\alpha p\% = \frac{\sqrt{Pct\%} - \sqrt{H_0}}{\sqrt{Pct\%} + \sqrt{H_0}}$$

F : Coefficient de forme de la crue : F = 1.2

S : Superficie du bassin (Km<sup>2</sup>).

T<sub>m</sub> = T<sub>c</sub> = 16 h.

Tableau II.21 : Débits maxima selon formule de SOKOLOVSKY.

periode de retour	αp%	S(km <sup>2</sup> )	Ptc(mm)	Tc(h)	f	Qmax p% (m <sup>3</sup> /s)
10000	0.54	645	77.55	16	1.2	955.247
1000	0.5	645	63.53	16	1.2	765.4162
100	0.45	645	49.52	16	1.2	575.7208
50	0.44	645	45.28	16	1.2	518.3112
20	0.41	645	39.65	16	1.2	442.081
10	0.38	645	35.22	16	1.2	382.0988

TableauII.22 : Récapitulatif des résultats de débit de crue.

Méthodes utilisées	Période de retour (ans)					
	10000	1000	100	50	20	10
	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
<b>Giandotti</b>	505.91	413.93	321.95	295.66	256.24	229.96
<b>Mallet Gauthier</b>	967.81	820.25	639.51	574.05	473.86	380.94
<b>Sokolovsky</b>	955.25	765.42	575.72	518.31	442.08	382.1

#### Conclusion :

La formule la plus intéressante est celle de *MALLET- GAUTHIER*, dont le débit a été calculé en fonction de la période considérée, et la pluie moyenne annuelle, ainsi les caractéristiques générale du bassin versant.

TableauII.23 : Débits fréquentiels calculés.

Période de retour (ans)	10000	1000	100	50	20	10
<b>Qmax(m3/s)</b>	967.81	820.25	639.51	574.05	473.86	380.94

#### II.4.2. Hydrogramme de crue : [1]

L'hydrogramme de crue est une identité de la crue, il nous donne les caractéristiques principales de la crues tel que:

- Le volume de la crue.
- La durée de la crue.
- Le débit maximum de la crue (débit de pointe).

Pour le tracer de l'hydrogramme de crue, on va suivre la méthode de Sokolovski.

### II.4.2.1. Détermination des Hydrogramme de crues probables par la méthode de Sokolovski : [1]

- Pour la montée:

$$Q_m = Q_{\max, p\%} \left( \frac{t}{t_m} \right)^n \dots\dots\dots (II.30).$$

- Pour la décrue :

$$Q_d = Q_{\max, p\%} \left( \frac{t_d - t}{t_d} \right)^m \dots\dots\dots (II.31).$$

n , m : Puissance des courbes ;

n= 2 pour la montée de la crue.

m= 3 pour la décrue.

Pour les crues d'averses, c'est à dire les crues engendrées par la pluie, cette méthode prend :

- $t_m = t_c$ , avec  $t_c$  est le temps de concentration du bassin versant (heures).
- $t_d = \delta t_m$  ;

Ou  $\delta$  : coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue. ( $\delta = 2.5$ )

Donc :  $t_m = 16$  heures et  $t_d = 2.5 * 16 = 40$  heures

**NOTE :** le calcul des débits fréquentiels pour la construction de l'hydrogramme de crue a donné en tableau dans l'ANNEXE II.

Figure II.17 :L'Hydrogrammes des crues probables en fonction de temps (SOKOLOVSKY)

### II.4.3. Estimation de la crue de projet : [4]

La crue de projet est la crue de plus faible fréquence entrant dans la retenue, autrement dit c'est la crue maximale que l'ouvrage doit être capable d'évacuer pour une probabilité donnée. Elle est prise en compte pour déterminer le niveau des plus hautes eaux. Donc la

hauteur du barrage, et pour le dimensionnement de l'évacuateur de crues, On intégrant les possibilités du laminage.

Le choix de la période de retour dépend du risque induit par la rupture du barrage. Cependant le risque global est lié aussi à la vulnérabilité de la vallée en aval (occupation de la zone susceptible d'être inondée en cas de rupture). Lorsque le barrage intéresse la sécurité publique la période de retour ne devra en aucun cas être inférieure à **1000 ans**.

Autrement dit, il s'agit de chercher un compromis optimum entre l'aspect économique de la construction et les risques en cours à l'aval.

Pour la détermination de la crue de projet on doit tenir compte des caractéristiques géologiques et hydrologiques du bassin versant (précipitations, superficie, perméabilité, ...).

On doit calculer l'indice global "Ig" qui est lié à tous ces paramètres tel que :

$$I_g = I_a \cdot I_d \cdot I_r$$

Pour notre cas, on peut considérer que les difficultés géologiques et géotechniques sont faibles, les connaissances hydrologiques paraissent moyennes et que le risque en aval n'est pas élevé (volume d'emmagasinement relativement faible), donc on accepte un risque moyen ( $I_g = 2$ ) et on opte pour la crue millénaire : D'où :  $Q = Q_{\max, 0.1\%} = 820.25 \text{ m}^3/\text{s}$

Figure II.18 : L'Hydrogramme de la crue de projet pour une période de retour **1000 ans**.

## II.5. Régularisation : [5]

La régularisation a pour objectif la détermination de la capacité optimum de la retenue ainsi que le niveau correspondant qui permettent de rendre réguliers les débits de l'oued M'djedel afin de satisfaire les besoins d'irrigation avec le moindre risque de défaillance possible.

### II.5.1. Courbes « Hauteurs-Capacité-Surface » : [5]

Les surfaces et les hauteurs sont déterminées à l'aide de la carte topographique qui représente la vue en plan du site et de la cuvette.

Les volumes sont calculés à partir de la formule suivante :

$$V_n = V_{n-1} + \Delta V_n = V_{n-1} + \left( \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \right) \Delta H \dots\dots\dots (II.32).$$

Avec :  $V_1 = \frac{2}{3} S_1 * H_1$

Tableau II.24 : Surfaces submergées et les volumes d'eau.

Altitude(m)	Surface	$S_{\text{moy}}$	$\Delta H$ (m)		V
-------------	---------	------------------	----------------	--	---

	(km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> )		$\Delta V(Mm^3)$	(Mm <sup>3</sup> )
868.5	0	0.00088	1.5	0.00132	0
870	0.00176	0.021	5	0.105	0.00088
875	0.04	0.086	5	0.43	0.082
880	0.133	0.21	5	1.05	0.49
885	0.29	0.39	5	1.95	1.51
890	0.5	0.71	5	3.55	3.46
895	0.92	1.225	5	6.125	6.1
900	1.53	1.935	5	9.67	12.02
905	2.35				21.43

La représentation graphique des courbes topographiques et volumétriques est dans les Figures suivantes.

Figure II.19 : Courbes « Hauteurs-Capacité-Surface.

### II.5.2. Calcul du volume utile : [5]

La consommation dépasse l'apport, alors on fait une régularisation interannuelle. il existe plusieurs méthodes de calcul du volume utile.

#### II.5.2.1. Calcul du volume utile interannuel par la méthode Kristly-Menkel : [5]

Cette méthode basée sur les caractéristiques de l'échantillon. Elle consiste à déterminer le déficit pendant des années sèches. Donc il faut disposer d'une série des débits moyens annuels exprimés en coefficient de débit  $K_i = Q_i/Q_0$  et un coefficient de régularisation.

$$\text{On a : } \mathbf{V_{u_{int}} = (s +_{plur}) W_0 = V_s + V_{int}} \dots\dots\dots (\text{II.33}).$$

Avec :  $W_0$  : apport moyen interannuel.

$s$  : composante saisonnière du volume utile.

$_{plur}$  : composante pluriannuelle du volume utile.

- La composante saisonnière  $s$  est égale : [5]

$$s = \alpha (T_{ét} - W_{ét}) \dots\dots\dots (\text{II.34}).$$

$$T_{ét} = \frac{N_{ét}}{12} \dots\dots\dots (\text{II.35}).$$

Avec :  $\alpha$  : coefficient de régularisation.

$T_{ét}$  : période relative de l'étiage au cours de l'année.

$N_{ét}$  : nombre de mois où  $Q_i$  est inférieur à  $Q_0$ .

$$W_{ét} = \frac{\sum_1^{N_{ét}} W_m}{\sum_1^{12} W_{pm}} \dots\dots\dots (\text{II.36}).$$

Avec :  $W_{ét}$  : volume relatif de l'écoulement pendant l'étiage au cours de l'année.

$\sum_1^{N_M} W_m$  : Apport pendant la période d'étiage.

$\sum_1^{12} W_{pm}$  : Apport total pendant les 12 mois de l'année.

• **La composante pluri-annuelle est égale : [5]**

$$p_{\text{plur}} = \max(D) = \max\left[\left(-K_{p\%}^{(n)}\right).n\right] \dots\dots\dots (II.37).$$

Avec :  $\alpha$  : coefficient de régularisation.

$K_{p\%}^{(n)}$  : Coefficient de l'hydraulicité pour l'année (n) et  $K_{p\%}^{(n)} = F_{p\%} C_v^{(n)} + 1$

Avec :  $C_v$  : Coefficient de variation

$F_{p\%}$ : la probabilité en fonction de  $P_{\%}$  et  $C_s$  et  $C_v^{(n)} = \frac{C_v}{\sqrt{n}}$  ;  $C_s^{(n)} = \frac{C_s}{\sqrt{n}}$

Donc :  $p_{\text{plur}} = \max\left[\left(-K_{p\%}^{(n)}\right).n\right]$ .

**A.N :**

• **Pour la composante saisonnière :**

Sachant que  $W_{\text{moy}} = 0.36 \text{ Mm}^3/\text{mois}$ .

Donc : la période d'étiage est à partir de juin jusqu'au mois aout.

Alors :  $N_{\text{ét}} = 3$  d'où :  $T_{\text{ét}} = \frac{3}{12} = 0.25$   **$T_{\text{ét}} = 0.25$**

$W_{\text{ét}} = \frac{0.491}{4.34} = 0.113$   **$W_{\text{ét}} = 0.113$**

Pour un coefficient de régularisation  $\alpha = 0.9$  on aura :

$\beta_s = 0.9(0.25 - 0.113) = 0.123$   **$\beta_s = 0.123$**

$V_s = 0,123.4,34 = 0,54 \text{ Mm}^3$   **$V_s = 0.54 \text{ M m}^3$**

• **Pour la composante pluri-annuelle :**

D'après le tableau de calcul dans l'ANNEXE II .on trouve :  **$p_{\text{plur}} = 2.00$**

$$V_{\text{plur}} = \text{plur} \cdot W_0 = 2.00 \cdot 4.34 = 8.68 \text{ Mm}^3 \qquad V_{\text{plur}} = \mathbf{8.68 \text{ Mm}^3}$$

$$\text{Donc : } V_{\text{u}_{\text{int}}} = 0.54 + 8.68 = 9.22 \text{ Mm}^3 \qquad V_{\text{u}_{\text{int}}} = \mathbf{9.22 \text{ Mm}^3}$$

$$V_{\text{NNR}} = V_{\text{m}} + V_{\text{u}_{\text{int}}} = 5.6 + 9.22 = 14.82 \text{ Mm}^3 \qquad V_{\text{NNR}} = \mathbf{14.82 \text{ Mm}^3}$$

**NNR=901 m NGA.**

## II.6. Laminage des crues : [2]

L'étude de laminage consiste soit à déterminer la cote maximale atteinte par le plan d'eau pendant la crue, les dimensions du déversoir (longueur déversant) étant fixées à priori, soit à déterminer les dimensions de l'évacuateur de crue, la hauteur maximale du plan d'eau au-dessus de l'évacuateur de crue étant fixée à priori.

$$\mathbf{Q \cdot dt = q \cdot dt + S \cdot dh} \dots\dots\dots \text{(II.38)}$$

Avec :

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 cumulé à l'instant **t** est :  $Q - q = S \cdot dh/dt$

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

IL existe plusieurs procédés de calcul, on cite :

1. Méthode de Kotcherine.
2. Méthode Step by step.
3. Méthode graphique.
4. Méthode d'Eier-Cieh.
5. Méthode de Hidenblat.

Dans notre étude on va utiliser la méthode de Kotcherine.

### II.6.1. Méthode de Kotcherine : [2]

La méthode de Kotcherine est un procédé grapho - analytique qui se base sur les principes suivants :

- l'Hydrogramme de crue est considéré comme un triangle ou un trapèze.
- les débits transitent par l'évacuateur de crue se déversent selon une fonction linéaire.
- le laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau normale de la retenue (NNR).

Les pertes par infiltration et évaporation sont considérées comme nulles au moment de la crue.

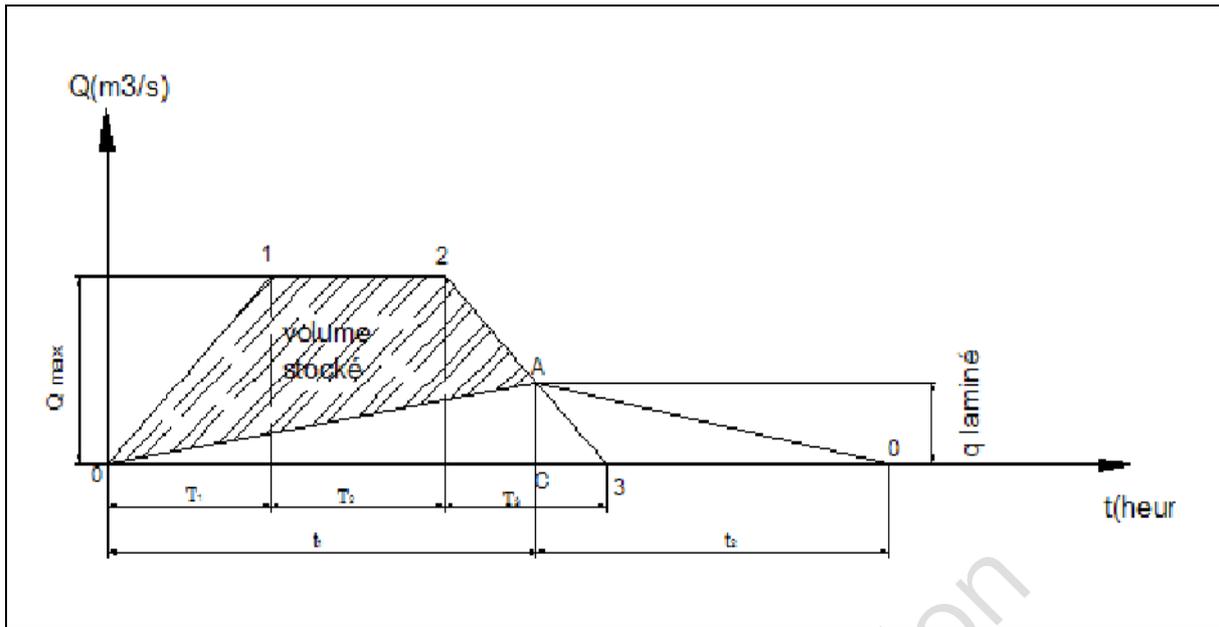


Figure II.20 : la représentation graphique de la méthode de Kotchérine.

Avec :  $T_1 + T_2 + T_3 = T_0$  et si  $T_2 = 0$  alors l'hydrogramme est pointue.

$t_1$  : est le temps de remplissage

$t_2$  : est le temps de vidange.

$t_0 = t_1 + t_2$  avec  $t_0$  : c'est le temps de fonctionnement de l'évacuateur de crue.

- Si  $T_2 = 0$  on a : l'hydrogramme est pointue donc :

$$\sum(Qc \cdot \Delta t) = 1/2 (T_1 + T_2) Q_{\max} \dots \dots \dots (II.39)$$

$$S_{\text{stocké}} = (\sum Qc \cdot \Delta t) - (Q_{e \max})/2 \cdot T_0 \dots \dots \dots (II.40).$$

$$Q_{e \max} = 2[(\sum Qc \cdot \Delta t - V_{\text{sto}})]/T_0 \dots \dots \dots (II.41).$$

$$F_{\text{forcé}} = (S_{\text{PHE}} + S_{\text{NNR}}) \cdot m_{\text{ax}}/2 \dots \dots \dots (II.42).$$

$$Q_{e \max} = 1/T_0 [(T_0 + T_1) \cdot Q_{c \max} - (S_{\text{PHE}} + S_{\text{NNR}}) \cdot h_{m_{\text{ax}}}] \dots \dots \dots (II.43).$$

La longueur déversant est donnée par la formule suivante :

$$L_{\text{déver}} = \frac{Q_{e \text{ max}}}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot (h \text{ max})^{3/2}} \dots\dots\dots (II.44)$$

**NOTE :**

Les résultats de calcul de laminage par la méthode de kotchérine sont donnés dans ANNEXE II.

Les résultats de l'étude du laminage des crues millénaires de quelques largeurs du déversoir sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.25 : récapitulatif des résultats de la méthode de Kotcherine.

Largeur(m)	Hauteur(m)	Q Laminé (m3/s)
25	2.4	198.54
30	2.2	201.96
40	1.8	208.3
50	1.6	211.36
60	1.4	214.72
85	1.2	217.65
100	1	220.68

**II.7. Etude d'optimisation :**

L'étude d'optimisation a pour objectif de déterminer la largeur optimale de l'évacuateur de crue correspondante à la hauteur optimale de la digue, afin d'obtenir le devis le plus économique de l'aménagement.

**II.7.1 Calcul du coût approximatif de la digue : [6]**

On calcule le volume de la digue pour les différentes lames déversants afin de déterminer son coût, Le volume de la digue est donné par :

$$V_B = \sum V_i \dots\dots\dots (II.45).$$

Avec :  $V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot L_i \dots\dots\dots (II.46).$

$V_i$  : le volume du barrage à la cote  $i$ .

$L_i$  : Distance entre deux coupes voisines.

$S_i$  : Section transversale correspondante à la coupe  $i$ , donnée par la formule :

$$S_i = \frac{b + B_i}{2} \cdot H_i \dots\dots\dots (II.47).$$

$B_i$  : Largeur de base, donnée par :

$$B_i = (m_1 + m_2) \cdot H_i + b \dots\dots\dots (II.48).$$

$m_1, m_2$  : Les fruits des talus.

$b$  : Largeur en crête (m).

$H_i$  : Hauteur de la tranche au point  $i$ , donnée par :

$$H_i = NNR-Cf + R + h_{\text{dév}} + t \dots\dots\dots (II.49).$$

$R$  : Revanche en (m).

$t$  : Tassement en (m).

$h_{\text{dév}}$  : hauteur déversant.

### II.7.1.1. Calcul de la revanche : [6]

C'est la tranche comprise entre la crête du barrage et la côte des plus hautes eaux. Elle est donnée par la formule suivante :

$$R = 0.75 \cdot H + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (II.50).$$

Avec :  $H$  : hauteur des vagues (m).

$V$  : vitesse des vagues (m/s).

Pour la hauteur des vagues on utilise **Formule de Stevenson** qui est :

$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0.26 \cdot \sqrt[4]{F} \dots\dots\dots (II.51).$$

Avec :  $F$  : largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée Fetch ( $F = 2.5 \text{ km}$ ).

Alors : la revanche est égale : **R=1m**

Il existe aussi la formule simplifiée qui donne directement la revanche :

$$R = 1 + 0.3 \cdot \sqrt{F} \dots\dots\dots (II.52).$$

Alors : la revanche est égale : **R=1.5m**

Pour des raisons de sécurité on prend : **R=2.0m**

### II.7.1.2. Calcul de largeur en crête : [6]

La largeur en crête peut être calculée par les différentes formules suivantes :

- **Formule de KNAPPEN** :  $b_{\text{cr}} = 1,65 \sqrt{H_b} \dots\dots\dots (II.53).$

- **Formule de F-PREECE :**  $b_{cr} = (1,1\sqrt{H_b}) + 1$  ..... (II.54).

- **Formule simplifiée :**  $b_{cr} = 3,60\sqrt[3]{H_b} - 3$  ..... (II.55).

Avec :  $H_b$  : Hauteur du barrage (m).

$$H_b = NNR - C_f + h_{dév} + R + t \text{ ..... (II.56).}$$

On admet une valeur de  $t = 0,5m$  pour le tassement du barrage.

Tableau II.26 : les largeurs en crête pour différentes charges déversées.

b(m)	h(m)	q(m3/s)	Hb(m)	bcr (knappen)	bcr (Preece)	bcr (simplifiée)	bcr (moyenne)
25	2.4	198.54	37.4	10.09	7.73	9.04	8.95
30	2.2	201.96	37.2	10.6	7.71	9.01	9.12
40	1.8	208.3	36.8	10.01	7.67	8.97	8.88
50	1.6	211.36	36.6	9.98	7.65	8.95	8.86
60	1.4	214.72	36.4	9.95	7.64	8.93	8.84
85	1.2	217.65	36.2	9.93	7.62	8.91	8.82
100	1	220.68	36	9.9	7.6	8.89	8.8

On opte pour une largeur en crête :  $b_{cr} = 9m$ .

### II.7.1.3. Calcul du volume de la digue pour les différentes largeurs déversantes :

Le volume et le coût des différentes digues sont donnés dans le tableau ci-après.

#### Remarque :

Pour les fruits des talus de la digue amont et aval on prend respectivement 3.0 et 2.5 mètres, et pour Le prix du mètre cube du remblai est estimé à 400 DA. [A.N.B.T].

Largeur déversant(m)	Volume de digue (m3)	Cout de la digue (DA)
25	2300100.52	920040208
30	2276640.56	910656224
40	2230080.31	892032124
50	2206980.45	882792180
60	2184000.56	873600224
85	2161140.78	864456312
100	2138400.65	855360260

### II.7.2. Calcul du coût de l'évacuateur de crues :

Vu que le bassin de dissipation garde leur profil pour les différentes largeurs déversantes, on va donc tenir compte que du seuil déversant, du canal d'approche et du coursier.

#### II.7.2.1. Coût du déversoir :

On va envisager le déversoir type « Creager » ce dernier s'adapte mieux à la lame d'eau de façon que celle-ci ne puisse pas se décoller et n'exerce pas d'effort sur le parement. Le déversoir sera construit en béton armé.

La section transversale du déversoir est :

$$\frac{Y}{H} = 0,47 \cdot \left(\frac{X}{H}\right)^{1,80} \dots\dots\dots (II.57).$$

Avec : H : Charge sur le seuil (m).

Y : Ordonnée du profil (m).

X : Abscisse du profil (m).

Le volume du déversoir sera donc :

$$V_{\text{dév}} = S \cdot b \dots\dots\dots (II.58).$$

S : Section transversale (m<sup>2</sup>).

b : Largeur déversant (m).

Le prix du mètre cube du béton armé est estimé à 25000DA, on obtient le prix du déversoir.

Tableau II.27 : Résultats de calculs du coût du déversoir pour les différentes largeurs

Profile N°	b(m)	Hdever(m)	S (m2)	V (m3)	Couts(DA)
1	25	2.4	87.46	2186.5	54662500
2	30	2.2	62.83	1884.9	47122500
3	40	1.8	52.61	2104.4	52610000
4	50	1.6	47.82	2391	59775000
5	60	1.4	43.98	2638.8	65970000
6	85	1.2	38.63	3283.55	82088750
7	100	1	32.88	3288	82200000

### II.7.2.2. Coût du canal d'approche:

Tableau II.28 : Résultats de calculs du coût du canal d'approche pour les différentes largeurs déversantes .

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. Il est de forme rectangulaire avec une charge d'eau « H » et une revanche de 2 m.

D'où la hauteur totale du mur :  $H_{ca} = H + R$  ..... (II.59).

« L » est déterminée d'après la topographie est égale à 50m et « e » est prise égale à 0,5m.

D'où le volume du canal d'approche est estimé par :

$$V = S \cdot e = L \cdot H_{ca} \cdot e \text{ ..... (II.60).}$$

N°	b (m)	h (m)	H <sub>ca</sub> (m)	S (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	Coûts (DA)
1	25	2.4	4.4	14,9	745	18625000
2	30	2.2	4.2	19,4	970	24250000
3	40	1.8	3.8	24,2	1210	30250000
4	50	1.6	3.6	29	1450	36250000
5	60	1.4	3.4	33,8	1690	42250000
6	85	1.2	3.2	38,7	1935	48375000
7	100	1	3	43,65	2182.5	54562500

### II.7.2.3. Coût du coursier:

On opte pour un coursier de section rectangulaire pour assurer les bonnes conditions de l'écoulement.

La longueur approximative du coursier est 264.4 mètre (selon le plan topographique).

Le volume du béton de coursier est donné par :

$$V_{\text{béton}} = S_{\text{béton}} \times L_{\text{cou}} \text{ ..... (II.61).}$$

L'épaisseur du radier et des murs bajoyers est prise égale à 0,5 mètres.

Largeur du coursier est donnée par :

$$b_{\text{cou}} = (Q_{e,\text{max}})^{0,4} \text{ .....(II.62).}$$

Tableau II.29 : Récapitulatif des coûts du coursier pour différentes largeurs déversantes

largeur déversants (m)	q (m <sup>3</sup> /s)	b <sub>c</sub> (m)	volume du béton (m <sup>3</sup> )	Coût de coursier
				(millions de DA)
25	198.54	8.3	3212.46	80311500
30	201.96	8.36	3220.392	80509800
40	208.3	8.46	3233.612	80840300
50	211.36	8.51	3240.222	81005550
60	214.72	8.56	3246.832	81170800
85	217.65	8.61	3253.442	81336050
100	220.68	8.7	3265.34	81633500

Tableau II.30 : Récapitulatif des prix totaux pour les différentes largeurs déversantes.

				Coût (DA)				
Barrage N°	b (m)	h (m)	H <sub>b</sub> (m)	Digue	Déversoir	Canal d'approche	Coursier	Global
1	25	2.4	37.4	920040208	54662500	18625000	80311500	1073639208
2	30	2.2	37.2	910656224	47122500	24250000	80509800	1062538524
3	40	1.8	36.8	892032124	52610000	30250000	80840300	1055732424
4	50	1.6	36.6	882792180	59775000	36250000	81005550	1059822730
5	60	1.4	36.4	873600224	65970000	42250000	81170800	1062991024
6	85	1.2	36.2	864456312	82088750	48375000	81336050	1076256112
7	100	1	36	855360260	82200000	54562500	81633500	1073756260

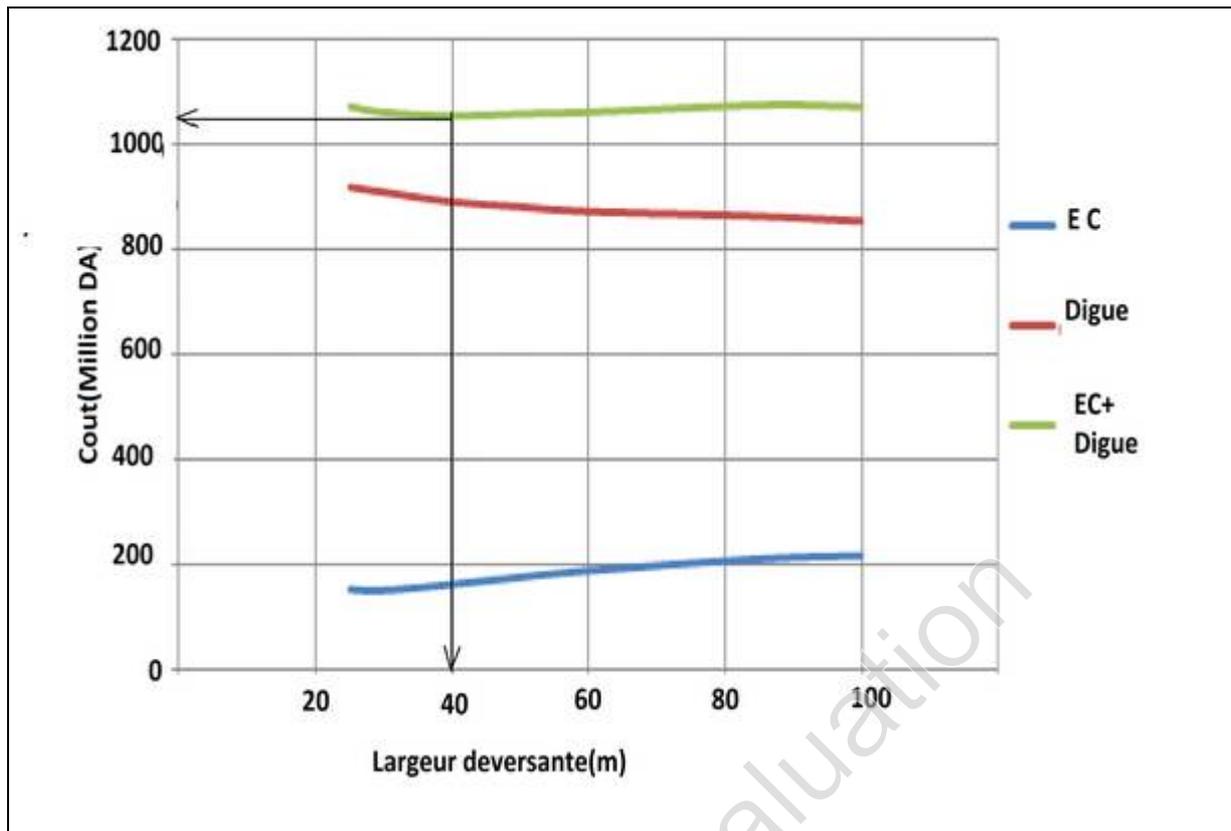


Figure II.21 : courbe d'optimisation

La courbe superposée des coûts totaux donne un point optimum correspondant à une largeur de déversoir optimale «  $b = 40 \text{ m}$  » ce qui correspond à une hauteur déversée  $h = 1.8 \text{ m}$  et un débit laminé  $Q = 208.3 \text{ m}^3/\text{s}$ . avec une hauteur du barrage  $H_b = 36.8 \text{ m}$ , à une cote en crête optimale de la digue égale à  $905.3 \text{ m NGA}$ .

Tableau II.31 : Caractéristiques du barrage.

Dénomination	Unités	Valeurs
Volume mort	$\text{Mm}^3$	5.6
Volume utile interannuel	$\text{Mm}^3$	9.22
Volume au NNR	$\text{Mm}^3$	14.82
Cote du fond	m NGA	868.5
Cote NVM	m NGA	894
Cote NNR	m NGA	901
Cote NPHE	m NGA	902.8
Cote en crête	m NGA	905.3
Largeur en crête	M	9
Largeur du déversoir	M	40
Charge déversée	M	1.8

**Conclusion :**

Au terme de ce chapitre on a pu déterminer tous les paramètres hydrologiques nécessaires pour la conception de notre barrage, à savoir les caractéristiques hydro-morphologiques et hydromorphométriques du bassin versant ainsi que les caractéristiques du futur barrage.

Les éléments constituant le barrage vont être redimensionnés en tenant compte des nouvelles valeurs qu'on a obtenues dans cette étude.

Expert PDF Evaluation

# **Chapitre III : Etude des variantes**

Expert PDF Evaluation

## Introduction :

Un barrage est un ouvrage artificiel ou naturel établi en travers du lit d'un cours d'eau, retenant ou pouvant retenir de l'eau. Les barrages artificiels doivent être placés dans des cuvettes géologiquement étanches. Ils sont composés d'un corps conçu de manière spécifique à chaque type d'ouvrage, reposant sur une fondation étanche ou rendue étanche en amont.

Les types de barrages peuvent être classés en différentes catégories selon le matériau de construction et selon le mode de résistance à la poussée de l'eau :

- ✓ barrages en remblai homogènes drainés, zonés ou à étanchéité artificielle ;
- ✓ barrages poids en béton, ou en BCR ;
- ✓ barrages voûte ;
- ✓ et pour mémoire, barrages à contreforts ou à voûtes multiples.

Les barrages en remblai sont des ouvrages souples. Les autres barrages sont rigides.

Le choix du type de barrage se fait en fonction des caractéristiques locales, en particulier ; la forme de la vallée, les risques sismiques, la nature de sol de fondation, les matériaux de construction et leurs problèmes de transport, les conditions climatiques, les crues à maîtriser ainsi que les exigences sécuritaires, environnementales et économiques.

L'étude géologique et géotechnique est la base fondamentale de ce choix, en effet c'est en fonction de la nature du sol de fondation et des matériaux de construction disponibles au voisinage du site du barrage que l'on peut proposer des variantes ou en écarter.

### III.1. Le choix du site du barrage : [7]

L'axe du barrage est choisi sur la base de certaines conditions dictées par les critères économiques, sécuritaires et facilité d'exécution de l'ouvrage.

En plus de la topographie, la géologie et l'hydrologie sont toujours prises en considération quant au choix de l'axe. En d'autres termes le choix de l'axe doit être conditionné par :

- ✓ La projection de l'axe doit être dans la mesure du possible 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.

### III.2. le choix du type de barrage : [6]

Les principaux paramètres à prendre en considération dans le choix du type de barrage sont :

- ✓ **La topographie du site:**

La topographie consiste en premier lieu à vérifier si l'axe choisi permettrait le remplissage de la retenue en fonction des apports du bassin versant. En second lieu vérifier la possibilité d'implantation du barrage et de ces ouvrages annexes.

**✓ La morphologie de la vallée :**

La morphologie de la vallée joue un rôle très important dans le choix du site et du type de barrage à implanter. Bien entendu, l'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit précédé à l'amont par un élargissement de la vallée. Les vallées larges conviennent mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai, un site étroit conviendra mieux à un barrage poids et un autre plus étroit conviendra à une voûte lorsque les fondations le permettent.

**✓ Les conditions géologiques et géotechniques :**

La nature, la résistance, le pendage, la fracturation et la perméabilité des formations rencontrées dans le bassin versant, constituent un ensemble de facteurs permettant la détermination du site et du type de barrage à implanter.

- Les fondations rocheuses se prêtent à l'édification de tous les types des barrages.
- Les fondations graveleuses conviennent en général pour les barrages en terre ou en enrochement, mais il faut toujours attribuer des dispositifs d'étanchéité et de drainage afin de contrôler les fuites et les percolations (Risque de Renard), et les tassements différentiels.
- Les fondations argileuses impliquent directement le choix des barrages en terre avec des pentes de talus compatibles avec les caractéristiques mécaniques des formations en place.

**✓ Les risques sismiques :**

Les barrages situés dans des zones sismiques doivent être conçus avec des paramètres plus sévères, c'est à dire, avec des talus moins abrupts, des crêtes plus larges, des filtres et des drains plus importants.

Les plus résistants aux sollicitations dynamiques sont :

- Les barrages en enrochement à noyau central argileux, de par leur capacité à supporter de grandes déformations.
- Barrages poids: résistance aux sollicitations horizontales transversales est faible améliorée si les joints sont remplis de coulis de ciment et si ces joints présentent une surface supportant le cisaillement (joints avec des décrochements).
- Les barrages à contreforts: peu résistant pour les sollicitations transversales, mieux avec l'élargissement des âmes des contreforts à l'aval pour les rendre jointives.
- Les barrages en enrochement à masque: l'élément étanche est fragile.

**✓ Les matériaux de construction :**

La disponibilité des matériaux de construction sur le site ou à proximité joue un rôle important (souvent économique) dans le choix du site ainsi que du type de barrage. Le site doit être choisi dans la mesure des autres exigences citées, le plus proche possible des zones d'emprunt. et le type doit être choisi dans la mesure des types de matériaux disponibles si les autres conditions le permettent.

### ✓ Critères économiques :

Dans plusieurs cas, les considérations précédentes auront permis de retenir plusieurs types de barrage. Par exemple, des fondations rocheuses, la présence de matériaux meubles proches du site, un débit de crue important, conduiront à mettre en balance un barrage en BCR et un barrage en terre équipé d'un évacuateur de crue coûteux.

Il convient alors de poursuivre les études pour les deux types d'ouvrages, en veillant à affiner les estimations de coût au fur et à mesure de la progression des études. Dès que l'un des types de barrages paraît significativement plus économique, il est préférable de ne pas s'entêter sur l'autre option.

En se basant sur ces exigences on peut déterminer la variante qui convient au site et le type de barrage à implanter.

### III.3. les variantes à choisir :

Pour le cas présent, les conditions topographiques, géotechniques, et géologiques du site permettent d'envisager un barrage en matériaux locaux (disponibilité des matériaux sur le site), ce qui nous donne le choix de trois variantes :

**Remarque :** les barrages rigides (barrage poids ; en béton ou en BCR) sont écartés à raison de médiocre fondation (fondation mauvaise et hétérogène) du notre site.

#### ❖ Barrage en terre homogène :

C'est un barrage constitué d'un seul matériau qui garantit l'imperméabilité, accompagnée de dispositifs de drainage contre la filtration. Le remblai est constitué de matériaux du type argile, argile sablonneuse, limons, sable limoneux, sable... etc. Il peut y avoir d'autres matériaux qui ne contribuent pas dans la stabilité du barrage (enrochement et protection du talus et de la crête). Il est le type de barrage le plus facile à réaliser, mais il faudrait disposer d'un volume très important de matériaux argileux imperméable pour le réaliser. Le drain vertical placé au centre de la digue constitue une solution plus efficace pour intercepter les eaux d'infiltration, le drain est constitué de matériaux grossiers.

#### ❖ Barrage en terres hétérogènes ou zoné :

Souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place, ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettant pas d'envisager une digue homogène. Un massif en plusieurs zones dont chacune est constitué d'un matériau différent, suivant le rôle que doit jouer chaque zone, est la solution adoptée pour la réalisation de la digue.

La fonction d'étanchéité est assurée par un noyau étanche réaliser en matériaux argileux, qui pourra être placé en amont de la digue ou au centre de celle-ci.

Le noyau interne présente l'avantage d'être peu sensible aux agressions extérieures, il présente l'inconvénient d'être difficilement réparable en cas de fuite.

❖ **Barrage en enrochement avec masque:**

Quand la réalisation d'un noyau étanche peut présenter des difficultés telles que manque de matériaux convenables, difficulté de mise en œuvre ...etc. le barrage en enrochement avec masque en peut être la solution idéale pour la réalisation de la digue.

Le masque est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage. Il présente l'avantage de pouvoir être réparé aisément, il est par contre plus exposé à l'agression extérieure mécanique, thermique, abrasivité...etc.

**III.4.Objet de l'étude de variantes :**

L'étude de variantes consiste en la comparaison économique des variantes, proposées auparavant, susceptibles d'être projetées sur le site. Les digues proposées sont dimensionnées approximativement au niveau de notre étude comparative ; nous ne tiendrons pas compte du coût des ouvrages annexes ; car on suppose que le coût est le même pour toutes les variantes.

**III.5.Définition du profil général du barrage :**

**III.5.1.Hauteur de barrage :**

**III.5.1.1.Calcul de la revanche :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$R = 0.75 \cdot H + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (III.01).$$

Avec : H : hauteur des vagues (m).

V : vitesse des vagues (m/s).

Pour la hauteur des vagues on utilise la formule de **Stevenson** :

$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{F} \dots\dots\dots (III.02).$$

Avec : F : largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée Fetch (**F = 2.5 km**).

Alors : la revanche est égale : **R=1m**

Il existe aussi la formule simplifiée qui donne directement la revanche :

$$R = 1 + 0,3 \cdot \sqrt{F} \dots\dots\dots(III.03).$$

Alors : la revanche est égale : **R=1.5m**

Pour notre cas on opte une valeur de **2,0m** pour des raisons de sécurité.

**III.5.2.Calcul de la largeur en crête : [6]**

La largeur en crête peut être calculée par les différentes formules suivantes :

a) **Formule de KNAPPEN** :  $b_{cr} = 1,65 \sqrt{H_b} \dots\dots\dots (III.04).$

b) **Formule de F-PREECE** :  $b_{cr} = (1,1\sqrt{H_b}) + 1 \dots\dots\dots (III.05).$

c) **Formule simplifiée** :  $b_{cr} = 3,60\sqrt[3]{H_b} - 3$  ..... (III.06).

Avec :  $H_b$  : Hauteur du barrage (m).

$H_b = NNR - C_f + h_{dév} + R + t$  ..... (III.07).

On admet une valeur de  $t = 0,5m$  pour le tassement du barrage.

$H_b = 901 - 868.5 + 1.8 + 2 + 0.5 = 36.8m$   $H_b = 36.8m$

Tableau III.01 : les résultats de la largeur en crête.

Formule	$b_{cr}$ (m)
KNAPPEN	10.00
PREECE	7.67
SIMPLIFIEE	8.97
Moyenne	8.9

On opte pour une largeur en crête :  $b_{cr} = 9m$ .

**III.5.3. La longueur en crête :**

La longueur en crête est tirée à partir du plan de l'aménagement elle est égale à :  $L = 520m$ .

**III.5.4. Pentés des talus : [7]**

La pente des talus doit assurer la stabilité statique de ces talus. C'est-à-dire que les fruits de talus sont fixés par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. Compte tenu de la nature des matériaux, et on vérifie par la suite par calcul de stabilité.

Tableau III.02 : valeurs indicatives des fruits de talus.

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H < 5	- Homogène	2,5	2,0
	- A zones	2,0	2,0
5 < H < 10	- Homogène granulométrie étendue	2,0	2,0
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2,0	2,5
10 < H < 20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3,0	2,5
	- A zones	3,0	3,0
H ≥ 20	- Homogène granulométrie étendue	3,0	2,5

	- A zones	3,0	3,0
--	-----------	-----	-----

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

- Parement amont  $m_1 = 3,0$ .
- Parement aval  $m_2 = 2,5$ .

Ce qui va être vérifié après calcul de la stabilité.

### III.5.5. Les bermes :

Souvent on prévoit des bermes, qui auront un rôle dans l'optimisation des fruits de talus et d'autres objectifs tels que l'accès pour la réparation des talus et l'augmentation de stabilité. Les bermes sont de 2 à 4 m de largeur en cas de construction de route jusqu'à 6 m. elles ont des rigoles latérales dans le but de capture et d'évacuation des eaux des précipitations.

#### III.5.5.1. Talus amont :

Les bermes sont projetées au niveau du parement amont, afin de permettre d'effectuer les contrôles, les réparations et augmenter la stabilité des talus, pour notre cas nous avons proposé deux bermes de largeur 3m chacune aux côtes 883.5 m NGA, 898.5 m NGA.

#### III.5.5.2. Talus aval :

Les bermes au talus aval servent à l'évacuation des eaux de ruissellement, donc nous avons proposé deux bermes de largeur 3m aux mêmes côtes successivement.

### III.5.6.Revêtement de la crête et des talus de la digue :

#### III.5.6.1. Talus amont :

Le talus en amont sera protégé contre l'érosion causée par l'action des vagues en plaçant une couche de **rip-rap** à une épaisseur « e » donnée par les deux méthodes ci-après. Le matériau du riprap proviendra des excavations. Il sera, éventuellement, supplémenté par des matériaux venant de la carrière.

##### a) Première méthode :

les ingénieurs d'US Army Corps of Engineers[6] utilisent un tableau (tableau III.03) qui donne l'épaisseur minimale de la couche d'enrochements et les dimensions minimales des blocs de roche en fonction de la hauteur de la vague déterminée à partir de l'abaque donné dans la figure suivante .

D'après la figure et le tableau ci-après on trouve que :

Hauteur des vagues :  $0.3 < H < 0.62 \Rightarrow e = 0.40 \text{ m}$  et  $D_{50}^{\min} = 0.25 \text{ m}$

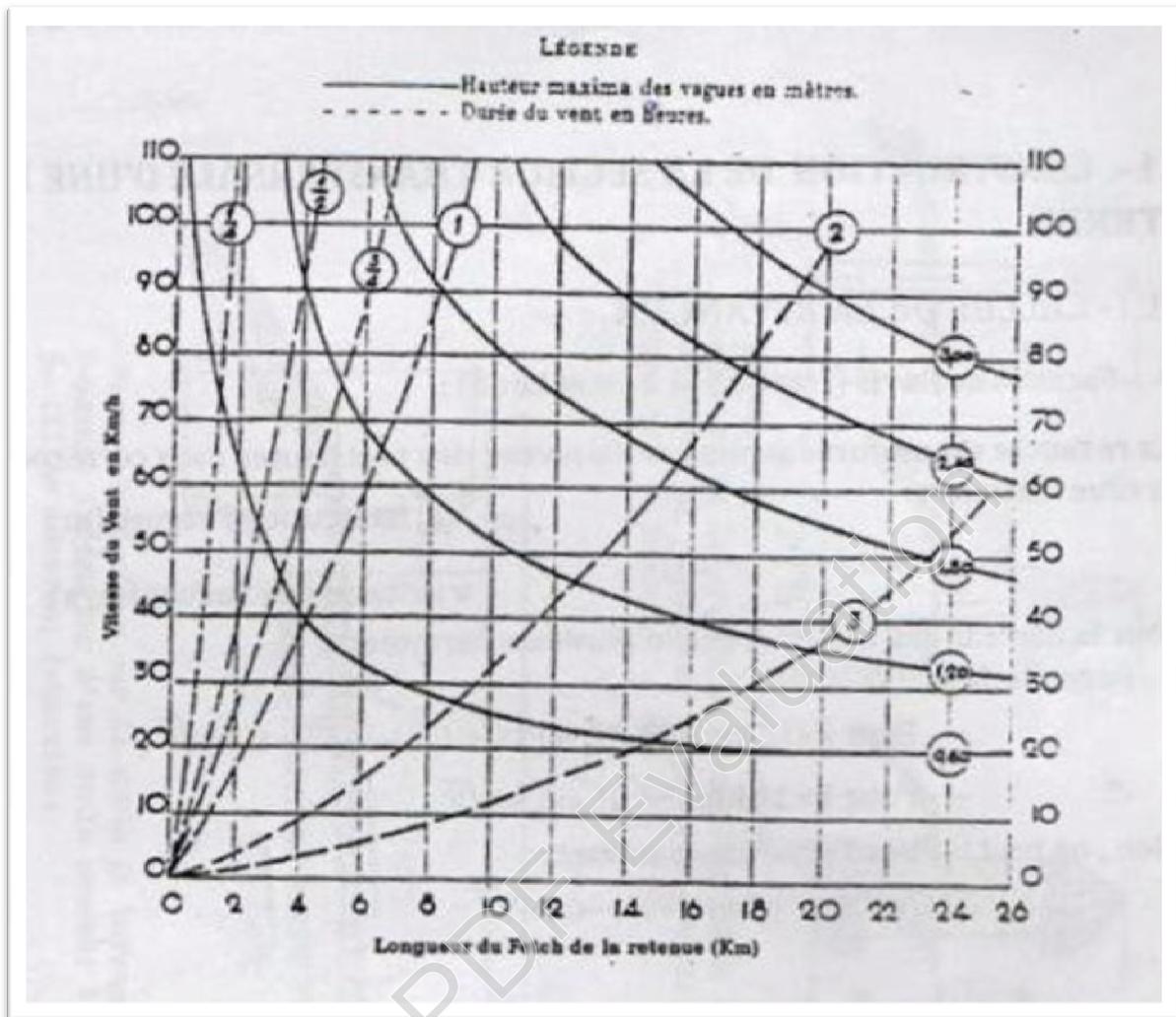


Figure III.01 : Abaque de détermination de la hauteur maximale des vagues, d’après l’US Army Corps of Engineers.

Tableau III.03: Epaisseur de l’enrochement et  $D_{50}$  minimal des pierres en fonction de la hauteur de la vague.

Hauteur des vagues (m)	Epaisseur minimale de la couche d’enrochement (m)	$D_{50}^{\min}$ (m)
0 – 0.30	0.30	0.20
<b>0.30 – 0.62</b>	<b>0.40</b>	<b>0.25</b>
0.62 – 1.20	0.45	0.30
1.20 – 1.80	0.55	0.40
1.80 – 2.40	0.70	0.45
2.40 – 3.00	0.80	0.55

**b) deuxième méthode :**

Selon la référence bibliographique [6], on peut établir la procédure suivante, on considérant dans le calcul le poids du bloc de la roche nécessaire pour supporter les forces appliquées produites par la pression statique et dynamique de la vague, ainsi que l'action érosive des vagues dans le calcul de la stabilité dont les facteurs sont le poids spécifique de la roche, la hauteur de la vague et le talus à protéger.

La formule recommandée pour le calcul du poids maximal des roches isolées est :

$$Q = \frac{0.35 \cdot \gamma_p \cdot h^3}{\left(\frac{\gamma_p}{\gamma} - 1\right)^3 \sqrt{1+m^3}} \dots\dots\dots (III.08).$$

Avec : Q : poids maximal des pierres.

$\gamma_p$  : poids volumique de la pierre (t/m<sup>3</sup>).

h : hauteur de la vague (m).

$\gamma$  : poids volumique de l'eau (t/m<sup>3</sup>).

m : talus à protéger.

**AN :** Q=0.139 tonnes

Le diamètre maximal exprimé en mètre du bloc à placer dans le talus porté à une sphère de diamètre équivalent « D<sub>sph</sub> » est calculé par la formule suivante:

$$D_{sph} = \sqrt[3]{\frac{Q}{0.524 \gamma_p}} \dots\dots\dots (III.09).$$

**AN :** D<sub>sph</sub>=0.47 m

Le 50 % des blocs doit avoir une taille égale ou supérieure à D<sub>50</sub>= K\*D<sub>sph</sub> ou K est un coefficient qui dépend de la catégorie de l'ouvrage à partir du tableau III.04

Tableau III.04 : valeurs du coefficient K en fonction de la catégorie de l'ouvrage.

Coefficient	IV	III	II	I
K	0.50	0.55	0.60	0.65

**Note :** En obtenant une valeur D<sub>50</sub> inférieure à 0,2585 m.

**AN :** **D<sub>50</sub>= 0.28m**

L'épaisseur du revêtement est déterminée selon la formule suivante:

$$e = D_{50} (2 - 2.5) \dots\dots\dots (III.10).$$

**AN :** **e=0.7m.**

Après les résultats de ces deux méthodes on opte pour une épaisseur d'enrochement  $e=1m$  et un diamètre de 50% des blocs  $D_{50}=0.30m$

**III.5.6.2. Talus aval:**

On doit concevoir le revêtement pour éviter la possible érosion à cause des pluies et s'il existe un niveau permanent d'eau.

En ce qui concerne le talus aval il n'y a pas de méthodologies bien établies, étant d'ailleurs le choix de la solution une question de jugement du Consultant tenant compte de l'importance de l'ouvrage, du régime des pluies et des conditions locales.

Pour sa protection, on utilise l'enrochement d'épaisseur **(0,6m)**.

**III.5.6.3. La crête :**

Pour assurer une bonne stabilité, conserver contre la dégradation et permettre la bonne circulation des engins on doit réaliser un bon revêtement de la crête ; en utilisant une couche de produits asphaltiques épaisse de **1m**.

**III.5.7. Etanchéité du barrage:[7]**

**III.5.7.1. le noyau :**

Les barrages avec noyaux ou diaphragmes sont construits quand il n'existe pas de sols argileux peu perméables. C'est le cas de la deuxième variante où le remblai n'est pas suffisamment imperméable, nous allons équiper le barrage d'un noyau argileux compacté, disposé verticalement au centre du barrage. Vers le sommet, le noyau doit être monté au-dessus du niveau des plus hautes eaux (plus de 0.5 m). Il doit être protégé à sa partie supérieure par une couche de sable ou de préférence, en traitant le sommet du barrage en chemin avec une chaussée enrobé en bitumineux. Latéralement, nous disposons de part et d'autre du noyau un drain filtre.

**a) Dimensionnement du noyau :**

• **La hauteur :**

La hauteur du noyau est déterminée par la formule suivante :

$$H_n = H_b - 1 \dots\dots\dots (III.11).$$

Avec :  $H_b$  : hauteur du barrage (m).

$H_n$  : hauteur du noyau (m).

**AN :  $H_n = 36.8 - 1 = 35.8m$   $H_n=35.8m$**

• **La largeur en crête du noyau :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$L_{n;s} = \frac{1}{6} \cdot H_b \dots\dots\dots (III.12).$$

Donc on aura :  $L_{n;s} = \frac{1}{6} \cdot 36,8 = 6,13m$   **$L_{n;s}=7m$**

• **Les fruits des talus du noyau :**

Ils doivent être d'une telle sorte à vérifier la condition suivante :

$$I = \frac{\Delta H}{b_{moy}} \leq I_{adm} \dots\dots\dots (III.13).$$

Avec :  $I_{adm}$ : gradient admissible dépendant de la classe du barrage et du type de matériau.

$b_{moy}$ : largeur moyenne du noyau, donnée par la formule(III.14).

$\Delta H$ : la charge d'eau, donnée par la formule (III.15).

$$b_m = \frac{L_{n,s} + L_b}{2} \dots\dots\dots (III.14).$$

Avec :  $L_{n,s}$  : largeur en crête du noyau.

$L_b$  : largeur en base du noyau.

$$\Delta H = H_1 - H_2 \dots\dots\dots (III.15).$$

Avec :  $H_1$ : Hauteur d'eau à l'amont correspond au NPHE, ( $H_1=34.3$  m)

$H_2$ : Hauteur d'eau à l'aval ( $H_2=0$ m).

Pour notre cas :  $I_{adm}=1.5$

On aura :  $\frac{\Delta H}{b_{moy}} \leq I_{adm} \Leftrightarrow \frac{34.3}{b_{moy}} \leq 1.5 \Rightarrow b_{moy} > \frac{34.3}{1.5} = 22.87m$   **$b_{moy}=23$  m**

À partir de la formule (III.14) on aura :

$$L_b = 2.b_{moy} - L_{n,s} \dots\dots\dots (III.16).$$

**AN :  $L_b = 2.23 - 7 = 39m$   $L_b=39m$**

De la formule ci-après on détermine les fruits de talus :

$$L_b = 2.m.H_n + L_{n,s} \dots\dots\dots (III.17).$$

On aura :  $m = \frac{L_b - L_{n,s}}{2.H_n} = \frac{39 - 7}{2.35,8} = 0,45$   **$m=0.45$**

• **La cote en crête du noyau :**

$$NCN = C_{fond} + H_n = 868.5 + 35.8 = 904.3 \text{ m NGA}$$

**III.5.7.2. Les drains : [6]**

L'objectif fondamental de ses constructions est de contrôler l'évacuation du flux de filtration et réduire le volume des matériaux saturés du barrage, en augmentant ainsi la stabilité de l'ouvrage. Les conditions des drainages sont :

- ✓ Avoir une capacité suffisante pour évacuer l'eau de sorte qu'il ne soit pas colmaté.

- ✓ Ne pas permettre l'effet de renard; c'est pourquoi, on doit avoir une ou plusieurs couches filtrantes.
- ✓ On doit contrôler son fonctionnement.

**a) Dimensionnement du prisme de drainage (drain prisme) : [6]**

Les prismes sont les éléments les plus utilisés pour le drainage. Dans sa partie centrale, ils sont construits en pierres et on place un filtre à l'envers au niveau de la zone de contact du remblai et sa fondation. Sa situation est particulière dans la partie du remblai qui passe par la voie de l'oued. Sa hauteur minimale est fonction du niveau d'eau dans le talus en aval et sa stabilité dépend des critères du concepteur. On peut calculer sa hauteur selon  $(0.15 - 0.2) \cdot H$  où H est la hauteur du barrage.

- **Hauteur :**

$$H_p = (0,15 \div 0,2) H_b \dots\dots\dots (III.18)$$

Avec :  $H_b$  : hauteur du barrage (36.8m).

On prend  $H_p = 0.15 H_b$

**$H_p = 5.5m$**

- **Largeur en crête :**

$$b_p = (1/3 \div 1/4) H_p \dots\dots\dots (III.19).$$

$$b_p = 5.5/3 = 2m$$

**$b_p = 2m$**

- **fruits de talus**

$$m_1 = (1 \div 1,75)$$

$$m_2 = (1,5 \div 2,5)$$

Donc on prend :  $m_2 = 2,5$

$$m_1 = 1,75$$

**b) Dimensionnement du drain tapis : [6]**

C'est le type de drainage le plus efficace pour la digue, car d'une part, on utilise moins de matériaux saturés, et d'autre part, il contrôle les filtrations de la retenue. Son inconvénient c'est qu'il existe une possibilité d'obstruction qui peut s'avérer très dangereuse. La sécurité et le contrôle dans sa construction reste de rigueur. Dans le dessin, on doit utiliser un facteur de sécurité plus élevé. Pour son dimensionnement on recommande d'utiliser des épaisseurs minimales de  $e = 0.80 m$ ; par rapport aux matériaux à employer et du remblai on peut le construire avec une ou plusieurs couches de filtre. La longueur est déterminée par la formule suivante :

$$L_d = \frac{L_b}{3} \dots\dots\dots (III.20).$$

Avec :  $L_b$  : Longueur transversale du barrage ( $L_b = 214m$ ).

$$\text{Donc : } L_d = \frac{214}{3} = 72m \quad L_d = 72m$$

### c) Dimensionnement du drain vertical : [6]

Le drain vertical placé au centre du barrage constitue une solution pour la variante I (digue homogène avec drain vertical).

La largeur minimale du rideau constituant le drain est de 1m, nous prenons une largeur de 2.0 m.

L'eau de percolation interceptée par ce drain est évacuée par un drain tapis filtrant, pour drainer les fondations, en assurant le lien entre le drain vertical et le drain tapis filtrant.

Le niveau du drain vertical est arasé au niveau des plus hautes eaux à raison d'arriver aux points de plus hautes saturations de remblai.

$$N_{dr} = NPHE = 902.8m \text{ NGA}$$

### III.5.7.3. Les filtres: [6]

La nécessité de placer des filtres entre des sols de granulométrie très différente est une pratique normale dans l'ingénierie. Les particules plus fines que le sol peut être entraînées par les forces de filtration est produit le phénomène de renard. Pour éviter ce phénomène, on protège le sol soumis au flux, dans ce cas, c'est la digue, avec des sols qui possèdent une granulométrie plus grossière pour éviter l'entraînement par les forces de filtration.

La conception des filtres, doit obéir aux conditions suivantes :

1. Ils doivent posséder une perméabilité plus élevée que le matériau à protéger, afin de servir de drain. Il est accepté dans la pratique que le matériau du filtre ait une perméabilité 100 fois plus élevé que celle du matériau à protéger.
2. Ils doivent être suffisamment fins pour éviter le phénomène de renard.
3. Le filtre ne doit pas être ni colmaté ni dégradé par entraînement de ses éléments.
4. Le matériau ne doit pas subir de modifications ou de dégradation dans le temps.
5. Ils ne doivent pas posséder plus de 5% de particules plus petites que le tamis 200 (0.074 mm) et ces dernières ne doivent pas être en plastique.
6. Pour éviter la dégradation du filtre, on accepte les particules de 5 cm (2 pouces) comme taille maximale.

Les critères de conception des filtres les plus communément utilisés sont ceux qui sont établis par BERTRAM (Université de Harvard), basés sur les conditions de TERZHAGHI, perfectionnés en suite par les travaux du Corps d'Ingénieurs de l'Armée et le Bureau de Réclamations des Etats-Unis et enfin enrichis par les travaux de SHERARD (1984).

**Remarque :** Les matériaux alluviaux peuvent être utilisés comme matériau pour le filtre avec la condition qu'ils remplissent la granulométrie du filtre proposé préalablement vérifié au moyen des calculs correspondants.

A partir des caractéristiques des alluvions avec des granulométries très variables et la granulométrie des filtres calculés, il est normal et nécessaire d'effectuer un processus de classification de ces matériaux avant de les utiliser comme filtres pour le barrage.

**Critères de conception : [6]**

$$\frac{D_{15}^{filtre}}{d_{85}^{sol}} \leq 4 \div 5 \text{ Condition de l'entraînement de particules fines par le phénomène de renard.}$$

$$\frac{D_{15}^{filtre}}{d_{15}^{sol}} > 4 \div 5 \text{ Condition de perméabilité.}$$

$$\frac{D_{50}^{filtre}}{d_{50}^{sol}} < 25 \text{ Parallélisme des courbes granulométriques.}$$

$$\frac{D_{60}^{filtre}}{D_{10}^{filtre}} \leq 20 \text{ Coefficient d'uniformité du filtre.}$$

La perméabilité du matériau de filtre peut raisonnablement être estimée par l'expression:

$$K = 0,35 (D_{15})^2 \dots\dots\dots (III.21).$$

Où:  $D_{15}$ , en mm

K obtenue en cm/s.

Les épaisseurs minimales recommandées pour les filtres sont:

- Couches horizontales de sables ----- **0,3m**
  - Couches horizontales de graviers ----- **0,60 m**
  - Couches verticales ou inclinées ----- **2.00m**

**III.6. Calcul du volume des différents matériaux :**

Dans cette présente étude nous allons calculer le volume de différents matériaux pour la construction du barrage pour les différentes variantes proposées. Et en se basant sur ces volumes ainsi que les prix unitaires adoptés par l'agence nationale des barrages et des transferts, nous déterminerons les coûts de chaque variante ce qui nous permettra de faire notre choix définitif.

Le coût du barrage est déterminé de la manière suivante :

On trace le profil longitudinal du barrage, on choisit des sections en travers du barrage et sur chaque coupe, on détermine la hauteur de la digue à l'aide de la formule suivante :

$$H_{bi} = N_{cr} - N_{pi} \dots\dots\dots (III.22).$$

Avec :  $H_{bi}$  : hauteur du barrage à la coupe « i ».

$N_{cr}$  : Côte de la crête du barrage.

$N_{pi}$  : Côte du pied du barrage dans la section « i ».

L'aire de la section transversale du barrage pour la coupe "i" est déterminée ainsi :

$$S_i = \frac{b_{cr} + B_{pi}}{2} * H_{bi} \dots\dots\dots (III.23).$$

Avec :  $b_{cr}$  : Largeur en crête du barrage.

$B_{pi}$  : Largeur du pied du barrage au droit de la section « i »

$$B_{pi} = b_{cr} + (m_1 + m_2).H_{bi}$$

Avec :  $m_1$  et  $m_2$  ; fruits de talus amont et aval respectivement.

Le volume total du barrage s'obtient par la somme des volumes partiels de ses sections.

$$V_b = \sum_{i=1}^n V_i \dots\dots\dots (III.24).$$

Avec :  $V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} .d \dots\dots\dots (III.25).$

Avec :  $V_i$  : volume de la digue à la coupe « i »

$S_i$  : surface de la digue à la coupe « i »

$S_{i+1}$  : surface de la digue à la coupe « i+1 »

$d$  : Distance horizontale séparant deux sections successives  $S_i$  et  $S_{i+1}$

**III.6.1. Barrage homogène en argile avec drain vertical :**

C'est une variante très économique et très étanche mais seulement, il faudrait disposer de sols fins de qualité satisfaisante et en quantité suffisante de l'ordre de **1,5 à 2** fois le volume du remblai.

**III.6.1.1. les recharges (argile) :**

Tableau III.05 : volumes des recharges (argile).

N°	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$S_{moy}$ (m <sup>2</sup> )	$d_i$ (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	44.775	94.51	4104.1
1	89.55	236.99875	46.97	10793.646
2	384.4475	681.5975	88.61	58894.034
3	978.7475	1483.3475	88.38	128605.94
4	1987.9475	3021.65375	109.2588	321514.86
5	4055.36	2188.4537	87.6	189008.28
6	321.5447	160.77235	60.37	9397.93
7	0			
Volume Total				<b>722318.79</b>

**III.6.1.2. protection rip-rap :**

Le tableau III.06 nous résume le volume du rip-rap utilisé pour la protection des talus.

Tableau III.06 : volume des rip-rap.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	8.54	94.51	807.1154
1	17.08	32.145	46.97	1509.8506
2	47.21	63.93	88.61	5664.8373
3	80.65	99.76	88.38	8816.9390
4	118.87	166.16	109.2588	18154.82639
5	213.45	127.94	87.6	11207.74591
6	42.43	21.21	60.37	1280.74955
7	0			
Volume Total				<b>47442.0642</b>

**III.6.1.3. filtres et drains :**

Le tableau suivant récapitule le volume des sables utilisés pour les filtres et les drains.

**Volume des graviers : d'après la coupe 5-5 ; V=14617.78m<sup>3</sup>.**

Tableau III.07: volume des sables.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	1.35	94.51	127.5885
1	2.7	7.2	46.97	338.184
2	11.7	16.95	88.61	1501.9395
3	22.2	28.2	88.38	2492.316
4	34.2	42.82	109.2588	8627.40
5	51.45	30.825	87.6	2700.27
6	10.2	5.1	60.37	307.887
7	0			
Volume Total				<b>16095.585</b>

**III.6.2. Barrage zoné à noyau d'argile :**

Le principal avantage de cette variante est que tous les matériaux nécessaires à sa confection sont disponibles à proximité du site du barrage ; cela permet d'une part de réduire significativement les dépenses liées aux engins de transport pour l'acheminement des matériaux, et d'autre part, la proximité de la zone d'emprunt permet de gagner énormément en temps en écourtant le délai de réalisation, on dira que la variante est très économique et pratique. Cependant la réalisation délicate des zones de transition et du filtre constitue une difficulté majeure dans la conception de l'ouvrage.

**III.6.2.1. le Noyau :**

Il est composé par une argile limoneuse protégé par un filtre des deux côtés. Le tableau suivant nous donne le volume de l'argile nécessaire pour sa réalisation.

Tableau III.08 : volume du noyau.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0,00	14.00	94.51	1323.16
1	28.00	66.01	46.97	3100.50
2	104.02	168.84	88.61	14960.93
3	233.66	334.74	88.38	29584.34
4	435.82	631.579	109.2588	69005.56
5	827.338	458.22	87.6	40140.01
6	89.10	44.55	60.37	2689.48
7	0,00			
Volume Total				<b>160803.98</b>

**III.6.2.2. les recharges :**

Elles sont constituées des graves (gravier sablo grossiers).

Le tableau suivant montre le volume des recharges.

Tableau III.09 : volumes des recharges.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	20.435	94.51	1931.31
1	40.87	129.245	46.97	6070.64
2	217.62	426.23	88.61	37768.24
3	634.84	1005.30	88.38	88848.414
4	1375.7575	2160.86	109.2588	236092.97
5	2945.97	1561.195	87.6	136760.68
6	176.42	88.21	60.37	5325.24
7	0			
Volume Total				<b>512797.494</b>

**III.6.2.3. Protection en rip-rap :**

Le tableau suivant récapitule le volume des rip-rap nécessaire à la protection des talus.

Tableau III.10 : volume du rip-rap.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	8.54	94.51	807.1154
1	17.08	32.145	46.97	1509.8506
2	47.21	63.93	88.61	5664.8373
3	80.65	99.76	88.38	8816.9390
4	118.87	166.16	109.2588	18154.82639
5	213.45	127.94	87.6	11207.74591
6	42.43	21.21	60.37	1280.74955
7	0			
Volume Total				<b>47442.0642</b>

**III.6.2.4. filtres et drains :**

Le tableau ci-après récapitule le volume des sables utilisés pour les filtres et les drains.

**Volume des graviers : le volume est V=14617.78m<sup>3</sup>**

Tableau III.11 : volume des sables.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	1.8	94.51	170.12
1	3.6	9.6	46.97	450.91
2	15.6	22.6	88.61	2002.586
3	29.6	43.55	88.38	3848.95
4	57.5	63.05	109.2588	6888.77
5	68.6	41.1	87.6	3600.36
6	13.6	6.8	60.37	410.52
7	0			
Volume Total				<b>17372.216</b>

**III.6.3. Barrage en enrochement avec masque en béton :**

C'est un ouvrage intéressant et très stable car la résistance à la poussée de l'eau est assurée par le poids propre du massif, il supporte assez bien les tassements et sa fondation n'est soumise qu'à des pressions modérées; cependant c'est un ouvrage dont la réalisation est généralement coûteuse suite aux différentes opérations de désagrégation mécaniques des roches préexistantes ainsi que de leur mise en place pour le remblai.

L'épaisseur de béton est calculée par la formule suivant :

$$e = 0.3 + 0.001.H_b \dots\dots\dots (III.26).$$

Avec : H<sub>b</sub> : hauteur du barrage ; égale 36.8 m

AN:  $e = 0.3 + 0.001 * 36.8 = 0.34m$

on prend: **e=0.40m**

**III.6.3.1. recharges (enrochements):**

Le tableau III.12 : donne le volume des enrochements nécessaires à la réalisation de la digue.

Tableau III.12 : volume des recharges (enrochements).

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	44.775	94.51	4231.68
1	89.55	236.99875	46.97	
2	384.4475	681.5975	88.61	11131.83
3	978.7475	1483.3475	88.38	60396.35
4	1987.9475	3021.65375	109.2588	131098.25
5	4055.36	2188.4537	87.6	330142.26
6	321.5447	160.77235	60.37	191708.54
7	0			9705.83
Volume Total				<b>772597.34</b>

**III.6.3.2. masque en béton :**

Le tableau suivant nous donne le volume du béton qui sera utilisé pour la réalisation du masque.

Tableau III.13 : volume du béton.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	2.72	94.51	257.07
1	5.44		46.97	433.77
2	13.03	17.45	88.61	1546.24
3	21.88	26.94	88.38	2380.96
4	32.00	39.275	109.2588	4291.139
5	46.55	29.155	87.6	2553.978
6	11.76	5.88	60.37	354.98
7	0			
Volume Total				<b>11818.137</b>

Tableau III.14 : volume des graviers.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	3.775	94.51	356.77
1	7.55		46.97	602.15
2	18.09	24.23	88.61	2147.02
3	30.38	37.415	88.38	3306.74
4	44.45	54.54	109.2588	5958.97
5	64.64	40.48	87.6	3546.048
6	16.33	8.165	60.37	492.92
7	0			
Volume Total				<b>16410.618</b>

### III.7. Estimation du coût des variantes :

Le tableau suivant donne le coût des différentes variantes étudiées.

Tableau III.15 : les coûts des différentes variantes étudiées.

Variante	Matériaux	Quantité (m <sup>3</sup> )	Prix unit (DA)	Coût (millionDA)	Totale (millionDA)
<b>Homogène</b>	Recharge (argile)	722318.79	400	298.93	<b>373.74</b>
	Enrochement (rip-rap)	47442.0642	800	37.95	
	Filtres et drains	30713.365	1200	36.86	
<b>Zoné</b>	Noyau	160803.98	500	74.40	<b>322.86</b>
	Recharge (graves)	512797.494	400	172.12	
	Enrochement (rip-rap)	47442.0642	800	37.95	
	Filtres et drain	31990	1200	38.39	
<b>Avec masque</b>	Recharge (enrochement)	772597.34	800	618.0778	<b>779.86</b>
	Filtres et drain	16410.618	1200	19.69	
	masque en béton	11818.137	12000	141.82	

**Conclusion :**

On se référant au tableau cité ultérieurement on voit clairement que nous ne pouvons que nous orienter vers la deuxième variante (barrage zoné à noyau d'argile) car elle est la plus économique et la plus compatible avec notre site suivant de disponibilité des matériaux de construction de la digue en qualité et en quantité suffisante .

La quantité des matériaux de construction ne nous permet pas de construire un barrage homogène en argile. Aussi même pour la troisième variante (l'insuffisance des matériaux disponibles).

Suivant toutes ces considérations économiques soient elles ou techniques on opte pour un barrage zoné à noyau argileux.

# **Chapitre IV : Etude et conception détaillée de la digue**

Expert PDF Evaluation

## Introduction :

Un barrage est un ouvrage artificiel ou naturel établi en travers du lit d'un cours d'eau, retenant ou pouvant retenir de l'eau. Les barrages artificiels doivent être placés dans des cuvettes géologiquement étanches. Ils sont composés d'un corps conçu de manière spécifique à chaque type d'ouvrage, reposant sur une fondation étanche ou rendue étanche en amont.

Les types de barrages peuvent être classés en différentes catégories selon le matériau de construction et selon le mode de résistance à la poussée de l'eau :

- ✓ barrages en remblai homogènes drainés, zonés ou à étanchéité artificielle ;
- ✓ barrages poids en béton, ou en BCR ;
- ✓ barrages voûte ;
- ✓ et pour mémoire, barrages à contreforts ou à voûtes multiples.

Les barrages en remblai sont des ouvrages souples. Les autres barrages sont rigides.

Le choix du type de barrage se fait en fonction des caractéristiques locales, en particulier ; la forme de la vallée, les risques sismiques, la nature de sol de fondation, les matériaux de construction et leurs problèmes de transport, les conditions climatiques, les crues à maîtriser ainsi que les exigences sécuritaires, environnementales et économiques.

L'étude géologique et géotechnique est la base fondamentale de ce choix, en effet c'est en fonction de la nature du sol de fondation et des matériaux de construction disponibles au voisinage du site du barrage que l'on peut proposer des variantes ou en écarter.

### III.1. Le choix du site du barrage : [7]

L'axe du barrage est choisi sur la base de certaines conditions dictées par les critères économiques, sécuritaires et facilité d'exécution de l'ouvrage.

En plus de la topographie, la géologie et l'hydrologie sont toujours prises en considération quant au choix de l'axe. En d'autres termes le choix de l'axe doit être conditionné par :

- ✓ La projection de l'axe doit être dans la mesure du possible 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.

### III.2. le choix du type de barrage : [6]

Les principaux paramètres à prendre en considération dans le choix du type de barrage sont :

- ✓ **La topographie du site:**

La topographie consiste en premier lieu à vérifier si l'axe choisi permettrait le remplissage de la retenue en fonction des apports du bassin versant. En second lieu vérifier la possibilité d'implantation du barrage et de ces ouvrages annexes.

**✓ La morphologie de la vallée :**

La morphologie de la vallée joue un rôle très important dans le choix du site et du type de barrage à implanter. Bien entendu, l'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit précédé à l'amont par un élargissement de la vallée. Les vallées larges conviennent mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai, un site étroit conviendra mieux à un barrage poids et un autre plus étroit conviendra à une voûte lorsque les fondations le permettent.

**✓ Les conditions géologiques et géotechniques :**

La nature, la résistance, le pendage, la fracturation et la perméabilité des formations rencontrées dans le bassin versant, constituent un ensemble de facteurs permettant la détermination du site et du type de barrage à implanter.

- Les fondations rocheuses se prêtent à l'édification de tous les types des barrages.
- Les fondations graveleuses conviennent en général pour les barrages en terre ou en enrochement, mais il faut toujours attribuer des dispositifs d'étanchéité et de drainage afin de contrôler les fuites et les percolations (Risque de Renard), et les tassements différentiels.
- Les fondations argileuses impliquent directement le choix des barrages en terre avec des pentes de talus compatibles avec les caractéristiques mécaniques des formations en place.

**✓ Les risques sismiques :**

Les barrages situés dans des zones sismiques doivent être conçus avec des paramètres plus sévères, c'est à dire, avec des talus moins abrupts, des crêtes plus larges, des filtres et des drains plus importants.

Les plus résistants aux sollicitations dynamiques sont :

- Les barrages en enrochement à noyau central argileux, de par leur capacité à supporter de grandes déformations.
- Barrages poids: résistance aux sollicitations horizontales transversales est faible améliorée si les joints sont remplis de coulis de ciment et si ces joints présentent une surface supportant le cisaillement (joints avec des décrochements).
- Les barrages à contreforts: peu résistant pour les sollicitations transversales, mieux avec l'élargissement des âmes des contreforts à l'aval pour les rendre jointives.
- Les barrages en enrochement à masque: l'élément étanche est fragile.

**✓ Les matériaux de construction :**

La disponibilité des matériaux de construction sur le site ou à proximité joue un rôle important (souvent économique) dans le choix du site ainsi que du type de barrage. Le site doit être choisi dans la mesure des autres exigences citées, le plus proche possible des zones d'emprunt. et le type doit être choisi dans la mesure des types de matériaux disponibles si les autres conditions le permettent.

### ✓ Critères économiques :

Dans plusieurs cas, les considérations précédentes auront permis de retenir plusieurs types de barrage. Par exemple, des fondations rocheuses, la présence de matériaux meubles proches du site, un débit de crue important, conduiront à mettre en balance un barrage en BCR et un barrage en terre équipé d'un évacuateur de crue coûteux.

Il convient alors de poursuivre les études pour les deux types d'ouvrages, en veillant à affiner les estimations de coût au fur et à mesure de la progression des études. Dès que l'un des types de barrages paraît significativement plus économique, il est préférable de ne pas s'entêter sur l'autre option.

En se basant sur ces exigences on peut déterminer la variante qui convient au site et le type de barrage à implanter.

### III.3. les variantes à choisir :

Pour le cas présent, les conditions topographiques, géotechniques, et géologiques du site permettent d'envisager un barrage en matériaux locaux (disponibilité des matériaux sur le site), ce qui nous donne le choix de trois variantes :

**Remarque :** les barrages rigides (barrage poids ; en béton ou en BCR) sont écartés à raison de médiocre fondation (fondation mauvaise et hétérogène) du notre site.

#### ❖ Barrage en terre homogène :

C'est un barrage constitué d'un seul matériau qui garantit l'imperméabilité, accompagnée de dispositifs de drainage contre la filtration. Le remblai est constitué de matériaux du type argile, argile sablonneuse, limons, sable limoneux, sable... etc. Il peut y avoir d'autres matériaux qui ne contribuent pas dans la stabilité du barrage (enrochement et protection du talus et de la crête). Il est le type de barrage le plus facile à réaliser, mais il faudrait disposer d'un volume très important de matériaux argileux imperméable pour le réaliser. Le drain vertical placé au centre de la digue constitue une solution plus efficace pour intercepter les eaux d'infiltration, le drain est constitué de matériaux grossiers.

#### ❖ Barrage en terres hétérogènes ou zoné :

Souvent l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place, ou leurs caractéristiques géotechniques ne permettant pas d'envisager une digue homogène. Un massif en plusieurs zones dont chacune est constitué d'un matériau différent, suivant le rôle que doit jouer chaque zone, est la solution adoptée pour la réalisation de la digue.

La fonction d'étanchéité est assurée par un noyau étanche réaliser en matériaux argileux, qui pourra être placé en amont de la digue ou au centre de celle-ci.

Le noyau interne présente l'avantage d'être peu sensible aux agressions extérieures, il présente l'inconvénient d'être difficilement réparable en cas de fuite.

❖ **Barrage en enrochement avec masque:**

Quand la réalisation d'un noyau étanche peut présenter des difficultés telles que manque de matériaux convenables, difficulté de mise en œuvre ...etc. le barrage en enrochement avec masque en peut être la solution idéale pour la réalisation de la digue.

Le masque est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage. Il présente l'avantage de pouvoir être réparé aisément, il est par contre plus exposé à l'agression extérieure mécanique, thermique, abrasivité...etc.

**III.4.Objet de l'étude de variantes :**

L'étude de variantes consiste en la comparaison économique des variantes, proposées auparavant, susceptibles d'être projetées sur le site. Les digues proposées sont dimensionnées approximativement au niveau de notre étude comparative ; nous ne tiendrons pas compte du coût des ouvrages annexes ; car on suppose que le coût est le même pour toutes les variantes.

**III.5.Définition du profil général du barrage :**

**III.5.1.Hauteur de barrage :**

**III.5.1.1.Calcul de la revanche :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$R = 0.75 \cdot H + \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (III.01).$$

Avec : H : hauteur des vagues (m).

V : vitesse des vagues (m/s).

Pour la hauteur des vagues on utilise la formule **de Stevenson** :

$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0,26 \cdot \sqrt[4]{F} \dots\dots\dots (III.02).$$

Avec : F : largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et direction du barrage appelée Fetch (**F = 2.5 km**).

Alors : la revanche est égale : **R=1m**

Il existe aussi la formule simplifiée qui donne directement la revanche :

$$R = 1 + 0,3 \cdot \sqrt{F} \dots\dots\dots(III.03).$$

Alors : la revanche est égale : **R=1.5m**

Pour notre cas on opte une valeur de **2,0m** pour des raisons de sécurité.

**III.5.2.Calcul de la largeur en crête : [6]**

La largeur en crête peut être calculée par les différentes formules suivantes :

a) **Formule de KNAPPEN** :  $b_{cr} = 1,65 \sqrt{H_b} \dots\dots\dots (III.04).$

b) **Formule de F-PREECE** :  $b_{cr} = (1,1\sqrt{H_b}) + 1 \dots\dots\dots (III.05).$

c) **Formule simplifiée** :  $b_{cr} = 3,60\sqrt[3]{H_b} - 3$  ..... (III.06).

Avec :  $H_b$  : Hauteur du barrage (m).

$H_b = NNR - C_f + h_{dév} + R + t$  ..... (III.07).

On admet une valeur de  $t = 0,5m$  pour le tassement du barrage.

$H_b = 901 - 868.5 + 1.8 + 2 + 0.5 = 36.8m$   $H_b = 36.8m$

Tableau III.01 : les résultats de la largeur en crête.

Formule	$b_{cr}$ (m)
KNAPPEN	10.00
PREECE	7.67
SIMPLIFIEE	8.97
Moyenne	8.9

On opte pour une largeur en crête :  $b_{cr} = 9m$ .

**III.5.3. La longueur en crête :**

La longueur en crête est tirée à partir du plan de l'aménagement elle est égale à :  $L = 520m$ .

**III.5.4. Pentés des talus : [7]**

La pente des talus doit assurer la stabilité statique de ces talus. C'est-à-dire que les fruits de talus sont fixés par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. Compte tenu de la nature des matériaux, et on vérifie par la suite par calcul de stabilité.

Tableau III.02 : valeurs indicatives des fruits de talus.

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H < 5	- Homogène	2,5	2,0
	- A zones	2,0	2,0
5 < H < 10	- Homogène granulométrie étendue	2,0	2,0
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2,0	2,5
10 < H < 20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3,0	2,5
	- A zones	3,0	3,0
H ≥ 20	- Homogène granulométrie étendue	3,0	2,5

	- A zones	3,0	3,0
--	-----------	-----	-----

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

- Parement amont  $m_1 = 3,0$ .
- Parement aval  $m_2 = 2,5$ .

Ce qui va être vérifié après calcul de la stabilité.

### III.5.5. Les bermes :

Souvent on prévoit des bermes, qui auront un rôle dans l'optimisation des fruits de talus et d'autres objectifs tels que l'accès pour la réparation des talus et l'augmentation de stabilité. Les bermes sont de 2 à 4 m de largeur en cas de construction de route jusqu'à 6 m. elles ont des rigoles latérales dans le but de capture et d'évacuation des eaux des précipitations.

#### III.5.5.1. Talus amont :

Les bermes sont projetées au niveau du parement amont, afin de permettre d'effectuer les contrôles, les réparations et augmenter la stabilité des talus, pour notre cas nous avons proposé deux bermes de largeur 3m chacune aux côtes 883.5 m NGA, 898.5 m NGA.

#### III.5.5.2. Talus aval :

Les bermes au talus aval servent à l'évacuation des eaux de ruissellement, donc nous avons proposé deux bermes de largeur 3m aux mêmes côtes successivement.

### III.5.6.Revêtement de la crête et des talus de la digue :

#### III.5.6.1. Talus amont :

Le talus en amont sera protégé contre l'érosion causée par l'action des vagues en plaçant une couche de **rip-rap** à une épaisseur « e » donnée par les deux méthodes ci-après. Le matériau du riprap proviendra des excavations. Il sera, éventuellement, supplémenté par des matériaux venant de la carrière.

##### a) Première méthode :

les ingénieurs d'US Army Corps of Engineers[6] utilisent un tableau (tableau III.03) qui donne l'épaisseur minimale de la couche d'enrochements et les dimensions minimales des blocs de roche en fonction de la hauteur de la vague déterminée à partir de l'abaque donné dans la figure suivante .

D'après la figure et le tableau ci-après on trouve que :

Hauteur des vagues :  $0.3 < H < 0.62 \Rightarrow e = 0.40 \text{ m}$  et  $D_{50}^{\min} = 0.25 \text{ m}$

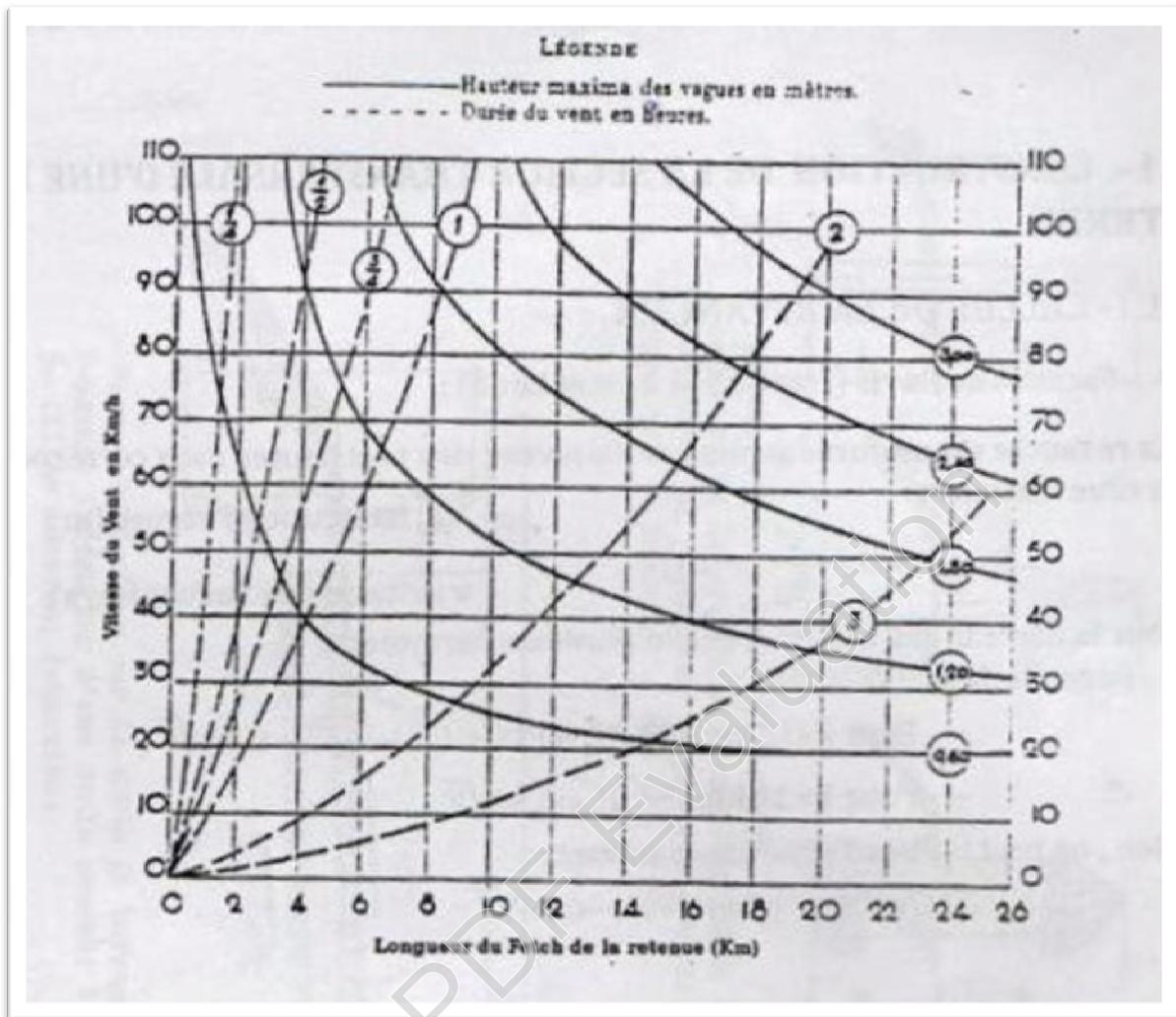


Figure III.01 : Abaque de détermination de la hauteur maximale des vagues, d’après l’US Army Corps of Engineers.

Tableau III.03: Epaisseur de l’enrochement et  $D_{50}$  minimal des pierres en fonction de la hauteur de la vague.

Hauteur des vagues (m)	Epaisseur minimale de la couche d’enrochement (m)	$D_{50}^{\min}$ (m)
0 – 0.30	0.30	0.20
<b>0.30 – 0.62</b>	<b>0.40</b>	<b>0.25</b>
0.62 – 1.20	0.45	0.30
1.20 – 1.80	0.55	0.40
1.80 – 2.40	0.70	0.45
2.40 – 3.00	0.80	0.55

**b) deuxième méthode :**

Selon la référence bibliographique [6], on peut établir la procédure suivante, on considérant dans le calcul le poids du bloc de la roche nécessaire pour supporter les forces appliquées produites par la pression statique et dynamique de la vague, ainsi que l'action érosive des vagues dans le calcul de la stabilité dont les facteurs sont le poids spécifique de la roche, la hauteur de la vague et le talus à protéger.

La formule recommandée pour le calcul du poids maximal des roches isolées est :

$$Q = \frac{0.35 \cdot \gamma_p \cdot h^3}{\left(\frac{\gamma_p}{\gamma} - 1\right)^3 \sqrt{1+m^3}} \dots\dots\dots (III.08).$$

Avec : Q : poids maximal des pierres.

$\gamma_p$  : poids volumique de la pierre (t/m<sup>3</sup>).

h : hauteur de la vague (m).

$\gamma$  : poids volumique de l'eau (t/m<sup>3</sup>).

m : talus à protéger.

**AN :** Q=0.139 tonnes

Le diamètre maximal exprimé en mètre du bloc à placer dans le talus porté à une sphère de diamètre équivalent « D<sub>sph</sub> » est calculé par la formule suivante:

$$D_{sph} = \sqrt[3]{\frac{Q}{0.524 \gamma_p}} \dots\dots\dots (III.09).$$

**AN :** D<sub>sph</sub>=0.47 m

Le 50 % des blocs doit avoir une taille égale ou supérieure à D<sub>50</sub>= K\*D<sub>sph</sub> ou K est un coefficient qui dépend de la catégorie de l'ouvrage à partir du tableau III.04

Tableau III.04 : valeurs du coefficient K en fonction de la catégorie de l'ouvrage.

Coefficient	IV	III	II	I
K	0.50	0.55	0.60	0.65

**Note :** En obtenant une valeur D<sub>50</sub> inférieure à 0,2585 m.

**AN :** **D<sub>50</sub>= 0.28m**

L'épaisseur du revêtement est déterminée selon la formule suivante:

$$e = D_{50} (2 - 2.5) \dots\dots\dots (III.10).$$

**AN :** **e=0.7m.**

Après les résultats de ces deux méthodes on opte pour une épaisseur d'enrochement  $e=1m$  et un diamètre de 50% des blocs  $D_{50}=0.30m$

**III.5.6.2. Talus aval:**

On doit concevoir le revêtement pour éviter la possible érosion à cause des pluies et s'il existe un niveau permanent d'eau.

En ce qui concerne le talus aval il n'y a pas de méthodologies bien établies, étant d'ailleurs le choix de la solution une question de jugement du Consultant tenant compte de l'importance de l'ouvrage, du régime des pluies et des conditions locales.

Pour sa protection, on utilise l'enrochement d'épaisseur **(0,6m)**.

**III.5.6.3. La crête :**

Pour assurer une bonne stabilité, conserver contre la dégradation et permettre la bonne circulation des engins on doit réaliser un bon revêtement de la crête ; en utilisant une couche de produits asphaltiques épaisse de **1m**.

**III.5.7. Etanchéité du barrage:[7]**

**III.5.7.1. le noyau :**

Les barrages avec noyaux ou diaphragmes sont construits quand il n'existe pas de sols argileux peu perméables. C'est le cas de la deuxième variante où le remblai n'est pas suffisamment imperméable, nous allons équiper le barrage d'un noyau argileux compacté, disposé verticalement au centre du barrage. Vers le sommet, le noyau doit être monté au-dessus du niveau des plus hautes eaux (plus de 0.5 m). Il doit être protégé à sa partie supérieure par une couche de sable ou de préférence, en traitant le sommet du barrage en chemin avec une chaussée enrobé en bitumineux. Latéralement, nous disposons de part et d'autre du noyau un drain filtre.

**a) Dimensionnement du noyau :**

• **La hauteur :**

La hauteur du noyau est déterminée par la formule suivante :

$$H_n = H_b - 1 \dots\dots\dots (III.11).$$

Avec :  $H_b$  : hauteur du barrage (m).

$H_n$  : hauteur du noyau (m).

**AN :  $H_n = 36.8 - 1 = 35.8m$   $H_n=35.8m$**

• **La largeur en crête du noyau :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$L_{n;s} = \frac{1}{6} \cdot H_b \dots\dots\dots (III.12).$$

Donc on aura :  $L_{n;s} = \frac{1}{6} \cdot 36,8 = 6,13m$   **$L_{n;s}=7m$**

• **Les fruits des talus du noyau :**

Ils doivent être d'une telle sorte à vérifier la condition suivante :

$$I = \frac{\Delta H}{b_{moy}} \leq I_{adm} \dots\dots\dots (III.13).$$

Avec :  $I_{adm}$ : gradient admissible dépendant de la classe du barrage et du type de matériau.

$b_{moy}$ : largeur moyenne du noyau, donnée par la formule(III.14).

$\Delta H$ : la charge d'eau, donnée par la formule (III.15).

$$b_m = \frac{L_{n,s} + L_b}{2} \dots\dots\dots (III.14).$$

Avec :  $L_{n,s}$  : largeur en crête du noyau.

$L_b$  : largeur en base du noyau.

$$\Delta H = H_1 - H_2 \dots\dots\dots (III.15).$$

Avec :  $H_1$ : Hauteur d'eau à l'amont correspond au NPHE, ( $H_1=34.3$  m)

$H_2$ : Hauteur d'eau à l'aval ( $H_2=0$ m).

Pour notre cas :  $I_{adm}=1.5$

On aura :  $\frac{\Delta H}{b_{moy}} \leq I_{adm} \Leftrightarrow \frac{34.3}{b_{moy}} \leq 1.5 \Rightarrow b_{moy} > \frac{34.3}{1.5} = 22.87m$   **$b_{moy}=23$  m**

À partir de la formule (III.14) on aura :

$$L_b = 2.b_{moy} - L_{n,s} \dots\dots\dots (III.16).$$

**AN :  $L_b = 2.23 - 7 = 39m$   $L_b=39m$**

De la formule ci-après on détermine les fruits de talus :

$$L_b = 2.m.H_n + L_{n,s} \dots\dots\dots (III.17).$$

On aura :  $m = \frac{L_b - L_{n,s}}{2.H_n} = \frac{39 - 7}{2.35,8} = 0,45$   **$m=0.45$**

• **La cote en crête du noyau :**

$$NCN = C_{fond} + H_n = 868.5 + 35.8 = 904.3 \text{ m NGA}$$

**III.5.7.2. Les drains : [6]**

L'objectif fondamental de ses constructions est de contrôler l'évacuation du flux de filtration et réduire le volume des matériaux saturés du barrage, en augmentant ainsi la stabilité de l'ouvrage. Les conditions des drainages sont :

- ✓ Avoir une capacité suffisante pour évacuer l'eau de sorte qu'il ne soit pas colmaté.

- ✓ Ne pas permettre l'effet de renard; c'est pourquoi, on doit avoir une ou plusieurs couches filtrantes.
- ✓ On doit contrôler son fonctionnement.

**a) Dimensionnement du prisme de drainage (drain prisme) : [6]**

Les prismes sont les éléments les plus utilisés pour le drainage. Dans sa partie centrale, ils sont construits en pierres et on place un filtre à l'envers au niveau de la zone de contact du remblai et sa fondation. Sa situation est particulière dans la partie du remblai qui passe par la voie de l'oued. Sa hauteur minimale est fonction du niveau d'eau dans le talus en aval et sa stabilité dépend des critères du concepteur. On peut calculer sa hauteur selon  $(0.15 - 0.2) \cdot H$  où H est la hauteur du barrage.

- **Hauteur :**

$$H_p = (0,15 \div 0,2) H_b \dots\dots\dots (III.18)$$

Avec :  $H_b$  : hauteur du barrage (36.8m).

On prend  $H_p = 0.15 H_b$

**$H_p = 5.5m$**

- **Largeur en crête :**

$$b_p = (1/3 \div 1/4) H_p \dots\dots\dots (III.19).$$

$b_p = 5.5/3 = 2m$

**$b_p = 2m$**

- **fruits de talus**

$m_1 = (1 \div 1,75)$

$m_2 = (1,5 \div 2,5)$

Donc on prend :  $m_2 = 2,5$

$m_1 = 1,75$

**b) Dimensionnement du drain tapis : [6]**

C'est le type de drainage le plus efficace pour la digue, car d'une part, on utilise moins de matériaux saturés, et d'autre part, il contrôle les filtrations de la retenue. Son inconvénient c'est qu'il existe une possibilité d'obstruction qui peut s'avérer très dangereuse. La sécurité et le contrôle dans sa construction reste de rigueur. Dans le dessin, on doit utiliser un facteur de sécurité plus élevé. Pour son dimensionnement on recommande d'utiliser des épaisseurs minimales de  $e = 0.80 m$ ; par rapport aux matériaux à employer et du remblai on peut le construire avec une ou plusieurs couches de filtre. La longueur est déterminée par la formule suivante :

$$L_d = \frac{L_b}{3} \dots\dots\dots (III.20).$$

Avec :  $L_b$  : Longueur transversale du barrage ( $L_b = 214m$ ).

$$\text{Donc : } L_d = \frac{214}{3} = 72m \quad L_d = 72m$$

### c) Dimensionnement du drain vertical : [6]

Le drain vertical placé au centre du barrage constitue une solution pour la variante I (digue homogène avec drain vertical).

La largeur minimale du rideau constituant le drain est de 1m, nous prenons une largeur de 2.0 m.

L'eau de percolation interceptée par ce drain est évacuée par un drain tapis filtrant, pour drainer les fondations, en assurant le lien entre le drain vertical et le drain tapis filtrant.

Le niveau du drain vertical est arasé au niveau des plus hautes eaux à raison d'arriver aux points de plus hautes saturations de remblai.

$$N_{dr} = NPHE = 902.8m \text{ NGA}$$

### III.5.7.3. Les filtres: [6]

La nécessité de placer des filtres entre des sols de granulométrie très différente est une pratique normale dans l'ingénierie. Les particules plus fines que le sol peut être entraînées par les forces de filtration est produit le phénomène de renard. Pour éviter ce phénomène, on protège le sol soumis au flux, dans ce cas, c'est la digue, avec des sols qui possèdent une granulométrie plus grossière pour éviter l'entraînement par les forces de filtration.

La conception des filtres, doit obéir aux conditions suivantes :

1. Ils doivent posséder une perméabilité plus élevée que le matériau à protéger, afin de servir de drain. Il est accepté dans la pratique que le matériau du filtre ait une perméabilité 100 fois plus élevé que celle du matériau à protéger.
2. Ils doivent être suffisamment fins pour éviter le phénomène de renard.
3. Le filtre ne doit pas être ni colmaté ni dégradé par entraînement de ses éléments.
4. Le matériau ne doit pas subir de modifications ou de dégradation dans le temps.
5. Ils ne doivent pas posséder plus de 5% de particules plus petites que le tamis 200 (0.074 mm) et ces dernières ne doivent pas être en plastique.
6. Pour éviter la dégradation du filtre, on accepte les particules de 5 cm (2 pouces) comme taille maximale.

Les critères de conception des filtres les plus communément utilisés sont ceux qui sont établis par BERTRAM (Université de Harvard), basés sur les conditions de TERZHAGHI, perfectionnés en suite par les travaux du Corps d'Ingénieurs de l'Armée et le Bureau de Réclamations des Etats-Unis et enfin enrichis par les travaux de SHERARD (1984).

**Remarque :** Les matériaux alluviaux peuvent être utilisés comme matériau pour le filtre avec la condition qu'ils remplissent la granulométrie du filtre proposé préalablement vérifié au moyen des calculs correspondants.

A partir des caractéristiques des alluvions avec des granulométries très variables et la granulométrie des filtres calculés, il est normal et nécessaire d'effectuer un processus de classification de ces matériaux avant de les utiliser comme filtres pour le barrage.

**Critères de conception : [6]**

$$\frac{D_{15}^{filtre}}{d_{85}^{sol}} \leq 4 \div 5 \text{ Condition de l'entraînement de particules fines par le phénomène de renard.}$$

$$\frac{D_{15}^{filtre}}{d_{15}^{sol}} > 4 \div 5 \text{ Condition de perméabilité.}$$

$$\frac{D_{50}^{filtre}}{d_{50}^{sol}} < 25 \text{ Parallélisme des courbes granulométriques.}$$

$$\frac{D_{60}^{filtre}}{D_{10}^{filtre}} \leq 20 \text{ Coefficient d'uniformité du filtre.}$$

La perméabilité du matériau de filtre peut raisonnablement être estimée par l'expression:

$$K = 0,35 (D_{15})^2 \dots\dots\dots (III.21).$$

Où:  $D_{15}$ , en mm

K obtenue en cm/s.

Les épaisseurs minimales recommandées pour les filtres sont:

- Couches horizontales de sables ----- **0,3m**
  - Couches horizontales de graviers ----- **0,60 m**
  - Couches verticales ou inclinées ----- **2.00m**

**III.6. Calcul du volume des différents matériaux :**

Dans cette présente étude nous allons calculer le volume de différents matériaux pour la construction du barrage pour les différentes variantes proposées. Et en se basant sur ces volumes ainsi que les prix unitaires adoptés par l'agence nationale des barrages et des transferts, nous déterminerons les coûts de chaque variante ce qui nous permettra de faire notre choix définitif.

Le coût du barrage est déterminé de la manière suivante :

On trace le profil longitudinal du barrage, on choisit des sections en travers du barrage et sur chaque coupe, on détermine la hauteur de la digue à l'aide de la formule suivante :

$$H_{bi} = N_{cr} - N_{pi} \dots\dots\dots (III.22).$$

Avec :  $H_{bi}$  : hauteur du barrage à la coupe « i ».

$N_{cr}$  : Côte de la crête du barrage.

$N_{pi}$  : Côte du pied du barrage dans la section « i ».

L'aire de la section transversale du barrage pour la coupe "i" est déterminée ainsi :

$$S_i = \frac{b_{cr} + B_{pi}}{2} * H_{bi} \dots\dots\dots (III.23).$$

Avec :  $b_{cr}$  : Largeur en crête du barrage.

$B_{pi}$  : Largeur du pied du barrage au droit de la section « i »

$$B_{pi} = b_{cr} + (m_1 + m_2) * H_{bi}$$

Avec :  $m_1$  et  $m_2$  ; fruits de talus amont et aval respectivement.

Le volume total du barrage s'obtient par la somme des volumes partiels de ses sections.

$$V_b = \sum_{i=1}^n V_i \dots\dots\dots (III.24).$$

Avec :  $V_i = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} * d \dots\dots\dots (III.25).$

Avec :  $V_i$  : volume de la digue à la coupe « i »

$S_i$  : surface de la digue à la coupe « i »

$S_{i+1}$  : surface de la digue à la coupe « i+1 »

$d$  : Distance horizontale séparant deux sections successives  $S_i$  et  $S_{i+1}$

**III.6.1. Barrage homogène en argile avec drain vertical :**

C'est une variante très économique et très étanche mais seulement, il faudrait disposer de sols fins de qualité satisfaisante et en quantité suffisante de l'ordre de **1,5 à 2** fois le volume du remblai.

**III.6.1.1. les recharges (argile) :**

Tableau III.05 : volumes des recharges (argile).

N°	$S_i$ (m <sup>2</sup> )	$S_{moy}$ (m <sup>2</sup> )	$d_i$ (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	44.775	94.51	4104.1
1	89.55	236.99875	46.97	10793.646
2	384.4475	681.5975	88.61	58894.034
3	978.7475	1483.3475	88.38	128605.94
4	1987.9475	3021.65375	109.2588	321514.86
5	4055.36	2188.4537	87.6	189008.28
6	321.5447	160.77235	60.37	9397.93
7	0			
Volume Total				<b>722318.79</b>

**III.6.1.2. protection rip-rap :**

Le tableau III.06 nous résume le volume du rip-rap utilisé pour la protection des talus.

Tableau III.06 : volume des rip-rap.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	8.54	94.51	807.1154
1	17.08	32.145	46.97	1509.8506
2	47.21	63.93	88.61	5664.8373
3	80.65	99.76	88.38	8816.9390
4	118.87	166.16	109.2588	18154.82639
5	213.45	127.94	87.6	11207.74591
6	42.43	21.21	60.37	1280.74955
7	0			
Volume Total				<b>47442.0642</b>

**III.6.1.3. filtres et drains :**

Le tableau suivant récapitule le volume des sables utilisés pour les filtres et les drains.

**Volume des graviers : d'après la coupe 5-5 ; V=14617.78m<sup>3</sup>.**

Tableau III.07: volume des sables.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	1.35	94.51	127.5885
1	2.7	7.2	46.97	338.184
2	11.7	16.95	88.61	1501.9395
3	22.2	28.2	88.38	2492.316
4	34.2	42.82	109.2588	8627.40
5	51.45	30.825	87.6	2700.27
6	10.2	5.1	60.37	307.887
7	0			
Volume Total				<b>16095.585</b>

**III.6.2. Barrage zoné à noyau d'argile :**

Le principal avantage de cette variante est que tous les matériaux nécessaires à sa confection sont disponibles à proximité du site du barrage ; cela permet d'une part de réduire significativement les dépenses liées aux engins de transport pour l'acheminement des matériaux, et d'autre part, la proximité de la zone d'emprunt permet de gagner énormément en temps en écourtant le délai de réalisation, on dira que la variante est très économique et pratique. Cependant la réalisation délicate des zones de transition et du filtre constitue une difficulté majeure dans la conception de l'ouvrage.

**III.6.2.1. le Noyau :**

Il est composé par une argile limoneuse protégé par un filtre des deux côtés. Le tableau suivant nous donne le volume de l'argile nécessaire pour sa réalisation.

Tableau III.08 : volume du noyau.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0,00	14.00	94.51	1323.16
1	28.00	66.01	46.97	3100.50
2	104.02	168.84	88.61	14960.93
3	233.66	334.74	88.38	29584.34
4	435.82	631.579	109.2588	69005.56
5	827.338	458.22	87.6	40140.01
6	89.10	44.55	60.37	2689.48
7	0,00			
Volume Total				<b>160803.98</b>

**III.6.2.2. les recharges :**

Elles sont constituées des graves (graviers sablo grossiers).

Le tableau suivant montre le volume des recharges.

Tableau III.09 : volumes des recharges.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	20.435	94.51	1931.31
1	40.87	129.245	46.97	6070.64
2	217.62	426.23	88.61	37768.24
3	634.84	1005.30	88.38	88848.414
4	1375.7575	2160.86	109.2588	236092.97
5	2945.97	1561.195	87.6	136760.68
6	176.42	88.21	60.37	5325.24
7	0			
Volume Total				<b>512797.494</b>

**III.6.2.3. Protection en rip-rap :**

Le tableau suivant récapitule le volume des rip-rap nécessaire à la protection des talus.

Tableau III.10 : volume du rip-rap.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	8.54	94.51	807.1154
1	17.08	32.145	46.97	1509.8506
2	47.21	63.93	88.61	5664.8373
3	80.65	99.76	88.38	8816.9390
4	118.87	166.16	109.2588	18154.82639
5	213.45	127.94	87.6	11207.74591
6	42.43	21.21	60.37	1280.74955
7	0			
Volume Total				<b>47442.0642</b>

**III.6.2.4. filtres et drains :**

Le tableau ci-après récapitule le volume des sables utilisés pour les filtres et les drains.

**Volume des graviers : le volume est V=14617.78m<sup>3</sup>**

Tableau III.11 : volume des sables.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	1.8	94.51	170.12
1	3.6	9.6	46.97	450.91
2	15.6	22.6	88.61	2002.586
3	29.6	43.55	88.38	3848.95
4	57.5	63.05	109.2588	6888.77
5	68.6	41.1	87.6	3600.36
6	13.6	6.8	60.37	410.52
7	0			
Volume Total				<b>17372.216</b>

**III.6.3. Barrage en enrochement avec masque en béton :**

C'est un ouvrage intéressant et très stable car la résistance à la poussée de l'eau est assurée par le poids propre du massif, il supporte assez bien les tassements et sa fondation n'est soumise qu'à des pressions modérées; cependant c'est un ouvrage dont la réalisation est généralement coûteuse suite aux différentes opérations de désagrégation mécaniques des roches préexistantes ainsi que de leur mise en place pour le remblai.

L'épaisseur de béton est calculée par la formule suivant :

$$e = 0.3 + 0.001.H_b \dots\dots\dots (III.26).$$

Avec : H<sub>b</sub> : hauteur du barrage ; égale 36.8 m

AN:  $e = 0.3 + 0.001 * 36.8 = 0.34m$

on prend: **e=0.40m**

**III.6.3.1. recharges (enrochements):**

Le tableau III.12 : donne le volume des enrochements nécessaires à la réalisation de la digue.

Tableau III.12 : volume des recharges (enrochements).

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	44.775	94.51	4231.68
1	89.55	236.99875	46.97	11131.83
2	384.4475	681.5975	88.61	60396.35
3	978.7475	1483.3475	88.38	131098.25
4	1987.9475	3021.65375	109.2588	330142.26
5	4055.36	2188.4537	87.6	191708.54
6	321.5447	160.77235	60.37	9705.83
7	0			
Volume Total				<b>772597.34</b>

**III.6.3.2. masque en béton :**

Le tableau suivant nous donne le volume du béton qui sera utilisé pour la réalisation du masque.

Tableau III.13 : volume du béton.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	2.72	94.51	257.07
1	5.44	9.235	46.97	433.77
2	13.03	17.45	88.61	1546.24
3	21.88	26.94	88.38	2380.96
4	32.00	39.275	109.2588	4291.139
5	46.55	29.155	87.6	2553.978
6	11.76	5.88	60.37	354.98
7	0			
Volume Total				<b>11818.137</b>

Tableau III.14 : volume des graviers.

N°	Si (m <sup>2</sup> )	S <sub>moy</sub> (m <sup>2</sup> )	di (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
0	0	3.775	94.51	356.77
1	7.55		46.97	602.15
2	18.09	24.23	88.61	2147.02
3	30.38	37.415	88.38	3306.74
4	44.45	54.54	109.2588	5958.97
5	64.64	40.48	87.6	3546.048
6	16.33	8.165	60.37	492.92
7	0			
Volume Total				<b>16410.618</b>

### III.7. Estimation du coût des variantes :

Le tableau suivant donne le coût des différentes variantes étudiées.

Tableau III.15 : les coûts des différentes variantes étudiées.

Variante	Matériaux	Quantité (m <sup>3</sup> )	Prix unit (DA)	Coût (millionDA)	Totale (millionDA)
<b>Homogène</b>	Recharge (argile)	722318.79	400	298.93	<b>373.74</b>
	Enrochement (rip-rap)	47442.0642	800	37.95	
	Filtres et drains	30713.365	1200	36.86	
<b>Zoné</b>	Noyau	160803.98	500	74.40	<b>322.86</b>
	Recharge (graves)	512797.494	400	172.12	
	Enrochement (rip-rap)	47442.0642	800	37.95	
	Filtres et drain	31990	1200	38.39	
<b>Avec masque</b>	Recharge (enrochement)	772597.34	800	618.0778	<b>779.86</b>
	Filtres et drain	16410.618	1200	19.69	
	masque en béton	11818.137	12000	141.82	

**Conclusion :**

On se référant au tableau cité ultérieurement on voit clairement que nous ne pouvons que nous orienter vers la deuxième variante (barrage zoné a noyau d'argile) car elle est la plus économique et la plus compatible avec notre site suivant de disponibilité des matériaux de construction de la digue en qualité et en quantité suffisante .

La quantité des matériaux de construction ne nous permet pas de construire un barrage homogène en argile. Aussi même pour la troisième variante (l'insuffisance des matériaux disponibles).

Suivant toutes ces considérations économiques soient elles ou techniques on opte pour un barrage zoné à noyau argileux.

# **Chapitre V : Organisation du chantier et sécurité de travail**

Expert PDF Evaluation

## **Introduction :**

L'organisation de chantier consiste à déterminer et à coordonner la mise en œuvre des moyens nécessaires pour accomplir les travaux d'exécution dans des meilleures conditions que possible. Elle consiste aussi à utiliser la main d'œuvre d'une façon économique, ainsi que les autres moyens mis en œuvre pour gérer le chantier.

Une reconnaissance meilleure du lieu de chantier aide énormément à dresser un planning technologique des engins et leur utilisation rationnelle dans les diverses opérations, afin de pouvoir répondre aux conditions d'espace et temps dictés par le marché.

Pour ce la chaque année se produisent dans le monde des millions d'accidents du travail. Certains sont mortels, d'autres ont pour suite une incapacité permanente, totale ou partielle. La lutte contre les accidents est essentiellement une œuvre de solidarité humaine, réunissant tous ceux qui, du manœuvre au chef de l'entreprise, participent à la production. Convaincre, enseigner, exploiter intelligemment ce bon sens qui est la chose du monde la mieux protégée, voilà en fait tout le secret.

### **V.1.Organisation du chantier :**

Une bonne organisation de chantier intervient grossièrement dans la diminution du prix de l'ouvrage pour qu'il ne soit pas onéreux.

#### **V.1.1. Rôles et responsabilités des intervenants sur chantier :**

Avant d'entrer dans le vif du sujet relatif au chantier de réalisation d'un barrage, il nous paraît indispensable de rappeler les rôles des différentes personnes amenées à intervenir dans l'acte de construction.

##### **V.1.1.1.Maître de l'ouvrage :**

Appelé couramment le client, c'est une personne physique ou morale qui définit la commande. Son rôle est de conclure le marché, assurer le financement, réceptionner l'ouvrage et procéder au paiement.

##### **V.1.1.2. Maître d'œuvre :**

C'est le conseiller artistique et technique que le maître de l'ouvrage s'adjoint pour réaliser toutes les tâches ou quelles que unes. Il peut être une personne physique ou morale chargée de recevoir l'ouvrage, d'établir le dossier de consultation des entreprises, d'assister le maître d'ouvrage dans le dépouillement des offres, de contrôler l'exécution des travaux et de proposer leur réception et leur règlement, après en avoir établi le décompte.

##### **V.1.1.3. L'entrepreneur :**

Personne physique (entrepreneur personnel) ou morale(société), titulaire d'un marché de travaux conclu avec le maître d'ouvrage, chargée de l'exécution des travaux et, parfois, de la conception détaillée des ouvrages. L'entrepreneur est responsable du chantier et de l'ouvrage en cours de construction tant que celui-ci n'a pas été réceptionné.

### **V.1.2. Installations du chantier :**

L'installation générale d'un chantier nécessite un terrain en dégagant de larges espaces autour du site du chantier, afin de ménager les diverses aires de stockages et des pistes de circulation d'engins, suivie de leur occupation progressive par les locaux, engins, poste fixes de travail. On peut distinguer les installations suivantes :

#### **V.1.2.1. Installations destinées au personnel :**

Ce sont généralement les dortoirs, vestiaires, réfectoires, installations sanitaires, infirmerie, salles de repos et les locaux administratifs

#### **V.1.2.2. Installations destinées au stockage des matériaux :**

Les matériaux sont : les agrégats, le ciment, les aciers et l'eau.

#### **V.1.2.3. Installations destinées à la réparation des engins :**

Les grosses réparations ne se font généralement pas sur le chantier lui-même, mais il importe de disposer d'un atelier suffisamment bien équipé pour assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

#### **V.1.2.4. Installation destinée pour la préfabrication :**

Ce sont généralement des hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage tels que les poutres, dalles, conduites, murettes ...etc.

### **V.1.3. Ordre d'exécution des travaux :**

Les grandes étapes de déroulement de notre projet sont les suivantes :

- ✓ Installation du chantier.
- ✓ Implantation des axes des différents ouvrages.
- ✓ Coupure et dérivation de l'oued.
- ✓ les travaux dans la retenue proprement dit et en même temps les travaux dans l'évacuateur de crues.
- ✓ Coupure finale et mise en eau.

### **V.1.4. Planification :**

#### **V.1.4.1. Définition :**

C'est un moyen qui permet de chercher constamment la meilleure façon d'utiliser avec économie la main d'œuvre et les autres moyens de mise en œuvre pour assurer l'efficacité de l'action à entreprendre, son objectif est de s'assurer que les travaux se font dans un ordre correct à temps, aussi économique que possible.

**V.1.4.2. Procédures de travail de planification :**

Le travail de planification nécessite les étapes suivantes :

- ✓ Collection des informations concernant les plans d'architecture, le cahier de charges, les normes de travail et de matériels, et le prix des matériaux.
- ✓ Les compositions du projet : on décompose le projet en opérations soit en éléments de construction (poteaux, poutres, ... etc.), soit suivant la ressource à utiliser (terrassements, coulage, ... etc.).
- ✓ Prévoir la relation entre opérations ; il existe deux types de relations :
  - Relation logique : exemple ; on ne peut pas faire le bétonnage avant que l'opération de coffrage soit terminée.
  - Relation référentielle : exemple ; on a 2 poteaux à réaliser on peut les réaliser un après l'autre si on a une seule équipe, mais de préférence on opte pour la construction des 2 poteaux au même temps si on peut disposer de 2 équipes.
- ✓ Attribution des durées : temps de réalisation de chaque opération par la formule suivante :

$$T = \frac{Q.R}{N} \dots\dots\dots (V.1).$$

Avec : T : Temps de travail.

Q : Quantité de travail.

N : Nombre d'équipe.

R : Rendement.

- ✓ Conception du réseau.

**V.1.4.3. Techniques de la planification :**

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

- ✓ Méthodes basées sur le réseau.
- ✓ Méthodes basées sur le graphique.

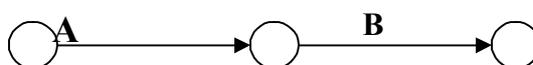
**Remarque :** le graphique ne peut se faire sans le réseau.

**V.1.4.3.1. méthodes basées sur le réseau :****a) Définition du réseau :**

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et leurs durées de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

**➤ Réseau à flèches :**

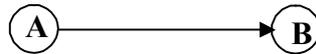
L'opération est représentée par une flèche et la relation entre les opérations par des nœuds.



L'opération **A** précède l'opération **B**

➤ **Réseau à nœuds :**

L'opération est représentée par un nœud et la relation entre les opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

**b) Différentes méthodes basées sur le réseau :**

➤ **Méthode C.P.M (méthode du chemin critique) :**

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

**1ère phase:** l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.

**2ème phase:** analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour par jour, selon l'unité de temps retenue.

**3ème phase :** adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

➤ **Méthode P.E.R.T (Program Evaluation and Review Technical):**

C'est-à-dire technique d'ordonnancement des tâches et contrôle des programmes, c'est une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur chronologie et leur dépendance concourent toutes à l'obtention d'un produit fini.

**V.1.4.3.2. Méthodes basées sur le graphique :**

**a) Méthode linéaire (ligne of balance technic) :**

Cette méthode est destinée à la planification des projets de construction dont les travaux sont répétitifs.

**b) Méthode à barres :**

Cette technique consiste à déterminer deux réseaux et un diagramme à barres (Plan de travail).

**V.1.4.4. Choix de la méthode de calcul :**

Le choix de la méthode de calcul repose essentiellement sur le type d'ouvrage à construire. Il est préférable dans le cas où les opérations se suivent comme dans notre cas d'opter pour la méthode C.P.M.

**V.1.4.5. Les paramètres de la méthode C.P.M :**

Les paramètres indispensables dans l'exécution de cette méthode sont les suivants :

<b>DCP</b>	<b>TR</b>
<b>DFP</b>	<b>DCPP</b>
<b>DFPP</b>	<b>MT</b>

Avec : TR : temps de réalisation.  
 DCP : date de commencement au plus tôt.  
 DCPP : date de commencement au plus tard.  
 DFP : date de finition au plus tôt.  
 DFPP : date de finition au plus tard.  
 MT : marge totale.

$$\text{Et : } \begin{cases} DFP = DCP + TR \\ DCPP = DFPP - TR \\ MT = DFPP - DFP \\ DCP_i + TR = DFP_i \\ DFP_i = DCP_{i+1} \end{cases}$$

#### V.1.4.5.1. Chemin critique (C.C) :

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0). Donc pour retrouver un chemin critique il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$\text{C.C} \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR_{C.C} = D.T.P \end{cases}$$

#### V.1.4.6. Les compositions du projet :

Le tableau ci-après nous donne les différentes opérations qui composent le projet ainsi que leur temps de réalisation

Tableau V.01 : Symboles des opérations.

Travaux	Opération	Durée (mois)
Installation du chantier	A	7
Fouille galerie sous remblai	B	2
Fouille en rive droite	C	4
fouille en rive gauche	D	3
Recharge du barrage et du noyau	E	6
Bétonnage galerie sous remblai	F	3
Construction de l' E- C(Béton)	G	5
Béton de tour de prise et la cabine	H	6
Voile d'injection de l'E-C	I	3
Matériel électromécanique	J	3
Appareillage d'auscultation	K	2
Mise en eau du barrage	L	5

**V.1.4.7. Détermination des chemins critiques :**

Pour sa détermination on applique les méthodes suivantes :

**V.1.4.7.1. Méthode de réseau à nœuds :**

Elle consiste à faire le calcul Aller et Retour en utilisant les paramètres de la grille suivante :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Le réseau à nœud est représenté dans la planche des planning des travaux.

**V.1.4.7.2. Méthode réseau à flèches :**

Elle s'applique sur le réseau à flèche et consiste à faire le calcul Aller et Retour.

**V.1.4.7.3. Méthode du tableau :**

Elle s'applique sur un réseau à flèche.

Tableau V.02 : détermination du chemin critique par la méthode du tableau.

Opération	TR	D.P		D.F.P		MT
		D.C.P	D.F.P	D.C.P.P	D.F.P.P	
1 – 2	7	0	7	2	7	0
2 – 3	2	7	9	7	9	0
2 – 4	3	7	10	10	13	3
2 – 5	4	7	11	9	13	2
3 – 8	3	9	12	9	12	0
4 – 6	6	10	16	13	19	3
5 – 7	5	11	16	13	18	2
6 – 10	2	16	18	19	21	3
7 – 10	3	16	19	18	21	2
8 – 9	6	12	18	12	18	0
9 – 10	3	18	21	18	21	0
10 – 11	5	21	26	21	26	0

D'après le tableau ci-avant le temps de réalisation est de **26 mois**.

**Note** : le diagramme de Gantt est représenté dans la planche du planning des travaux.

**V.1.5. Matériel et personnel nécessaires :****V.1.5.1. Matériels nécessaires :**

Les différents engins nécessaires au chantier peuvent dans certains cas travailler simultanément, et dans d'autres d'une opération à une autre, et ceci selon le planning d'exécution des travaux.

Ci-joint liste du matériel nécessaire à ce projet :

- ✓ Bulldozer.
- ✓ Chargeur (à pneus et à chenilles).
- ✓ Camion benne.

- ✓ Pelle hydraulique.
- ✓ Pompe immergée.
- ✓ Camion-citerne.
- ✓ Compacteur à pied de moutons.
- ✓ Pompe à béton.
- ✓ Pompe à forage.
- ✓ Pompe à injection.
- ✓ Grue à portique.
- ✓ Pelle butte.
- ✓ Camion malaxeur.
- ✓ Malaxeur à injection.
- ✓ Camion grue.
- ✓ Mini pelle hydraulique.

#### **V.1.5.2. Personnel nécessaire :**

Le nombre du personnel nécessaire au chantier varie d'une période à une autre, lors d'une période critique, le chantier peut avoir un personnel de pointe, et dans une autre un nombre important n'est plus utile.

Ci-joint liste du personnel nécessaire à ce projet :

- ✓ Contre maître.
- ✓ Opérateur.
- ✓ Chauffeur.
- ✓ Ouvrier.
- ✓ Ferrailleur.
- ✓ Grutier.
- ✓ Coffreur.
- ✓ Bétonnier.
- ✓ Topographe.

#### **V.1.6. Le coût d'un barrage :**

Le coût total d'un barrage dépend des conditions de réalisation propres à chaque site. Il peut être estimé trop élevé pour un objectif d'irrigation et entraîner le maître d'ouvrage à renoncer à son projet, alors qu'un coût analogue peut être jugé acceptable pour l'eau potable ou un but touristique. Le niveau des subventions publiques accordées influe aussi sur la décision du maître d'ouvrage. Les coûts d'investissements comprennent trois parties :

##### **V.1.6.1. Le coût des études :**

Levés topographiques, étude d'impact, enquête foncière, étude hydrologique, investigations géologiques et géotechniques, établissement du projet et du DCE (missions de maîtrise d'œuvre normalisées), contrôle permanent des travaux. Ce coût représente en moyenne 12 % environ du montant des travaux, mais dans certains cas, il peut atteindre 15 à 20 % .

### V.1.6.2. Le coût des travaux de construction du barrage :

Les terrassements représentent en moyenne plus de la moitié de ce montant et le reste concerne les ouvrages annexes (évacuateur, prise, vidange), l'installation de chantier, les dispositifs d'étanchéité, d'auscultation.

Un devis pour l'estimation du cout de la digue du barrage de M'Djedel est donné dans le tableau suivant :

Tableau V.03:Devais estimatif du cout de la digue :

Matériaux	Unité	Quantité	P.U	Montant(DA)
Graves pour recharge	m3	512797.494	400	172139867.4
Matériaux à noyau	m3	160803.98	500	74089548
Filtre/Drain	m3	31990	1200	38388000
Rip-Rap	m3	47442.0642	800	37953651.36
				322571066.8

### V.1.6.3. Coût de l'entretien et de la surveillance :

Les opérations d'entretien et de surveillance sont généralement les inspections visuelles ,les mesures piésométriques et de débit de fuites, peintures des ouvrages métalliques,la topographie ....etc.

## V.2.Protection et sécurité de travail.

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 incontestable.

### V.2.1. Organisation de la prévention des accidents du travail :

L'organisation de la prévention se présente à travers les activités professionnelles du pays comme une immense chaîne de solidarité, composée de multiples maillons, correspondant chacun aux différents services ou personnes intéressées figurés dans l'organigramme représenté sur la figure VI.01.

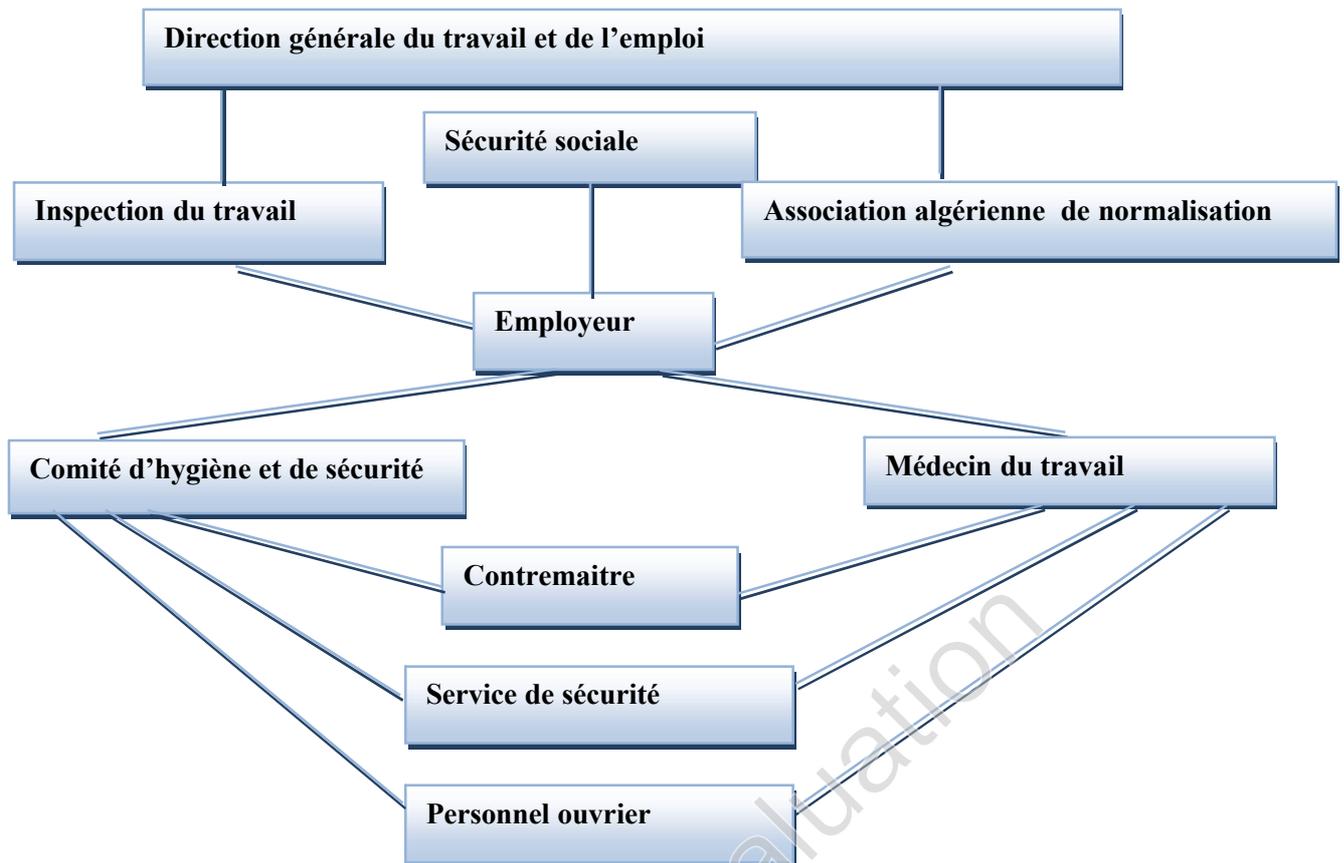


Figure V.01 : Organigramme de la prévention.

Le Contremaître constitue le maillon essentiel de la chaîne de prévention des accidents du travail. Vu sous l'angle de la protection du personnel, le rôle du Contremaître revêt trois aspects importants, pédagogique, de surveillance, de suggestion.

### V.2.2. Causes des accidents de travail :

L'analyse des accidents les plus fréquents fait apparaître des causes à la fois humaines et techniques (industrielle).

#### V.2.2.1. Causes humaines :

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.
- ✓ La distraction.
- ✓ Les gestes néfastes.
- ✓ Inaptitude mentale ou physique.
- ✓ Adoption de la solution de facilité.

- ✓ Manque de concentration.
- ✓ L'agitation.
- ✓ La nervosité.

#### **V.2.2.2. Causes techniques :**

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

- ✓ Des mauvaises conditions de travail.
- ✓ De l'encombrement du matériel dans les chantiers et le mauvais stockage.
- ✓ Des outils et engins utilisés (implantation, entretien).
- ✓ Des conditions d'hygiène et de sécurité (ventilation, production).

#### **V.2.3. Moyens employés pour promouvoir la sécurité de travail :**

On peut classer de la façon suivante les différents moyens généralement employés pour promouvoir la sécurité du travail:

##### **➤ L'action législative et réglementaire :**

C'est-à-dire l'adoption de dispositions obligatoires sur les conditions générales de travail, la construction, l'entretien, l'inspection, les essais et l'utilisation du matériel et de l'outillage industriels, les devoirs des employeurs et des travailleurs, la formation professionnelle, la surveillance médicale, les premiers soins, ... etc.

##### **➤ la normalisation :**

C'est-à-dire l'établissement de normes, officielles ou non, relatives à la construction du matériel et de l'outillage industriels, aux règles de sécurité et d'hygiène, aux moyens de protection individuelle, ... etc.

##### **➤ L'inspection :**

C'est-à-dire le contrôle de l'application des dispositions obligatoires.

##### **➤ La recherche technique :**

c'est-à-dire l'étude des dispositifs de protection des machines, des méthodes de prévention des explosions, des matériaux et des modèles les meilleurs pour l'équipement et l'outillage industriels, la recherche de substances de remplacement des substances nocives, ... etc.

##### **➤ La recherche médicale :**

C'est-à-dire l'étude des effets physiologiques et pathologiques du milieu et des techniques utilisées, des particularités constitutionnelles qui prédisposent l'individu aux accidents, ... etc.

##### **➤ La recherche psychologique :**

C'est-à-dire l'étude des particularités psychologiques qui prédisposent l'individu aux accidents.

➤ **La recherche statistique :**

Elle permet d'établir le nombre, la nature et les causes des accidents, les catégories de personnes qu'ils touchent, les opérations au cours desquelles ils surviennent, ... etc.

➤ **L'éducation :**

C'est-à-dire l'enseignement de la sécurité dans les écoles techniques et professionnelles, les cours pour apprentis, ... etc.

➤ **La formation :**

C'est-à-dire l'enseignement pratique de la sécurité aux travailleurs, et surtout aux travailleurs débutants.

➤ **La persuasion :**

C'est-à-dire l'emploi de diverses méthodes de propagande et d'appel aux intéressés, pour faire naître «l'esprit de sécurité».

➤ **Les avantages financiers accordés par les assurances pour promouvoir la prévention :**

Par exemple la réduction des primes pour les entreprises qui prennent de bonnes mesures de sécurité.

➤ **L'action de prévention dans l'entreprise :**

En dernière analyse, la valeur de ces divers moyens dépend dans une large mesure de l'efficacité des dispositions adoptées par l'entreprise. C'est dans l'entreprise, en effet, que se produisent les accidents: leur nombre et leur nature seront souvent en étroit rapport avec la conscience plus ou moins poussée qu'auront, de l'importance de la sécurité du travail, toutes les personnes qui y sont occupées.

Comme l'indique cette liste, la prévention des accidents exige la collaboration de toutes sortes de gens ; détenteurs du pouvoir législatif et réglementaire, fonctionnaires, ingénieurs et techniciens, médecins, psychologues, statisticiens, enseignants, et celle, bien entendu, des employeurs et des travailleurs eux-mêmes.

#### **V.2.4. Calcul du débit d'air nécessaire à la ventilation de la galerie de dérivation :**

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul du débit d'air nécessaire à la ventilation on peut citer les suivantes :

##### **V.2.4.1. Calcul de débit d'air « Q » par le taux de ventilation « K » :**

Le procédé consiste à calculer le volume intérieur total en  $m^3$  et à multiplier ce volume par le nombre de renouvellements d'air voulu par heure. On calculera donc la ventilation sur la base du renouvellement d'air par heure:

$$Q = V \cdot K \text{ (m}^3\text{/h)} \dots\dots\dots (V.03).$$

Avec : Q = Débit d'air nécessaire,  $m^3/h$ ;

$V$  = le volume intérieur de la galerie ( $m^3$ ).

$V = S .L = \text{Surface} \cdot \text{longueur}$  ( $m^3$ ).

$K$  = taux de ventilation recommandé, h<sup>-1</sup>n

La base d'évaluation du taux de renouvellement d'air est le nombre de fois par l'heure où l'air contenu dans la galerie doit être remplacé par l'air frais.

#### V.2.4.2. Détermination de Q par l'alimentation minimum Am:

Cette méthode consiste à assurer une alimentation minimum de 30 m<sup>3</sup> par personne et par heure. Ceci permet le renouvellement de l'air vicié par les occupants s'il n'y a pas d'autres pollutions. Mais cela est insuffisant en cas d'impuretés provenant des fumées ou de contaminants industriels et également insuffisant pour évacuer la chaleur.

Le débit d'air nécessaire pour une galerie occupée par « n » travailleurs et sur la base de 30 m<sup>3</sup> par personne et par heure sera déterminé par la formule:

$$Q = n .30 \dots\dots\dots (V.04).$$

Avec : « n » = nombre de travailleurs.

#### V.2.4.3. Calcul de la ventilation basée sur les accroissements de chaleur :

Il est recommandé de baser les calculs par rapport au mur qui reçoit le maximum de chaleur solaire au moment le plus chaud de la journée c'est à dire lorsque la différence entre températures extérieure et intérieure est minimale.

La ventilation nécessaire pour évacuer la chaleur pourra être calculée à partir de l'accroissement total de chaleur en Kcal/h par la formule suivante.

$$Q = \frac{L}{0.288(t_e - t_i)} \dots\dots\dots (V.05).$$

Avec : Q : débit de ventilation.

$t_e$ : température extérieure.

$t_i$ : température intérieure.

L :Accroissement de chaleur dû aux radiations solaires. Peut-être déterminé par:

$$L = S . \beta \text{ (Kcal)} \dots\dots\dots (V.06).$$

Avec :S = Surface du mur, toit, ... etc. m<sup>2</sup>

$\beta$  = Coefficient de chaleur du au soleil, à travers les murs, Kcal/m<sup>2</sup>

➤ Calcul de chaleur émanant des travailleurs :

$$L = \sum \eta_i \dots\dots\dots (V.07).$$

Avec :  $\eta_i$  = nombres des personnes

i = Coefficient de chaleur émanant des occupants

- Émissions approximatives de chaleur provenant de moteurs électriques :

$$L = \sum m_i N_i \dots\dots\dots (V.08).$$

Avec :  $M_i$  = normes des moteurs électriques

$N_i$  = Puissance du moteur.

#### V.2.4.4. Calcul du diamètre de la canalisation d'air nécessaire à la ventilation :

##### V.2.4.4.1. Etude de dimensionnement du réseau de ventilation :

Le réseau de ventilation joue un très grand rôle dans la technologie actuelle. Le processus d'aération s'impose pour l'étude des systèmes de ventilations.

Calcul des dimensions des canalisations par l'une des méthodes suivantes :

- **La méthode dynamique :**

Cette méthode consiste à fixer la vitesse admissible pour les différentes canalisations et les différentes pièces spécialisées.

Les vitesses de l'air dans les différentes canalisations sont données dans le tableau suivant :

Tableau V.04 : vitesse de l'air dans les différentes canalisations

N°	Désignation	Ouvrage hydrotechnique	Usines et grands bâtiments
1	à l'entrée de la conduite	(4 – 5) m/s	(6 – 8) m/s
2	Conduite principale	(4 – 5) m/s	(6 – 12) m/s
3	Canalisations dérivées	(2 – 5) m/s	(3 – 6) m/s
4	Colonnes montantes	(1.5 – 3) m/s	(2 – 4) m/s
5	Pièces spécialisées (coudes ...)	(0.5 – 2) m/s	(1 – 3) m/s

- **Méthode d'équifraction :**

Cette méthode est basée sur la vitesse admissible au niveau du dernier tronçon, elle est prise égale à (2 m/s).

**V.2.4.4.2. Calcul du diamètre des canalisations :**

Le diamètre de la canalisation est déterminé d'après la formule suivante :

$$Q=V. S \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (V.09).$$

Avec : V : vitesse de circulation d'air dans les différentes canalisations.

S : section de la conduite qui est déterminée comme suit :

$$S = \frac{\pi.D^2}{4} \dots\dots\dots (V.10).$$

Avec : D : diamètre de la conduite.

$$Q = V \frac{\pi.D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$$

**Conclusion :**

Une importance a été donnée à l'organisation de la construction, une organisation compatible avec tous les travaux, afin de supprimer les temps morts, d'avoir une meilleure qualité, de conserver une même vitesse d'avancement, pour toutes les opérations élémentaires et sur tous les points de chantier.

Le planning de construction du barrage et des ouvrages annexes est représenté par un diagramme à barres (diagramme de Gantt). Les remarques complémentaires suivantes sont nécessaires pour une explication plus précise :

- ✓ Un certain nombre de travaux préparatoires doivent être effectués avant les travaux de construction du barrage. Il s'agit essentiellement de la construction des routes d'accès vers les sites de construction et les zones d'emprunt.
- ✓ La durée de construction propre au barrage de M'djedel totalisera au moins 26 mois. Cette durée est à considérer comme minimum absolu.

La sécurité du travail est examinée clairement et simplement afin de pallier aux difficultés qui entravent le bon fonctionnement des travaux, et afin d'assurer l'économie attendue d'une construction pareille.

Il est à noter que la protection et la sécurité de travail est la responsabilité de toute personne ayant un lien avec le chantier et le projet, du cadre jusqu'à l'ouvrier.

## Références bibliographiques :

[01]: B. TOUAIBIA : Manuel pratique d'hydrologie. ENSH Blida. Mars 2004.p166.

[02] : M. HASSANE: Cours d'ouvrage hydrotechnique de 5ème année .2012.

[03]: G. REMENIERAS « Hydrologie de l'ingénieur » édition Eyrolles 1986.p156.

[04]: CIGB : Choix de la crue de projet ; méthodes actuelles. Bulletin 82. 1984. p108.

[05] : B. TOUAIBIA : polycopé de cours de régularisation des débits ; les retenues. ENSH Blida. Janvier 2001.p58.

[06]:R.BERNARDO A et L.SANTOS : manuel de conception et projets typiques des digues en terres ; procédures méthodologiques pour l'exécution des études des retenues collinaires et petits barrages. ANBT Alger. Avril 2004.p178.

[07]:GERARD DEGOUTTE : petits barrages. Recommandation pour la conception, la réalisation et les suivis, Comité français des grands barrages. Edition Cemagref. France. 1977.p183.

# **ANNEXE**

## **I**

Expert PDF Evaluation





# **ANNEXE**

## **II**

Expert PDF Evaluation

## Série des pluies mensuelles interannuelles

années	sep	oct.	nov.	déc.	jan	fév.	mars	avr.	mai	juin	juil.	aout	annuel
1943	47.3	25.5	10.2	49.7	18.7	5	8.9	3	16.4	30.5	8.8	0	224
1944	18	22.2	23.7	17.7	55.7	0	12.6	41.8	12.1	13.7	3.8	2.7	224
1945	5.1	4.1	19.1	89.4	19.4	18.8	5.1	42	19.3	4.3	3.1	17.7	247
1946	17.6	16.1	3.5	40.4	25.8	14.9	11	0	28.2	17	6	9	189
1947	2.8	47.4	6.3	19.9	59.4	16.9	44.1	13.5	46.3	39.9	0	1.6	298
1948	1.1	42.3	7.1	27	44	5.9	37.3	42.2	57.7	7.8	0.3	24.7	298
1949	47.9	40.5	8.6	45.5	32.3	13.9	24	1.6	17.3	0	2.3	19.1	253
1950	35.2	16	29.1	43.4	45.1	22.6	32.4	52.4	49.2	4.4	10	0.9	341
1951	48.4	52.7	20.5	40.9	39.8	12.9	13.7	40.3	36	20.4	6.9	6.6	339
1952	58.7	15.9	7.8	7.8	14.6	22.8	47.7	34.7	38.1	26.1	0.6	11.7	287
1953	14.2	13.6	8.5	16.8	31.6	19.9	48.3	50.6	33.5	13	3.5	55.3	309
1954	83.1	26.7	9.6	17.2	38.8	38	33	46.4	14.1	26.4	4.3	7.5	345
1955	71.1	27.7	11.7	15	17.7	34.3	76.6	40	13	1	3.3	2.8	314
1956	30.5	66.5	12.5	8	41	3.9	9.1	22.6	15.8	7.4	0.3	17.3	235
1957	23.2	81.3	25	43.4	43.9	25.1	10.5	8.1	8.7	15.4	3.4	23	311
1958	46.4	48.5	31.1	18.1	19.9	34.9	34.8	40.9	47.2	45.1	4.4	7.8	379
1959	20.6	24.5	24.1	35.5	56.4	7.2	12	18.3	5.2	41.2	17.2	13.5	276
1960	4.4	18.7	6.8	11.6	27.1	15.5	22.7	31.6	17.3	27.6	7	5.6	196
1961	0	18.2	31.8	2.6	7.3	6.9	24.3	16.9	0.6	20	0	0	129
1962	4.9	4.9	34.4	0.6	7.3	36.2	1.6	28.6	25.4	18.7	23.6	0	186
1963	52.5	2.2	0	58	31.8	6.2	37.7	19.7	14.6	2.3	20.7	0	246
1964	0	0	49	49.5	65.6	0	37.3	3	18.2	3.6	3.7	12.3	242
1965	44.3	47.9	8.4	18.8	16.9	10.6	0.5	19.1	23.9	1	1.9	12.3	206
1966	37	6.9	35.1	6	3.2	32.4	34.4	12.9	35.7	23.8	0	5.2	233
1967	41	11.1	58.4	17.9	2.6	24.5	38.3	16.2	32.1	10.4	0.2	32.2	285
1968	0.4	0	17.8	24.2	30	22.8	26.3	62.2	6	6.6	0	33.7	230
1969	117	135.5	27.1	33	47.8	2.1	28.3	75.1	35.4	7.2	4.2	2.9	516
1970	23.6	13.8	0	13.5	47.1	0	46.1	19.7	20.7	2.7	8.9	0	196
1971	50.9	30.6	66.9	41.6	43.7	25.5	22.1	11.9	47.8	13.1	3.3	5.4	363
1972	21.3	42.4	18.6	37.1	12.3	25.1	38.2	16.4	2.4	42	0	1.6	257
1973	3.4	0	7.4	19.6	0	40.4	58.8	22.5	19.2	5.4	6.9	1.3	185
1974	12	12.7	19.1	6.3	10	29.1	23.7	14	50.5	6.4	0	17.8	202
1975	45.3	3.9	30.8	13.4	20.2	38.5	7.5	11.8	59.6	45.3	36.9	1.8	315
1976	34.2	40.5	44.2	17	37.3	0	0.3	15.4	35.1	7.2	0	33.1	264
1977	0	8.5	32.9	9.7	0	3.2	3.3	6.1	3.6	0.2	0	0.7	68
1978	0	6.1	13.7	1.7	14.5	5	7.1	9.1	4.6	5.4	0	5.5	73
1979	9.1	25.9	16.2	9.5	24.5	28.4	57.4	24.5	7.2	0	0	3.9	207
1980	44.5	4.3	27.8	83.3	0	19.2	23.7	60.2	1.9	9.4	2.5	1	278
1981	38	9.7	0	49.8	24	31.1	166	57	0	7.6	1.7	0.8	236
1982	6.5	33.7	78.9	17.6	0	9	2.7	21.2	0.3	19.2	5	5.2	199
1983	0	5.7	6.5	4	28.7	3	29.5	3.9	8.9	3.3	1.8	0	95
1984	0	32.2	0	7.9	28.7	12.2	17.3	1.5	18.4	0	0	0	118

1985	15	9.4	12.2	28.3	14.2	12.4	49.4	3	50.4	48.1	0	8	250
1986	18.9	26.5	55.2	19	44.8	24.9	19.7	5.3	2.6	6.1	7.1	2.2	232
1987	9.4	10.8	35.6	12.8	15	11.2	0	24.4	40.1	42.3	0	0.2	202
1988	9.2	3.2	10.1	14.9	5.8	8.9	8.9	28.7	52	28.8	0.4	44.7	216
1989	7.5	7.5	12.4	13.6	54.9	0	27.3	73.1	109	51.8	19.6	3	379
1990	15.8	0	6.6	31.4	8.7	31.1	57.6	24.7	52.8	2.9	2.7	5.2	239
1991	0	17.6	14	10.4	41.5	10.4	13.8	15	95.2	0	5.1	0.7	224
1992	18.8	3.8	17.1	0	3.8	26.5	7.8	9	45	4	22.9	6.1	145
1993	17.3	0.3	8.5	10.1	32.5	22.8	32.8	22.1	0	0	1.1	6.5	154
1994	53.9	72.9	23	22.2	19.2	1.5	31.2	5.9	0	29.5	0.4	11	271
1995	13.5	46.9	6.5	16.2	65.9	45.6	33.9	61.2	39	10.4	0	11.7	351
1996	5.5	17.6	0	29.3	29.3	0.5	0	59.9	18.6	0	0	15	176
1997	57	9.2	44	16.1	5.3	19.5	0.6	31.8	43.1	1.4	0	0	228
1998	24	8.3	7.4	10	53.6	52	3.5	4.9	0	19	0	12.1	195
1999	24.5	31.4	14.5	80.4	42.3	8	0	7.1	4.4	0	0	0	213
2000	34.9	14	10	30.9	42.3	8	0	0	4.4	0	0	0	145
2001	8	11.7	2.4	19.7	5	0	0	21.1	0	0	0	0	68
2002	33	13	40	20	63	18.7	7.1	2.5	7.2	0	0	0	205
2003	33	59.5	25.4	37.5	11.5	0.5	12.5	25	42.8	1.2	0	2.3	251
2004	24	12.7	17.3	23.1	12.6	7.8	14.6	0	0	2.5	0	0	115
2005	10.9	9.2	16.1	21	16.3	33.7	47.2	13.1	25.3	6.7	5.9	20	225

<b>Test de la médiane</b>			
Année	Pmax j	Série classée	Série non classée
1965/1966	29.7	10	29.7
1966/1967	35.2	14.6	35.2
1967/1968	51.2	16.9	51.2
1968/1969	18.8	16.9	18.8
1969/1970	16.9	18.1	16.9
1970/1971	28.6	18.5	28.6
1971/1972	29.1	18.8	29.1
1972/1973	20.1	18.9	20.1
1973/1974	30.6	20.1	30.6
1974/1975	23.2	20.8	23.2
1975/1976	18.1	20.8	18.1
1976/1977	10	20.8	10
1977/1978	25.7	21.1	25.7
1978/1979	22.1	22.1	22.1
1979/1980	40.2	22.5	40.2
1980/1981	28.3	23.2	28.3
1981/1982	14.6	24.8	14.6
1982/1983	21.1	25.7	21.1
1983/1984	40.4	26	40.4
1984/1985	28.5	26.7	28.5
1985/1986	26.7	28.3	26.7
1986/1987	36.7	28.3	36.7
1987/1988	32.3	28.5	32.3
1988/1989	39	28.6	39
1989/1990	41.8	28.9	41.8
1990/1991	20.8	29.1	20.8
1991/1992	16.9	29.7	16.9
1992/1993	20.8	30.5	20.8
1993/1994	30.5	30.6	30.5
1994/1995	18.5	31.6	18.5
1995/1996	28.3	32.3	28.3
1996/1997	26	33	26
1997/1998	33	34.2	33
1998/1999	24.8	35.2	24.8
1999/2000	28.9	35.5	28.9
2000/2001	31.6	36.7	31.6
2001/2002	20.8	39	20.8
2002/2003	22.5	40.2	22.5
2003/2004	18.9	40.4	18.9
2004/2005	35.5	41.8	35.5
2005/2006	34.2	51.2	34.2
médiane		<b>28.3</b>	

## Pluie de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités

periode	5		10		20		50		100		200		1000		2000		10000	
frequence	20		10		5		2		1		0.5		0.1		0.05		0.01	
Pmax,p(%)	33.3		38.2		43		49.1		53.7		58.3		68.9		73.5		84.1	
T(h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)	Pma xp% (mm)	I(m /h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)	Pmax p% (mm)	I(m /h)	Pmax p% (mm)	I(mm /h)
0.5	15.353	30.71	17.6123	35.2	19.8253	39.65	22.64	45.3	24.7586	49.52	26.879	53.8	31.767	63.53	33.8875	67.8	38.775	77.5
1	17.636	17.64	20.2312	20.2	22.7733	22.77	26	26	28.4402	28.44	30.876	30.9	36.49	36.49	38.9265	38.9	44.54	44.5
2	20.259	10.13	23.2395	11.6	26.1597	13.08	29.87	14.9	32.6692	16.33	35.468	17.7	41.916	20.96	44.7148	22.4	51.163	25.6
3	21.97	7.323	25.2026	8.4	28.3694	9.456	32.39	10.8	35.4288	11.81	38.464	12.8	45.457	15.15	48.4919	16.2	55.485	18.5
4	23.271	5.818	26.6952	6.67	30.0496	7.512	34.31	8.58	37.527	9.382	40.742	10.2	48.149	12.04	51.3638	12.8	58.771	14.7
5	24.333	4.867	27.9136	5.58	31.421	6.284	35.88	7.18	39.2397	7.848	42.601	8.52	50.347	10.07	53.708	10.7	61.454	12.3
6	25.237	4.206	28.9502	4.83	32.5879	5.431	37.21	6.2	40.697	6.783	44.183	7.36	52.216	8.703	55.7026	9.28	63.736	10.6
7	26.027	3.718	29.8566	4.27	33.6082	4.801	38.38	5.48	41.9712	5.996	45.567	6.51	53.851	7.693	57.4466	8.21	65.731	9.39
8	26.731	3.341	30.6647	3.83	34.5179	4.315	39.41	4.93	43.1072	5.388	46.8	5.85	55.309	6.914	59.0015	7.38	67.511	8.44
9	27.368	3.041	31.3957	3.49	35.3407	3.927	40.35	4.48	44.1347	4.904	47.915	5.32	56.627	6.292	60.4079	6.71	69.12	7.68
10	27.951	2.795	32.0643	3.21	36.0933	3.609	41.21	4.12	45.0746	4.507	48.936	4.89	57.833	5.783	61.6943	6.17	70.592	7.06
11	28.489	2.59	32.6813	2.97	36.7879	3.344	42.01	3.82	45.9421	4.177	49.878	4.53	58.946	5.359	62.8816	5.72	71.95	6.54
12	28.989	2.416	33.255	2.77	37.4337	3.119	42.74	3.56	46.7486	3.896	50.753	4.23	59.981	4.998	63.9855	5.33	73.213	6.1
13	29.457	2.266	33.7917	2.6	38.0378	2.926	43.43	3.34	47.503	3.654	51.572	3.97	60.949	4.688	65.018	5	74.395	5.72
14	29.897	2.135	34.2963	2.45	38.6057	2.758	44.08	3.15	48.2123	3.444	52.342	3.74	61.859	4.418	65.9889	4.71	75.506	5.39
15	30.312	2.021	34.7728	2.32	39.1421	2.609	44.69	2.98	48.8821	3.259	53.069	3.54	62.718	4.181	66.9057	4.46	76.555	5.1
16	30.706	1.919	35.2245	2.2	39.6506	2.478	45.28	2.83	49.5172	3.095	53.759	3.36	63.533	3.971	67.7749	4.24	77.549	4.85
17	31.081	1.828	35.6542	2.1	40.1343	2.361	45.83	2.7	50.1212	2.948	54.415	3.2	64.308	3.783	68.6017	4.04	78.495	4.62
18	31.438	1.747	36.0641	2	40.5958	2.255	46.35	2.58	50.6975	2.817	55.04	3.06	65.048	3.614	69.3904	3.86	79.398	4.41
19	31.78	1.673	36.4562	1.92	41.0371	2.16	46.86	2.47	51.2487	2.697	55.639	2.93	65.755	3.461	70.1449	3.69	80.261	4.22
20	32.108	1.605	36.8322	1.84	41.4603	2.073	47.34	2.37	51.7771	2.589	56.212	2.81	66.433	3.322	70.8681	3.54	81.089	4.05
21	32.422	1.544	37.1933	1.77	41.8668	1.994	47.81	2.28	52.2849	2.49	56.764	2.7	67.084	3.194	71.5631	3.41	81.884	3.9
22	32.726	1.488	37.541	1.71	42.2582	1.921	48.25	2.19	52.7736	2.399	57.294	2.6	67.711	3.078	72.232	3.28	82.649	3.76
23	33.018	1.436	37.8762	1.65	42.6355	1.854	48.68	2.12	53.2448	2.315	57.806	2.51	68.316	2.97	72.877	3.17	83.387	3.63
24	33.3	1.388	38.2	1.59	43	1.792	49.1	2.05	53.7	2.238	58.3	2.43	68.9	2.871	73.5	3.06	84.1	3.5

### Débites fréquentiels pour la construction l'hydrogramme de crue.

Période de retour (ans)		10000	1000	100	50	20	10
Fréquence(%)		0.01	0.1	1	2	5	10
Qmax p%(m3/s)		967.81	820.25	639.51	574.05	473.86	380.94
Temps(H)		Qm(m3/s)					
0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.5	0.945127	0.8010254	0.624521	0.560596	0.462754	0.3720117
1	1	3.7805078	3.2041016	2.498086	2.242383	1.851016	1.4880469
2	2	15.122031	12.816406	9.992344	8.969531	7.404063	5.9521875
3	3	34.02457	28.836914	22.48277	20.18145	16.65914	13.392422
4	4	60.488125	51.265625	39.96938	35.87813	29.61625	23.80875
5	5	94.512695	80.102539	62.45215	56.05957	46.27539	37.201172
6	6	136.09828	115.34766	89.93109	80.72578	66.63656	53.569688
7	7	185.24488	157.00098	122.4062	109.8768	90.69977	72.914297
8	8	241.9525	205.0625	159.8775	143.5125	118.465	95.235
9	9	306.22113	259.53223	202.345	181.633	149.9323	120.5318
10	10	378.05078	320.41016	249.8086	224.2383	185.1016	148.80469
11	11	457.44145	387.69629	302.2684	271.3283	223.9729	180.05367
12	12	544.39313	461.39063	359.7244	322.9031	266.5463	214.27875
13	13	638.90582	541.49316	422.1765	378.9627	312.8216	251.47992
14	14	740.97953	628.00391	489.6248	439.507	362.7991	291.65719
15	15	850.61426	720.92285	562.0693	504.5361	416.4785	334.81055
16	16	967.81	820.25	639.51	574.05	473.86	380.94
Période de retour (ans)		10000	1000	100	50	20	10
Fréquence(%)		0.01	0.1	1	2	5	10
Qmax p%(m3/s)		967.81	820.25	639.51	574.05	473.86	380.94
Temps(H)		Qd(m3/s)					
17	1	897.024	760.2564	592.7358	532.0636	439.2016	353.07781
18	2	829.768	703.2618	548.2999	492.1761	406.2757	326.60843
19	3	765.968	649.1894	506.1422	454.3337	375.038	301.49615
20	4	705.526	597.9623	466.2028	418.4825	345.4439	277.70526
21	5	648.35	549.5034	428.4217	384.5687	317.4492	255.20004
22	6	594.35	503.736	392.7391	352.5385	291.0093	233.94478
23	7	543.435	460.5832	359.0949	322.338	266.0798	213.90376
24	8	495.514	419.968	327.4291	293.9136	242.6163	195.04128
25	9	450.496	381.8136	297.6819	267.2113	220.5744	177.32162
26	10	408.291	346.043	269.7933	242.1773	199.9097	160.70906
27	11	368.807	312.5793	243.7033	218.7579	180.5777	145.1679
28	12	331.955	281.3458	219.3519	196.8992	162.534	130.66242
29	13	297.644	252.2653	196.6793	176.5473	145.7342	117.15691
30	14	265.782	225.2612	175.6254	157.6485	130.1338	104.61565
31	15	236.279	200.2563	156.1304	140.1489	115.6885	93.00293
32	16	209.045	177.174	138.1342	123.9948	102.3538	82.28304

33	17	183.988	155.9372	121.5768	109.1323	90.08523	72.420265
34	18	161.018	136.4691	106.3985	95.50757	78.83846	63.378893
35	19	140.044	118.6927	92.5391	83.06683	68.56902	55.123208
36	20	120.975	102.5313	79.93875	71.75625	59.2325	47.6175
37	21	103.721	87.90773	68.53749	61.52201	50.78446	40.826054
38	22	88.1908	74.74528	58.27535	52.31031	43.18049	34.713158
39	23	74.2938	62.967	49.09238	44.06731	36.37616	29.243097
40	24	61.9392	52.496	40.92864	36.7392	30.32704	24.38016
41	25	51.0363	43.25537	33.72416	30.27217	24.98871	20.088633
42	26	41.4944	35.16822	27.41899	24.61239	20.31675	16.332803
43	27	33.2228	28.15764	21.95318	19.70606	16.26673	13.076956
44	28	26.1306	22.14675	17.26677	15.49935	12.79422	10.28538
45	29	20.1272	17.05864	13.29981	11.93845	9.854807	7.9223616
46	30	15.1219	12.81641	9.992344	8.969531	7.404063	5.9521875
47	31	11.0238	9.34316	7.284419	6.538788	5.397562	4.3391447
48	32	7.7424	6.562	5.11608	4.5924	3.79088	3.04752
49	33	5.1868	4.396027	3.427374	3.076549	2.539593	2.0416003
50	34	3.26633	2.768344	2.158346	1.937419	1.599278	1.2856725
51	35	1.89023	1.602051	1.249043	1.121191	0.925508	0.7440234
52	36	0.9678	0.82025	0.63951	0.57405	0.47386	0.38094
53	37	0.40829	0.346043	0.269793	0.242177	0.19991	0.1607091
54	38	0.12098	0.102531	0.079939	0.071756	0.059233	0.0476175
55	39	0.01512	0.012816	0.009992	0.00897	0.007404	0.0059522
56	40	0	0	0	0	0	0

### Calcul de la composante interannuelle pour la méthode de Kristly-Menkel

n	$\sqrt{n}$	Cv(n)	Cs(n)	F(n) p%	Kp%	Zp%
1	1	0.74	1.92	-0.85	0.59	0.31
2	1.41	0.26241135	0.41843972	-0.85	0.77695035	0.24609929
3	1.73	0.21387283	0.34104046	-0.85	0.81820809	0.24537572
4	2	0.185	0.295	-0.85	0.84275	0.229
5	2.24	0.16517857	0.26339286	-0.85	0.85959821	0.20200893
6	2.45	0.15102041	0.24081633	-0.85	0.87163265	0.17020408
7	2.65	0.13962264	0.22264151	-0.85	0.88132075	0.13075472
8	2.83	0.13074205	0.20848057	-0.85	0.88886926	0.08904594
9	3	0.12333333	0.19666667	-0.85	0.89516667	0.0435
10	3.16	0.11708861	0.18670886	-0.85	0.90047468	-0.00474684
11	3.32	0.11144578	0.17771084	-0.85	0.90527108	-0.05798193
12	3.46	0.10693642	0.17052023	-0.85	0.90910405	-0.10924855
13	3.61	0.10249307	0.1634349	-0.85	0.91288089	-0.16745152
14	3.74	0.09893048	0.15775401	-0.85	0.91590909	-0.22272727
15	3.87	0.09560724	0.15245478	-0.85	0.91873385	-0.28100775
16	4	0.0925	0.1475	-0.85	0.921375	-0.342
17	4.12	0.08980583	0.14320388	-0.85	0.92366505	-0.40230583
18	4.24	0.08726415	0.13915094	-0.85	0.92582547	-0.46485849
19	4.36	0.08486239	0.1353211	-0.85	0.92786697	-0.52947248
20	4.47	0.08277405	0.13199105	-0.85	0.92964206	-0.59284116
21	4.58	0.08078603	0.12882096	-0.85	0.93133188	-0.65796943
22	4.69	0.07889126	0.12579957	-0.85	0.93294243	-0.72473348
23	4.79	0.07724426	0.12317328	-0.85	0.93434238	-0.78987474
24	4.9	0.0755102	0.12040816	-0.85	0.93581633	-0.85959184
25	5	0.074	0.118	-0.85	0.9371	-0.9275
26	5.1	0.07254902	0.11568627	-0.85	0.93833333	-0.99666667
27	5.2	0.07115385	0.11346154	-0.85	0.93951923	-1.06701923
28	5.29	0.06994329	0.11153119	-0.85	0.9405482	-1.13534972
29	5.38	0.06877323	0.10966543	-0.85	0.94154275	-1.20473978
30	5.48	0.06751825	0.10766423	-0.85	0.94260949	-1.27828467
31	5.56	0.06654676	0.10611511	-0.85	0.94343525	-1.34649281
32	5.66	0.06537102	0.10424028	-0.85	0.94443463	-1.42190813
33	5.74	0.06445993	0.10278746	-0.85	0.94520906	-1.49189895
34	5.83	0.06346484	0.10120069	-0.85	0.94605489	-1.56586621
35	5.92	0.0625	0.09966216	-0.85	0.946875	-1.640625
36	6	0.06166667	0.09833333	-0.85	0.94758333	-1.713
37	6.08	0.06085526	0.09703947	-0.85	0.94827303	-1.78610197
38	6.16	0.06006494	0.09577922	-0.85	0.94894481	-1.8599026
39	6.24	0.05929487	0.09455128	-0.85	0.94959936	-1.934375
40	6.32	0.0585443	0.09335443	-0.85	0.95023734	-2.00949367

**Les résultats de l'étude du laminage des crues de la méthode de Kotchérine.**

H(m)	$\Delta H$	COTE m	SNNR (km <sup>2</sup> )	SPHE (km <sup>2</sup> )	V <sub>st</sub> (Mm <sup>3</sup> )	V <sub>c</sub> (Mm <sup>3</sup> )	Q <sub>emax</sub> (m <sup>3</sup> /s)	H <sup>1.5</sup>	Q <sub>emax</sub> (m <sup>3</sup> /s)	m*rac 2g * h <sup>1.5</sup>	L deversoir(m)
0	0	901	1.28	0.00	0.00	47.25		0.00	234.38	0.00	
0.2	0.2	901.2	1.28	1.30	0.52	47.25	231.82	0.09	231.82	0.19	1220.10
0.4	0.2	901.4	1.28	1.34	1.05	47.25	229.18	0.25	229.18	0.55	416.69
0.6	0.2	901.6	1.28	1.41	1.61	47.25	226.37	0.46	226.37	1.01	224.13
0.8	0.2	901.8	1.28	1.46	2.19	47.25	223.50	0.72	223.50	1.55	144.19
1	0.2	902	1.28	1.48	2.76	47.25	220.68	1.00	220.68	2.17	101.70
1.2	0.2	902.2	1.28	1.53	3.37	47.25	217.65	1.31	217.65	2.85	85
1.4	0.2	902.4	1.28	1.55	3.96	47.25	214.72	1.66	214.72	3.59	60
1.6	0.2	902.6	1.28	1.62	4.64	47.25	211.36	2.02	211.36	4.39	50
<b>1.8</b>	<b>0.2</b>	<b>902.8</b>	<b>1.28</b>	<b>1.64</b>	<b>5.26</b>	<b>47.25</b>	<b>208.30</b>	<b>2.41</b>	<b>208.30</b>	<b>5.24</b>	<b>40</b>
2	0.2	903	1.28	1.67	5.90	47.25	205.11	2.83	205.11	6.14	33.40
2.2	0.2	903.2	1.28	1.69	6.53	47.25	201.96	3.26	201.96	7.08	30
2.4	0.2	903.4	1.28	1.73	7.22	47.25	198.54	3.72	198.54	8.07	25
2.6	0.2	903.6	1.28	1.78	7.96	47.25	194.91	4.19	194.91	9.10	21.42
2.8	0.2	903.8	1.28	1.84	8.74	47.25	191.04	4.69	191.04	10.17	19
3	0.2	904	1.28	1.88	9.48	47.25	187.35	5.20	187.35	11.28	16.62
3.2	0.2	904.2	1.28	1.96	10.37	47.25	182.95	5.72	182.95	12.42	14.73
3.4	0.2	904.4	1.28	1.99	11.12	47.25	179.23	6.27	179.23	13.60	13.17
3.6	0.2	904.6	1.28	2.05	11.99	47.25	174.91	6.83	174.91	14.82	11.80
3.8	0.2	904.8	1.28	2.13	12.96	47.25	170.10	7.41	170.10	16.07	10.58
4	0.2	905	1.28	2.15	13.72	47.25	166.32	8.00	166.32	17.36	10
4.2	0.2	905.2	1.28	2.16	14.45	47.25	162.71	8.61	162.71	18.68	8.71
4.4	0.2	905.4	1.28	2.17	15.18	47.25	159.08	9.23	159.08	20.03	7.94
4.6	0.2	905.6	1.28	2.18	15.92	47.25	155.43	9.87	155.43	21.41	7.26
4.8	0.2	905.8	1.28	2.19	16.66	47.25	151.76	10.52	151.76	22.82	6.65
5	0.2	906	1.28	2.20	17.40	47.25	148.07	11.18	148.07	24.26	6.10

**ANNEXE**  
**IV**

Expert PDF Evaluation

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus amont (R=74.83m)**

N° T	b <sub>i</sub> (m)	h <sub>1</sub> (m)	h <sub>2</sub> (m)	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang° φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G)/ R
				(recharges)			KP A	(m)									
-2	9.3	3.82	0	2.25	-0.18	0.98	0	9.4897959	34	0.67	79.9335	78.33483	-14.38803	0	52.4843361	73.31	6.26
-1	9.3	8.63	0		-0.091	0.99		9.3939393			180.58275	178.77692	-16.43303025		119.7805381	72.3	13.96
0	9.3	12.04	0		0,00	1		9.3			251.937	251.937	0		168.79779	70.91	19.1
1	9.3	15.04	0		0.091	0.99		9.3939393			314.712	311.56488	28.638792		208.7484696	69.52	23.39
2	9.3	16.08	0		0.18	0.98		9.4897959			336.474	329.74452	60.56532		220.9288284	67.55	24.3
3	9.3	17.65	0		0.27	0.96		9.6875			369.32625	354.5532	99.7180875		237.550644	67.67	26.72
4	9.3	16.51	0		0.36	0.93		10			345.47175	321.28873	124.36983		215.2634474	67.52	24.93
5	9.3	14.27	0		0.45	0.89		10.444382			298.59975	265.75378	134.3698875		178.0550309	68.75	21.95
6	9.3	24.89	0		0.54	0.84		11.071428			520.82325	437.49153	281.244555		293.1193251	69	38.42
7	2.63	2.58	0		0.64	0.77		3.4155844			15.26715	11.755706	9.770976		7.876322685	71	1.16
somme													707.85639	1481.675904	697.5	200.19	

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus amont (R=82.74m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang° φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G)/ R
	(m)	(m)	(m)	(recharges)	(noyau)													
-2	11.87	3.22	0	2.25	2.2	-0.17	0.9854441	0	12.04533	34	0.67	85.99815	84.7463663	-14.61969	0	56.7800 65	75.88	6.30944126
-1	8.27	7.11	0			-0.083	0.9965495		8.35			132.29933	131.842832	-10.98084		88.3346 98	73.94	9.45826646
0	8.27	10.94	0			0	1		8.27			203.56605	203.56605	0		136.389 25	74.04	14.5729082
1	8.27	14.1	0			0.083	0.9965495		8.298634			262.36575	261.460469	21.77636		175.178 51	72.85	18.4803915
2	8.27	16.56	0			0.17	0.9854441		8.392156			308.1402	303.65493	52.38383		203.448 8	72.25	21.5258685
3	8.27	17.94	0			0.25	0.9682458		8.541219			333.81855	323.218421	83.45464		216.556 34	73	23.5617637
4	8.27	18.72	0			0.33	0.9439809		8.76077			348.3324	328.819144	114.9497		220.308 83	74.31	25.0273925
5	8.27	18.68	0			0.42	0.9075241		9.112706			347.5881	315.444579	145.987		211.347 87	75.65	25.4242589
6	8.27	17.85	0			0.5	0.8660254		9.549373			332.14388	287.645033	166.0719		192.722 17	77.22	24.7987914
7	8.27	15.57	0			0.58	0.8146165		10.15202			289.71878	236.009687	168.0369		158.126 49	79.12	22.1634513
8	8.27	12.8	0	0.67	0.7423611	11.14013	238.176	176.812597	159.5779	118.464 44	82.46	18.9895992						
9	8.27	8	6.95	0.75	0.6614378	12.50306	145.552	96.2735987	109.164	38.5094 39	83.45	11.7440797						
somme														0	1816.16 69		222.056213	

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus amont (R=69.83m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	Tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(m)	(recharges)													
-2	7	7.51	2.25	-0.16667	0.986013	0	7.099296	34	0.67	118.2825	116.6281178	-19.43801964	0	78.14083894	65.94	8.93546963
-1	7	10.99		-0.08333	0.996522		7.024433			173.0925	172.4904373	-14.424375		115.568593	64.08	12.7071659
0	7	13.65		0	1		7			214.9875	214.9875	0		144.041625	63.4	15.6153029
1	7	15.81		0.083333	0.996522		7.024433			249.0075	248.1413843	20.750625		166.2547275	61.97	17.6783557
2	7	17.28		0.166667	0.986013		7.099296			272.16	268.353379	45.36		179.7967639	61.37	19.1349955
3	7	18		0.25	0.968246		7.229569			283.5	274.4976947	70.875		183.9134554	61.54	19.9875011
4	7	17.99		0.333333	0.942809		7.424621			283.3425	267.1378709	94.4475		178.9823735	62.16	20.1776541
5	7	17.31		0.416667	0.909059		7.700267			272.6325	247.8391213	113.596875		166.0522113	62.55	19.5367755
6	7	15.43		0.5	0.866025		8.082904			243.0225	210.4636587	121.51125		141.0106513	64	17.8186338
7	7	12.89		0.583333	0.812233		8.618218			203.0175	164.8974851	118.426875		110.481315	66.46	15.4575891
8	8.09	8.26	0.666667	0.745356	10.85387	150.35265	112.0662487	100.2351	75.08438661	68.05	11.7222961					
somme												651.3408304	1539.326941		178.771739	

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus amont (R=73.21m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	h2(m)	$\gamma_s$	sin $\alpha$	cos $\alpha$	C	dl	$\phi^\circ$	Tang $\phi^\circ$	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang $\phi^\circ$	dn <sub>i</sub>
	(m)	(m)	(m)	(recharges et fondations)			(KPA)	(m)								
-3	7.4	4.58	1.16	2.25	-0.25	0.9682	0	7.642687137	34	0.67	95.571	92.536223	-23.89275	0	61.9992693 1	69.47
-2	7.4	7.11	2.89		- 0.167	0.986		7.504969782			166.5	164.17121	-27.75		109.994713 4	68.09
-1	7.4	9.37	3.82		- 0.083	0.9965		7.425829049			219.6135	218.84962	-18.301125		146.629248 5	66.13
0	7.4	12.2	4.26		0	1		7.4			274.059	274.059	0		183.61953	65.4
1	7.4	14.78	3.92		0.083	0.9965		7.425829049			311.355	310.27202	25.94625		207.882255 3	63.75
2	7.4	17.31	2.92		0.167	0.986		7.504969782			336.8295	332.11837	56.13825		222.519305 1	63.72
3	7.4	19.99	1.11		0.25	0.9682		7.642687137			351.315	340.15929	87.82875		227.906721 7	64.2
4	7.4	21.11	0		0.333	0.9428		7.848885271			351.4815	331.37994	117.1605		222.024557 2	64.77
5	7.4	20.2	0		0.417	0.9091		8.140282654			336.33	305.74393	140.1375		204.848432 3	65.75
6	7.4	18.45	0		0.5	0.866		8.544783984			307.1925	266.03651	153.59625		178.244460 9	66.82
7	7.4	15.61	0	0.583	0.8122	9.110687767	259.9065	211.1046	151.612125	141.440082 2	68.67					
8	10.66	11.36	0	0.667	0.7454	14.30189078	272.4696	203.08685	181.6464	136.068188 9	71.05					
somme													844.12215	0	2043.17676 5	

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus amont (R=58.69m).**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> (m)	γ <sub>s</sub>  (recharges)	sinα	cosα	C  (KPA)	dl  (m)	φ°	Tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tangφ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(m)															
-1	12.8	3.4	0	2.25	-0.1	0.995	0	12.8745	34	0.67	98.8612	98.365627	- 9.886118	0	65.9049702	57.17	7.704063213
0	6	5.7			0,00	1		6			76.815	76.815	0		51.46605	55.37	5.797575805
1	6	7.5			0.1	0.995		6.03023			100.98	100.47383	10.098		67.317467	54.87	7.552595127
2	6	9.3			0.2	0.98		6.12372			126.09	123.54247	25.218		82.7734513	54.44	9.35674166
3	6	9.4			0.3	0.954		6.28971			127.44	121.57001	38.232		81.4519079	54.22	9.418704106
4	6	8.7			0.4	0.917		6.54654			117.315	107.52097	46.926		72.0390523	54.6	8.731162379
5	6	7.3			0.5	0.866		6.9282			98.415	85.22989	49.2075		57.1040264	54.98	7.375507514
6	6	4.7			0.6	0.8		7.5			62.91	50.328	37.746		33.71976	56.72	4.863868052
7	7	4,52	0.7	0.714	9.80196	71.19	50.839829	49.833	34.0626854	57.32	5.562257011						
somme													247.374	545.83937		66.3624749	

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus amont (R=80.28m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> (m)	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	Tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tangφ°	(a*dn*G) / R
	(m)	(m)		(recharges)	(noyau)											
-2	14.95	4.24	0	2.25	2.2	0.1667	0.986	0	15.1620673	0.67	142.623	140.6281745	-23.7705	0	94.2208769	11.03747103
-1	8	7.87				0.0833	0.9965		8.0279233		141.66	141.1672681	-11.805		94.58206961	10.71308161
0	8	11.34				0,00	1		8		204.12	204.12	0		136.7604	15.03389058
1	8	13.68				0.0833	0.9167		8.72727273		246.24	225.72	20.52		151.2324	17.9520861
2	8	15.37				0.1667	0.986		8.11348085		276.66	272.7904388	46.11		182.769594	20.01546188
3	8	16.26				0.25	0.9682		8.26236447		292.68	283.3861914	73.17		189.8687483	21.1394583
4	8	16.45				0.3333	0.9428		8.48528137		296.1	279.1657572	98.7		187.0410573	21.43663677
5	8	15.73				0.4167	0.9091		8.80030557		283.14	257.3910623	117.975		172.4520118	20.79463677
6	8	14.15				0.5	0.866		9.23760431	254.7	220.5766703	127.35	147.7863691		19.1678565	
7	8	11.26	0.5833	0.8122	9.84939218	202.68	164.6233565	118.23	110.2976488	15.57616502						
8	6.42	6.51	0.6667	0.7454	8.61333385	91.94724	68.53342633	61.29816	27.41337053	7.239624226						
somme													627.77766	0	1494.424546	180.1063688

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus aval (R=70.1m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	Tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(m)	Recharge			(KPA)	(m)									
-2	16.93	5.82	2.25	-0.18182	0.9833	0	17.22	34	0.67	221.69835	218.00312	-40.308791	0	146.06209	67.01	16.94198881
-1	7.1	9.21		-0.09091	0.9959		7.13			147.12975	146.52051	-13.375432		98.168745	64.96	10.89955645
0	7.1	11.96		0,00	1		7.1			191.061	191.061	0		128.01087	36.59	7.972541115
1	7.1	14.06		0.090909	0.9959		7.13			224.6085	223.67844	20.4189545		149.86455	63.22	16.19358446
2	7.1	15.53		0.181818	0.9833		7.22			248.09175	243.9566	45.1075909		163.45092	62.65	17.72538633
3	7.1	16.33		0.272727	0.9621		7.38			260.87175	250.98246	71.1468409		168.15825	62.23	18.51352702
4	7.1	16.4		0.363636	0.9315		7.622			261.99	244.05442	95.2690909		163.51646	62.82	18.76916527
5	7.1	15.67		0.454545	0.8907		7.971			250.32825	222.97327	113.785568		149.39209	63.58	18.15067157
6	7.1	13.85		0.545455	0.8381		8.471			221.25375	185.44171	120.683864		124.24594	65.07	16.41851063
7	7.1	10.93		0.636364	0.7714		9.204			174.60675	134.68976	111.113386		90.242142	66.61	13.26364147
8	6.6	6.41	0.727273	0.6863	9.616	95.1885	65.332492	69.228	43.77277	68.51	7.437051045					
somme												593.069073	0	1424.8848		162.2856242

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus aval (R=68.32m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tan φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(m)	Recharge												
-2	16.93	5.82	2.25	-0.18182	0.983332	0	17.21697	34	221.69835	218.003119	-40.3088	0	146.0620895	67.01	16.94198881
-1	7.1	9.21		-0.09091	0.995859		7.129522		147.12975	146.520514	-13.3754		98.16874469	64.96	10.89955645
0	7.1	11.96		0,00	1		7.1		191.061	191.061	0		128.01087	36.59	7.972541115
1	7.1	14.06		0.090909	0.995859		7.129522		224.6085	223.67844	20.41895		149.8645549	63.22	16.19358446
2	7.1	15.53		0.181818	0.983332		7.220348		248.09175	243.956598	45.10759		163.4509206	62.65	17.72538633
3	7.1	16.33		0.272727	0.962091		7.379756		260.87175	250.982463	71.14684		168.1582505	62.23	18.51352702
4	7.1	16.4		0.363636	0.931541		7.62178		261.99	244.054421	95.26909		163.5164621	62.82	18.76916527
5	7.1	15.67		0.454545	0.890724		7.971048		250.32825	222.973266	113.7856		149.392088	63.58	18.15067157
6	7.1	13.85		0.545455	0.83814		8.471134		221.25375	185.441708	120.6839		124.2459441	65.07	16.41851063
7	7.1	10.93	0.636364	0.771389	9.204173	174.60675	134.689764	111.1134	90.24214186	66.61	13.26364147				
8	6.6	6.41	0.727273	0.686349	9.616105	95.1885	65.3324923	69.228	43.77276983	68.51	7.437051045				
somme											593.0691	0	1424.884836		162.2856242

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus aval (R=71.65m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub> (m)	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	tangφ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	N <sub>i</sub> *tang° φ	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G)/ R
	(m)	(m)		(recharges)	(noyau)			(KPA)	(m)								
-2	8.5	6.7	0	2.25	2.2	0.16667	0.98601	0	8.6206	34	0.67	128.1375	126.3452789	-21.35625	84.65133684	68.35	9.778867411
-1	7.16	10.11	0			0.08333	0.99652		7.185			162.8721	162.3055866	-13.572675	108.744743	65.91	11.98593174
0	7.16	12.88	0			0	1		7.16			207.4968	207.4968	0	139.022856	64.33	14.90385948
1	7.16	15.07	0			0.08333	0.99652		7.185			242.7777	241.9332533	20.231475	162.0952797	63.45	17.19943622
2	7.16	16.54	0			0.16667	0.98601		7.2616			266.4594	262.7325116	44.4099	176.0307827	62.87	18.70459453
3	7.16	17.34	0			0.25	0.96825		7.3948			279.3474	270.476957	69.83685	181.2195612	62.98	19.6436
4	7.16	17.43	0			0.33333	0.94281		7.5943			280.7973	264.7382333	93.5991	177.3746163	63.61	19.94307467
5	7.16	16.72	0			0.41667	0.90906		7.8763			269.3592	244.8634974	112.233	164.0585432	64.19	19.30514116
6	7.16	15.07	0			0.5	0.86603		8.2677			242.7777	210.2516557	121.38885	140.8686093	66.37	17.99096268
7	7.16	12.27	0			0.58333	0.81223		8.8152			197.6697	160.5538262	115.307325	107.5710635	68.04	15.01682779
8	3.68	7.95	0	0.66667	0.74536	4.9372	65.826	49.06380356	43.884	32.87274839	69.14	5.081601831					
9	3.37	1	3.93	0.75	0.66144	5.095	36.55102	24.17622727	27.413265	9.670490909	70.68	2.884495289					
somme														613.37484	1484.180631		172.4383928

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus aval (R=59.03m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(m)	(recharges)												
-2	7	5.64	2.25	-0.1818	0.9833 3	0	7.118652 5	34	88.83	87.34939 6	-16.150909	0	58.52409553	56.25	6.771726241
-1	5.9	8.45		-0.0909	0.9958 6		5.924532 3		112.17375	111.7092 6	-10.197614		74.84520449	54.23	8.244191038
0	5.9	10.73		0	1		5.9		142.44075	142.4407 5	0,00000		95.4353025	52.98	10.22735685
1	5.9	12.49		0.0909 1	0.9958 6		5.924532 3		165.80475	165.1181 8	15.073159		110.6291839	51.98	11.68020451
2	5.9	13.72		0.1818 2	0.9833 3		6.000007 1		182.133	179.0972 4	33.115091		119.9951491	52.1	12.86007698
3	5.9	14.39		0.2727 3	0.9620 9		6.132473 6		191.02725	183.7856 7	52.098341		123.1364	52.64	13.62788337
4	5.9	14.49		0.3636 4	0.9315 4		6.333591 5		192.35475	179.1863 3	69.947182		120.0548425	51.74	13.48796851
5	5.9	13.91		0.4545 5	0.8907 2		6.623828 5		184.65525	164.4767 8	83.934205		110.1994416	52.96	13.25338579
6	5.9	12.57		0.5454 5	0.8381 4		7.039393 4		166.86675	139.8577 7	91.018227		93.70470286	54	12.21183059
7	5.9	10.33	0.6363 6	0.7713 9	7.648538 3	137.13075	105.7811 8	87.265023	70.87339175	55.64	10.34044375				
8	7.07	6.81	0.7272 7	0.6863 5	10.30088 8	108.330075	74.35219 4	78.785509	49.81596977	57.59	8.454994436				
somme											484.88821	0	1027.213684		121.1600621

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus aval (R=65.91m)**

N° T	b <sub>i</sub> (m)	Recharges		Noyau h <sub>1</sub>	fondations h	γ(recharges et fondations)		γ (noyau)		sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
		h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>			γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>										
-4	8.5	6.09	0	0	4.33	2.25	2.2	2.2	2.0	-0.27	0.96	8.819 4	199.2825	192.0662 5	-53.142	0	128.68438	61.65	14.91217 251
-3	6.6	8.35	0	0	6.49					-0.2	0.98	6.736 1	220.374	215.9215 4	-44.0748		144.66743	56.85	15.20650 815
-2	6.6	10.6 1	0	0	7.99					-0.13	0.99	6.659 5	276.21	273.7437 9	-36.828		183.40834	54.13	18.14747 055
-1	6.6	12.8 7	0	0	8.88					-0.07	1	6.614 7	322.9875	322.2689 5	-21.5325		215.9202	52.84	20.71510 787
0	6.6	15.1 3	0	0	9.18					0	1,00	6.6	361.0035	361.0035	0		241.87235	51.05	22.36896 213
1	6.6	17.3 9	0	0	8.88					0.067	1	6.614 7	390.1095	389.2416 2	26.0073		260.79189	49.92	23.63740 402
2	6.6	19.6 5	0	0	8					0.133	0.99	6.659 5	410.6025	406.9363 3	54.747		272.64734	51.38	25.60674 429
3	6.6	21.9 1	0	0	6.47					0.2	0.98	6.736 1	421.443	412.9281 2	84.2886		276.66184	51.67	26.43114 527
4	6.6	24.1 6	0	0	4.33					0.267	0.96	6.848	423.0765	407.7564	112.8204		273.19679	52.68	27.05224 703
5	6.6	26.4 2	0	0	1.41					0.333	0.94	7.000 4	413.2755	389.6398 8	137.7585		261.05872	53.73	26.95225 928
6	6.6	26.3 5	0	0	0	0.4	0.92	7.201 2	391.2975	358.6300 8	156.519	240.28216	55.55	26.38334 228					
7	6.6	23.8	0	0	0	0.467	0.88	7.462 4	353.43	312.5852 5	164.934	209.43212	58.16	24.94976 641					
8	6.6	19.8 9	0	0	0	0.533	0.85	7.802 3	295.3665	249.8520 5	157.5288	167.40087	60.97	21.85828 615					
9	5.91	8.44	0	5.34	0	0.6	0.8	7.387 5	179.16756	143.3340 5	107.5005 4	57.333619	62.96	13.69187 022					
10	3.33	1	0	7.44	0	0.667	0.75	4.467 7	61.83144	46.08643 4	41.22096	18.434574	62.09	4.659825 956					
somme															887.7478	0	2951.7926		312.5731

**Stabilité pour le cas de fin de construction du talus aval (R=55.5m)**

N T	b(m)	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	γ <sub>s</sub>	sinα	cosα	C	dl	φ°	tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
		(m)	(m)	(recharges)			(Kpa)	(m)								
-2	7.06	8,87	4.89	2.25	-0.182	0.98333217	0	7.1796695	34	0.67	77.678	76.38293183	-14.12320909	51.17656432	53.1	5.945489319
-1	5.5	11,35	7.52		-0.091	0.9958592		5.5228691			93.06	92.67465673	-8.46	62.09202001	51.12	6.857264432
0	5.5	11,35	9.67		0	1		5.5			119.67	119.66625	0	80.1763875	50.16	8.652193297
1	5.5	11,35	11.32		0.0909	0.9958592		5.5228691			140.09	139.5049354	12.735	93.46830672	48.47	9.787272
2	5.5	11,35	12.47		0.1818	0.98333217		5.593227			154.32	151.7441324	28.0575	101.6685687	48.98	10.8950053
3	5.5	11,35	13.11		0.2727	0.96209139		5.7167127			162.24	156.0860986	44.24625	104.5776861	48.7	11.38869243
4	5.5	11,35	13.16		0.3636	0.93154098		5.9041954			162.86	151.7061061	59.22	101.6430911	49.24	11.55889038
5	5.5	11,35	12.64		0.4545	0.89072354		6.1747554			156.42	139.3269766	71.1	93.3490743	50.1	11.29606054
6	5.5	11,35	11.45		0.5455	0.83814041		6.5621463			141.69	118.759257	77.2875	79.56870222	51.22	10.46133892
7	5.5	11,35	9.25	0.6364	0.77138922	7.1299934	114.47	88.2999593	72.84375	59.16097273	52.13	8.60145				
8	6.29	7,16	5.93	0.7273	0.68634859	9.1644394	83.924	57.60134171	61.03587273	38.59289895	55.49	6.71273628				
somme													403.9426636	865.4742726		102.1563929

Stabilité pour le cas de service du talus aval(R=68.74m).

N° T	b <sub>i</sub> (m)	Recharges		Noyau		fondations h	γ(recharges et fondations)		γ (noyau)		sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R	l	U*I*tang φ°
		h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>		γ	γsat	γ <sub>s</sub>	γsat												
-4	6.88	5.14	0.13	0	0	0.56	2	2.25	2	2.2	-0.29	0.96	7.18	81.4076	78.0141	-23.259	0	52.269455	66.05	6.25775034	7.179	2.6936617
-3	6.88	7.5	0.13	0	0	2.83					-0.21	0.98	7.04	149.0208	145.559	-31.933		97.524664	63.74	11.05450776	7.044	13.3554003
-2	6.88	9.85	0.13	0	0	4.41					-0.14	0.99	6.95	205.8152	203.704	-29.402		136.48183	61.69	14.77653732	6.951	20.538998
-1	6.88	12.21	0.13	0	0	5.35					-0.07	1	6.9	252.84	252.194	-18.06		168.9701	59.95	17.64068432	6.898	24.7245134
0	6.88	14.61	0.13	0	0	5.66					0	1	6.88	290.6628	290.663	0,000		194.74408	58.37	19.74511217	6.88	26.090336
1	6.88	16.92	0.13	0	0	5.37					0.071	1	6.9	317.9592	317.147	22.7114		212.48852	57.59	21.31075976	6.898	24.8169415
2	6.88	19.27	0.13	0	0	4.46					0.143	0.99	6.95	336.2084	332.76	48.0298		222.94921	57.06	22.32650719	6.951	20.7718664
3	6.88	21.63	0.13	0	0	2.89					0.214	0.98	7.04	344.3784	336.379	73.7954		225.37382	57.01	22.84901086	7.044	13.6385536
4	6.88	23.98	0.13	0	0	0.65					0.286	0.96	7.18	342.0392	327.781	97.7255		219.61343	57.44	22.86497719	7.179	13.9012184
5	6.88	24.13	0	0	0	0					0.357	0.93	7.37	332.0288	310.131	118.582		207.78806	58.36	22.55129563	7.366	0
6	6.88	22.63	0	0	0	0					0.429	0.9	7.61	311.3888	281.342	133.452		188.4993	59.77	21.66186108	7.615	0
7	6.88	19.95	0	0	0	0					0.5	0.87	7.94	274.512	237.734	137.256		159.28202	61.56	19.66710354	7.944	0
8	6.88	15.88	0	0	0	0					0.571	0.82	8.38	218.5088	179.32	124.862		120.14416	63.77	16.21682418	8.384	0
9	6.88	6.1	0	3.52	0	0	0.643	0.77	8.98	132.3712	101.394	85.0958	40.557799	66.29	10.21226284	8.982	0					
somme																738.855	0	2246.6864		249.1351942		160.531489

Stabilité pour le cas de service du talus aval(R=72.04m)

N° T	b <sub>i</sub> (m)	Recharges		Noyau		fondations h	(recharges et fondations)		(noyau)		sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R	l	U*l*tang φ°
		h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>		γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>												
-3	7.2	1.77	0	0	0	0	2	2.25	2	2.2	0.25	0.97	7.44	25.488	24.67865	-6.372	0,00	16.534695	71.19	2.01498137	7.44	0
-2	7.2	5.59	0	0	0	0					0.17	0.99	7.3	80.496	79.37013	-13.416		53.177985	69.29	6.19385657	7.3	0
-1	7.2	8.81	0	0	0	0					0.08	1	7.23	126.864	126.4227	-10.572		84.703231	67.65	9.53064919	7.23	0
0	7.2	11.59	0	0	0	0					0	1	7.2	166.896	166.896	0		111.82032	65.81	12.1970303	7.2	0
1	7.2	13.74	0	0	0	0					0.08	1	7.23	197.856	197.1678	16.488		132.10243	65.2	14.3256093	7.23	0
2	7.2	15.24	0	0	0	0					0.17	0.99	7.3	219.456	216.3865	36.576		144.97898	64.57	15.7360066	7.3	0
3	7.2	16.07	0	0	0	0					0.25	0.97	7.44	231.408	224.0598	57.852		150.12009	64.61	16.6032991	7.44	0
4	7.2	16.18	0	0	0	0					0.33	0.94	7.64	232.992	219.667	77.664		147.17687	64.61	16.7169496	7.64	0
5	7.2	15.48	0	0	0	0					0.42	0.91	7.92	222.912	202.6402	92.88		135.76896	65.31	16.1669991	7.92	0
6	7.2	13.86	0	0	0	0					0.5	0.87	8.31	199.584	172.8448	99.792		115.80603	66.43	14.7233372	8.31	0
7	7.2	11.09	0	0	0	0	0.58	0.81	8.86	159.696	129.7103	93.156	86.905927	67.95	12.0503534	8.86	0					
8	7.2	3.14	0	3.4	0	0	0.67	0.75	9.66	99.072	73.84391	66.048	29.537564	69.84	7.68371847	9.66	0					
9	6.31	0,55	0	0	0	0	0,69	0,72	0,36	2,7885	2,01218836	#NOM?	0,00	1,17	59,62	0,16	13,75	0				
somme																510.096	0	1208.6331		143.94279		0

**Stabilité pour le cas de service du talus aval(R=60.54m)**

N° T	b <sub>i</sub> (m)	Recharges		Noyau		fondations h	γ(recharges et fondations)		g <sub>i</sub> (noyau)		sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tangφ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R	l	U*I*tang φ°
		h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>		γ	γsat	γ <sub>s</sub>	γsat												
-4	6.05	6.95	0.13	0	0	0	2	2.25	2	2.2	-0.29	0.96	6.31	85.86463	82.28535	-24.5328	0	55.131181	57.33	6.50494741	6.31	0
-3	6.05	10.36	0.13	0	0	0.54					-0.21	0.98	6.19	134.4764	131.3526	-28.8164	0	88.00626	55.27	9.82161777	6.19	2.239542
-2	6.05	12.43	0.13	0	0	1.95					-0.14	0.99	6.11	178.717	176.884	-25.531	0	118.51225	53.43	12.618235	6.11	7.982715
-1	6.05	14.5	0.13	0	0	2.75					-0.07	1	6.07	214.654	214.1057	-15.3324	0	143.45083	51.86	14.7102166	6.06	11.16555
0	6.05	16.67	0.13	0	0	3.07					0,00	1,00	6.05	245.267	245.267	0,000	0	164.32889	50.51	16.3705797	6.05	12.444245
1	6.05	18.64	0.13	0	0	2.82					0.071	1	6.07	265.7009	265.0222	18.97863	0	177.56487	49.78	17.4781494	6.06	11.449764
2	6.05	20.72	0.13	0	0	1,78					0.143	0.99	6.11	276.7119	273.8737	39.53027	0	183.4954	49.32	18.0342645	6.11	8.433022
3	6.05	22.78	0.13	0	0	2.06					0.214	0.98	6.19	305.4494	298.3541	65.45344	0	199.89725	49.3	19.8991136	6.19	2.90311
4	6.05	23.73	0	0	0	0.7					0.286	0.96	6.31	296.6618	284.2954	84.7605	0	190.47789	49.71	19.4873546	6.31	0
5	6.05	23.18	0	0	0	0					0.357	0.93	6.48	280.478	261.9804	100.1707	0	175.52688	50.56	18.7393032	6.47	0
6	6.05	21.86	0	0	0	0					0.429	0.9	6.7	264.506	238.9833	113.3597	0	160.11879	51.83	18.1160832	6.69	0
7	6.05	19.58	0	0	0	0					0.5	0.87	6.99	236.918	205.177	118.459	0	137.46859	53.49	16.7462753	6.98	0
8	6.05	16.06	0	0	0	0					0.571	0.82	7.37	194.326	159.474	111.0434	0	106.84757	55.52	14.2569931	7.37	0
9	6.05	9.12	0	1.53	0	0	0.643	0.77	7.9	131.1791	100.4814	84.32944	0	40.192554	57.82	10.0228305	7.89	0				
somme																641.8726	0	1941.0192		212.805964		56.617948

**Stabilité pour le cas de service du talus aval(R=70m)**

N° T	b <sub>i</sub>  (m)	Recharges		Noyau		fondations  h	γ(recharges et fondations)		γ (noyau)		sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R	l	U*I*tang φ°
		h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>		γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>												
-3	7	3.8	0,33	0	0	0.27	2	2.25	2	2.2	-0.231	0.973	7.19	62.65	60.958983	-14.4577	0	40.842519	67.98	4.867368	7.19	1.300671
-2	7	6.19	0,33	0	0	1.86					-0.154	0.988	7.08	121.1525	119.71016	-18.6388	0	80.205805	65.98	9.1355908	7.08	8.823096
-1	7	5.58	0,33	0	0	2.8					-0.077	0.997	7.02	127.4175	127.03997	-9.80135	0	85.116777	64.27	9.3589974	7.02	13.16952
0	7	10.98	0,33	0	0	3.11					0	1	7	207.9	207.9	0,000	0	139.293	61.92	14.712192	7	14.5859
1	7	13.38	0,33	0	0	2.8					0.0769	0.997	7.02	228.4275	227.75068	17.57135	0	152.59295	61.88	16.1543928	7.02	13.16952
2	7	15.74	0,33	0	0	1.86					0.1538	0.988	7.08	254.8525	251.81843	39.20808	0	168.71835	61.3	17.854238	7.08	8.823096
3	7	18.17	0,33	0	0	0.27					0.2308	0.973	7.19	263.83	256.70884	60.88385	0	171.99492	61.14	18.4349328	7.19	1.300671
4	7	18.68	0	0	0	0					0.3077	0.951	7.36	261.52	248.8326	80.46769	0	166.71784	61.45	18.366176	7.35	0
5	7	18	0	0	0	0					0.3846	0.923	7.58	252	232.61538	96.92308	0	155.85231	62.19	17.91072	7.58	0
6	7	16.42	0	0	0	0					0.4615	0.887	7.89	229.88	203.93119	106.0985	0	136.6339	63.39	16.6538208	7.89	0
7	7	13.73	0	0	0	0					0.5385	0.843	8.31	192.22	161.9742	103.5031	0	108.52271	64.99	14.2770032	8.3	0
8	7	9.56	0	0	0	0					0.6154	0.788	8.88	133.84	105.4963	82.36308	0	70.682521	66.94	10.2391424	8.88	0
9	5.99	3.15	0	0	0	0	0.6923	0.722	8.3	37.737	27.231111	26.12562	0	10.892444	69.17	2.98316376	8.3	0				
somme																570.2464	0	1488.066		170.947738		61.172474

Stabilité pour le cas de service du talus aval(R=66.16m)

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>	γ <sub>s</sub> (recharges)	sinα	cosα	C (Kpa)	dl (m)	φ°	tang φ°	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R	l	U*1*tang φ°
	(m)	(m)																
-2	6.6	2.16	2	-0.18	0.983	0	6.71187	34	0.67	28.512	28.0367667	-5.184	0	18.7846337	65.1	2.244414994	6.71	0
-1	6.6	5.31		-0.09	0.996		6.62744			70.092	69.8017627	-6.372		46.767181	63.52	5.383608029	6.62	0
0	6.6	7.85		0	1		6.6			103.62	103.62	0		69.4254	61.66	7.725766868	6.6	0
1	6.6	9.82		0.091	0.996		6.62744			129.624	129.087252	11.784		86.4884591	61.27	9.603461282	6.62	0
2	6.6	11.2		0.182	0.983		6.71187			147.84	145.375827	26.88		97.4018044	60.67	10.84577122	6.71	0
3	6.6	12		0.273	0.962		6.86006			157.872	151.887291	43.056		101.764485	60.45	11.53973688	6.86	0
4	6.6	12.1		0.364	0.932		7.08503			159.192	148.293871	57.888		99.3568939	60.61	11.66702191	7.08	0
5	6.6	11.4		0.455	0.891		7.40971			150.876	134.388805	68.58		90.0404995	61.17	11.15971574	7.41	0
6	6.6	9.95		0.545	0.838		7.87458			131.34	110.081361	71.64		73.7545117	62.11	9.863999274	7.87	0
7	6.6	7.43		0.636	0.771		8.55599			98.076	75.6547687	62.412		50.6886951	63.4	7.518764692	8.55	0
8	6.6	3.54	0.727	0.686	9.6161	46.728	32.0716967	33.984	21.4880368	65.01	3.673261524	9.62	0					
somme												364.668	0	755.9606		91.22552242		0

**Stabilité pour le cas de service du talus aval (R=64.04m)**

N° T	b <sub>i</sub> (m)	Recharges		Noyau		fondation		γ recharges		γ(noyau)		sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tangφ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R	l	U*I*tang φ°
		h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>sat</sub>												
-4	6.04	4.87	0	0	0							-0.29	0.96	6.303	58.8296	56.37727915	- 16.80845714	0	37.772777	61.72	4.537994578	6.3	0
-3	6.04	9.16	0	0	0							-0.21	0.98	6.184	110.6528	108.0824487	- 23.71131429	0	72.4152406	59.63	8.246494565	6.18	0
-2	6.04	12.08	0.13	0	0.6							-0.14	0.99	6.103	229.2331	226.8819291	- 32.74758571	0	152.010893	57.73	16.53944929	6.1	2.4522
-1	6.04	14.27	0.13	0	1.45							-0.07	1	6.055	174.1483	173.703476	- 12.43916429	0	116.381329	56.13	12.21677123	6.05	5.877575
0	6.04	16.57	0.13	0	1.73							0	1	6.04	245.94	245.94	0,000	0	164.7798	53.8	16.53688111	6.04	7.000964
1	6.04	18.57	0.13	0	1.44							0.071	1	6.055	245.6619	245.0344101	17.54727857	0	164.173055	53.95	16.56423622	6.055	5.841864
2	6.04	20.84	0.13	0	0.6	2	2.25	2	2.2			0.143	0.99	6.103	273.0835	270.2825695	39.01192857	0	181.089322	53.46	18.24595396	6.1	2.4522
3	6.04	22.29	0	0	0							0.214	0.98	6.184	269.2632	263.0084915	57.69925714	0	176.215689	53.4	17.97051071	6.18	0
4	6.04	22.39	0	0	0							0.286	0.96	6.303	270.4712	259.1965668	77.27748571	0	173.6617	53.8	18.18634658	6.3	0
5	6.04	21.77	0	0	0							0.357	0.93	6.466	262.9816	245.6379039	93.922	0	164.577396	54.64	17.95883721	6.46	0
6	6.04	20.32	0	0	0							0.429	0.9	6.685	245.4656	221.7801095	105.1995429	0	148.592673	55.91	17.15229707	6.68	0
7	6.04	17.86	0	0	0							0.5	0.87	6.974	215.7488	186.8439416	107.8744	0	125.185441	57.58	15.52609393	6.97	0
8	6.04	14.06	0	0	0							0.571	0.82	7.36	169.8448	139.383442	97.05417143	0	93.3869061	59.61	12.65358354	7.36	0
9	6.04	3.77	0	4.43	0							0.643	0.77	7.885	105.7453	80.99942915	67.97912143	0	32.3997717	61.92	8.183407563	7.88	0
somme																	577.8586643	0	1802.64199		200.5188576		23.624803

**Stabilité pour le cas de vidange rapide du talus amont(R=70.92m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	h <sub>2</sub> (noyau)	h <sub>3</sub> (fondation)	(recharges et fondations)	(noyau)	sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(recharges)														
-2	7.97	2.54	0	0	2.25	2.2	-0.182	0.983	8.11	45.54855	44.789354	-8.281555	0,00	30.0088674	69.7	3.579658746
-1	7	5.77	0	0			-0.091	0.996	7.03	90.8775	90.501194	-8.261591	0,00	60.6358	68	6.974963452
0	7	8.47	0	0			0	1	7	133.4025	133.4025	0,000	0,00	89.379675	66.6	10.02663122
1	7	10.56	0	0			0.091	0.996	7.03	166.32	165.6313	15.12	0,00	110.972972	65.7	12.31874924
2	7	12.11	0	0			0.182	0.983	7.12	190.7325	187.5534	34.678636	0,00	125.66078	65	13.98059543
3	7	12.88	0	0			0.273	0.962	7.28	202.86	195.16986	55.325455	0,00	130.763805	64.8	14.8214802
4	7	12.97	0	0			0.364	0.932	7.51	204.2775	190.29286	74.282727	0,00	127.496218	64.2	14.79830914
5	7	12.28	0	0			0.455	0.891	7.86	193.41	172.27484	87.913636	0,00	115.424143	65.6	14.30339492
6	7	10.72	0	0			0.545	0.838	8.35	168.84	141.51163	92.094545	0,00	94.8127894	66.5	12.67299898
7	7	8.07	0	0			0.636	0.771	9.07	127.1025	98.045498	80.883409	0,00	65.6904835	67.9	9.738073096
8	8.15	4.05	0	0	0.727	0.686	11.9	74.266875	50.972965	54.012273	0,00	34.1518863	69.6	5.830766497		
somme												477.76754	0	984.997419		119.0456209

**Stabilité pour le cas de vidange rapide du talus amont(R=65.78m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>			(recharges et fondations)	(noyau)	sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(recharges)	h <sub>2</sub> (noyau)	h <sub>3</sub>												
				(fondations)												
-3	10.58	4.06	0	0	2.25	2.2	-0.25	0.97	10.93	96.6483	93.57931	-24.1621	0,00	62.69814	63.39	7.45094039
-2	6.58	7.11	0	1.5			-0.167	0.99	6.673	127.4711	125.6882	-21.2452	0,00	84.211061	61.54	9.54036901
-1	6.58	9.16	0	2.25			-0.083	1	6.603	168.9251	168.3375	-14.0771	0,00	112.78611	60.09	12.3450365
0	6.58	11.29	0	2.52			0	1	6.58	204.4571	204.4571	0,000	0,00	136.98622	57.84	14.3822387
1	6.58	13.82	0	2.15			0.083	1	6.603	236.4359	235.6135	19.70299	0,00	157.86102	57.32	16.482217
2	6.58	16.21	0	1.11			0.167	0.99	6.673	256.4226	252.8361	42.7371	0,00	169.40018	57.28	17.8630423
3	6.58	17.98	0	0			0.25	0.97	6.796	266.1939	257.7411	66.54848	0,00	172.68656	57.77	18.7023674
4	6.58	17.83	0	0			0.333	0.94	6.979	263.9732	248.8763	87.99105	0,00	166.7471	58.74	18.8577474
5	6.58	16.74	0	0			0.417	0.91	7.238	247.8357	225.2974	103.2649	0,00	150.94923	60.13	18.1238804
6	6.58	14.69	0	0			0.5	0.87	7.598	217.4855	188.3479	108.7427	0,00	126.19311	61.95	16.3857995
7	6.58	11.26	0	0			0.583	0.81	8.101	166.7043	135.4027	97.24418	0,00	90.719816	64.08	12.9916832
8	7	6	0	0			0.667	0.75	9.391	94.5	70.43614	63	0,00	47.192215	64.32	7.39220432
somme												529.7471	0	1478.4308		170.517526

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>			(recharges)	(noyau)	sin $\alpha$	cos $\alpha$	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang $\varphi^\circ$	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(recharges)	h <sub>2</sub> (noyau)	h <sub>3</sub>												
				(fondations)												
-2	8.91	2.68	0	0	2.25	2.2	- 0.181818	0.983332	9.061	53.7273	52.83	-9.7686	0,00	35.39729413	79.99	4.228406569
-1	8	6.42	0	0			- 0.090909	0.995859	8.0333	115.56	115.1	- 10.5054545	0,00	77.10459738	78.11	8.880965785
0	8	9.36	0	0			0	1	8	168.48	168.5	0	0,00	112.8816	76.19	12.62968019
1	8	11.75	0	0			0.090909	0.995859	8.0333	211.5	210.6	19.2272727	0,00	141.1182273	75.46	15.70265896
2	8	13.53	0	0			0.181818	0.983332	8.1356	243.54	239.5	44.28	0,00	160.4520795	74.68	17.89454404
3	8	14.42	0	0			0.272727	0.962091	8.3152	259.56	249.7	70.7890909	0,00	167.3126949	74.43	19.00779811
4	8	14.52	0	0			0.363636	0.931541	8.5879	261.36	243.5	95.04	0,00	163.1232586	74.62	19.18847197
5	8	13.7	0	0			0.454545	0.890724	8.9815	246.6	219.7	112.090909	0,00	147.1671252	75.33	18.27709064
6	8	11.9	0	0			0.545455	0.83814	9.5449	214.2	179.5	116.836364	0,00	120.2848821	76.48	16.1180824
7	8	8.84	0	0			0.636364	0.771389	10.371	159.12	122.7	101.258182	0,00	82.23811286	78.02	12.21452948
8	7.05	1	3.7	0			0.727273	0.686349	10.272	72.897	50.03	53.016	0,00	20.01310112	79.65	5.712700578
somme												592.263764	0	1227.092973		149.8549287

Stabilité pour le cas de vidange rapide du talus amont(R=81.31m)

**Stabilité pour le cas de vidange rapide du talus amont(R=78.24m)**

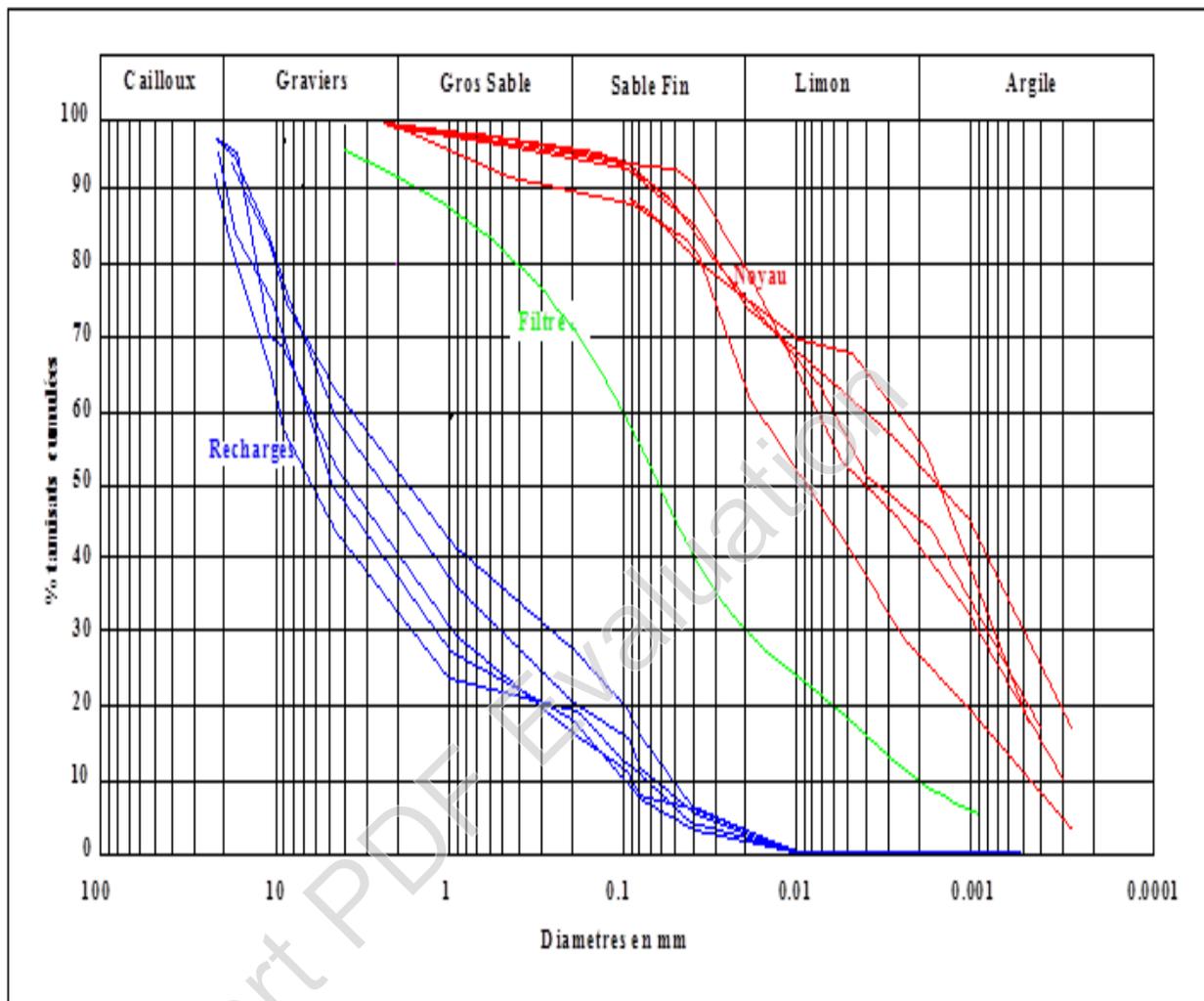
N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>			(recharges et fondations)	(noyau)	sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(recharges)	h <sub>2</sub> (noyau)	h <sub>3</sub>												
				(fondations)												
-2	7.62	2.02	0	0	2.25	2.2	-0.18	0.983	7.749	34.6329	34.055645	-6.296891	0,00	22.817282	77.25	2.735574156
-1	7.83	5.74	0	0			-0.09	0.996	7.863	101.12445	100.70571	-9.193132	0,00	67.472828	75.38	7.794234193
0	7.83	8.75	0	0			0	1	7.83	154.153125	154.15313	0	0,00	103.28259	73.34	11.55990817
1	7.83	11.07	0	0			0.091	0.996	7.863	195.025725	194.21816	17.729611	0,00	130.12617	72.73	14.50329343
2	7.83	12.7	0	0			0.182	0.983	7.963	223.74225	220.01295	40.680409	0,00	147.40868	72.01	16.47410984
3	7.83	13.61	0	0			0.273	0.962	8.139	239.774175	230.68467	65.392957	0,00	154.55873	71.74	17.58834286
4	7.83	13.7	0	0			0.364	0.932	8.405	241.35975	224.8365	87.767182	0,00	150.64045	71.93	17.75154071
5	7.83	12.94	0	0			0.455	0.891	8.791	227.97045	203.05865	103.62293	0,00	136.04929	72.59	16.9206288
6	7.83	11.16	0	0			0.545	0.838	9.342	196.6113	164.78787	107.24253	0,00	110.40788	73.69	14.81419908
7	7.83	8.14	0	0			0.636	0.771	10.15	143.40645	110.62219	91.25865	0,00	74.116867	75.22	11.02968627
8	8.45	3.47	0	0	0.727	0.686	12.31	65.973375	45.280733	47.980636	0,00	30.338091	77.1	5.20096852		
somme												546.18488	0	1127.2189		136.372486

**Stabilité pour le cas de vidange rapide du talus amont(R=66.35m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>			(recharges et fondations)	(noyau)	sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(recharges)	h <sub>2</sub> (noyau)	h <sub>3</sub> (fondations)												
-4	6.62	5.45	0	0	2.25	2.2	-0.29	0.96	6.908	81.17775	77.79384	-23.19364	0	52.121875	63.82	6.246588099
-3	6.62	8.68	0	1.52			-0.21	0.98	6.777	151.929	148.3998	-32.55621	0	99.427896	61.77	11.31533303
-2	6.62	10.95	0	2.7			-0.14	0.99	6.689	203.3168	201.2314	-29.04525	0	134.82503	59.65	14.62287161
-1	6.62	13.21	0	3.59			-0.07	1	6.637	250.236	249.5968	-17.874	0	167.22987	57.98	17.49351413
0	6.62	15.48	0	3.88			0	1	6.62	288.3672	288.3672	0	0	193.20602	55.15	19.17522361
1	6.62	17.74	0	3.59			0.071	1	6.637	317.7104	316.8988	22.693596	0	212.32221	55.73	21.34860323
2	6.62	19.98	0	2.7			0.143	0.99	6.689	337.8186	334.3537	48.2598	0	224.01698	55.23	22.49612211
3	6.62	22.26	0	1.21			0.214	0.98	6.777	349.5857	341.4651	74.911211	0	228.78164	55.18	23.25864195
4	6.62	23.56	0	0			0.286	0.96	6.908	350.9262	336.2978	100.26463	0	225.31952	55.59	23.52131118
5	6.62	22.93	0	0			0.357	0.93	7.087	341.5424	319.0176	121.97941	0	213.74176	56.47	23.2547358
6	6.62	21.48	0	0			0.429	0.9	7.327	319.9446	289.0725	137.11911	0	193.67856	57.79	22.29341183
7	6.62	18.91	0	0			0.5	0.87	7.644	281.6645	243.9286	140.83223	0	163.43214	59.53	20.21701246
8	6.62	14.99	0	0			0.571	0.82	8.067	223.2761	183.2319	127.58631	0	122.76537	61.64	16.59410486
9	6.1	6.3	2.67	0			0.643	0.77	7.964	120.3774	92.20741	77.385471	0	36.882966	64.05	9.296364696
somme												748.36266	0	2267.7519		251.1338386

**Stabilité pour le cas de vidange rapide du talus amont(R=82.06m)**

N° T	b <sub>i</sub>	h <sub>1</sub>			(recharges et fondations)	(noyau)	sinα	cosα	dl	G <sub>i</sub>	N <sub>i</sub>	T <sub>i</sub>	C*dl	N <sub>i</sub> *tang φ°	dn <sub>i</sub>	(a*dn*G) / R
	(m)	(recharges)	h <sub>2</sub> (noyau)	h <sub>3</sub>												
				(fondations)												
-2	8.2	5.38	0	0	2.25	2.2	- 0.182	0.983	8.339	99.261	97.606534	- 18.047455	0,00	65.3963779	79.42	7.68540933
-1	8.2	9.28	0	0			- 0.091	0.996	8.234	171.216	170.50703	- 15.565091	0,00	114.239709	77.44	12.92611946
0	8.2	12.45	0	0			0	1	8.2	229.7025	229.7025	0	0,00	153.900675	75.34	16.87134911
1	8.2	14.89	0	0			0.091	0.996	8.234	274.7205	273.58294	24.974591	0,00	183.300567	74.65	19.99306393
2	8.2	16.6	0	0			0.182	0.983	8.339	306.27	301.16514	55.685455	0,00	201.780645	73.93	22.0741322
3	8.2	17.54	0	0			0.273	0.962	8.523	323.613	311.34528	88.258091	0,00	208.601337	73.69	23.24839578
4	8.2	17.65	0	0			0.364	0.932	8.803	325.6425	303.34933	118.41545	0,00	203.244053	73.95	23.4767369
5	8.2	16.87	0	0			0.455	0.891	9.206	311.2515	277.23904	141.47795	0,00	185.750156	74.73	22.67591966
6	8.2	15	0	0			0.545	0.838	9.784	276.75	231.95536	150.95455	0,00	155.410089	75.98	20.49960029
7	8.2	11.87	0	0			0.636	0.771	10.63	219.0015	168.9354	139.36459	0,00	113.186715	77.69	16.58710849
8	9.38	1	4.74	0	0.727	0.686	13.67	118.4506	81.298429	86.14592	0,00	32.5193717	80.26	9.268192412		
somme												771.66406	0	1617.3297		195.3060276



FUSEAU GRANULOMETRIQUE DES MATERIAUX