

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Hydraulique

THEME :

**ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLE DE LA DIGUE DU
BARRAGE BAREK (W.BLIDA)**

Présenté par :

Mr SAMY RAMDANE

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
B.BENLAOUKLI	M.C.B	Président
A.ZEROUAL	M.A.A	Examineur
NSAIL	M.A.A	Examineur
S.BERBACHE	M.A.A	Examineur
S.BENSAAD	M.A.B	Examineur
M.K .MIHOUBI	M.C.A	Promoteur

Septembre 2013

Dédicace :

Merci mon dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.

A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années d'études et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Aucune dédicace, ne saurait exprimer à sa juste valeur le profond amour que je vous porte. Puisse Dieu, vous procure santé, bonheur et longue vie.

A ma sœur Sara.

A mon frère Mehdi.

A mes amies.

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Particulièrement à la mémoire de ma défunte arrière-grand-mère Haddad Tassadit.
Je dédie ce travail.

Remerciements

Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Mr MI H OUB I (mon promoteur) pour avoir contribué à l'élaboration de cette présente thèse.

Je tiens à remercier notre école qui nous a accordé cette formation de qualité.

Je remercie également tous mes professeurs et tous professeurs de l'ENSH.

Un merci particulier à Monsieur Z IA N I qui travaille dans le service DET à l'ANBT pour sa collaboration.

Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

ملخص:

لمواجهة قلة المياه, يجب على الدولة الجزائرية إيجاد حلول بتخزين أكبر كمية من المياه, لذا تقوم الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات بدراسة و بناء أكبر عدد ممكن من السدود والحواجز المائية. وفي إطار ذلك تأتي مذكرتنا هذه لتناول دراسة تفصيلية لسد مائي على مستوى ولاية البليدة و هذا لتغطية العجز في مياه السقي. و لتشييد السد تتطلب دراسة دقيقة من جوانب عديدة منها طبوغرافية, جيولوجية و هيدرولوجية و هذا ليتم تحديد النموذج المناسب لإنجاز هذه المنشأة و دراسة ثباتها, أما فيما يتعلق بالإنجاز فيتضمن مختلف المراحل مشروحة بدقة.

Résume :

Pour affronter les pénuries d'eaux, l'état Algérien doit prévoir des solutions, afin de mobiliser de grande quantité d'eau, c'est pour cela l'ANBT a pour mission l'étude et la construction de barrages et de retenue collinaires. Ce présent travail est une étude d'avant-projet détaillé de la digue d'un barrage dans la wilaya de Blida.

Et pour contribuer a l'exécution de ce barrage, une étude plus poussée s'impose, telle que l'étude topographique, géologique, hydrogéologique, et cela pour déterminer le type le plus adéquat ainsi vérifier sa stabilité. Ce document étale les différentes étapes, soigneusement expliquées.

Abstract:

To address the shortage of water, the Algerian state must provide solutions to mobilize large amounts of water, which is mission of the ANBT study and construction of dams and retaining hill. The present work is a study of preliminary design of the embankment of a dam in Blida.

And to contribute to the implementation of the dam, geological, hydrogeological, and topographic studies are needed for determin the most appropriate types and check its stability. This document shows the different steps wich are carefully explained.

SOMMAIRE

Introduction general

Chapitre I : Synthèse de l'étude de Faisabilité

Introduction	1
I.1.Généralités	1
I.1.1.Objectif du barrage	1
I.1.2. Localisation de l'ouvrage.....	1
I.1.3 Fiches techniques du barrage élaboré par le bureau d'étude.....	2
a) Hydrologie	2
b) Réservoir	2
c) Barrage	2
d) Evacuateur de crue.....	3
e) Tunnel de dérivation et de vidange.....	3
f) Tour de prise et des vannes	3
I.2. Topographie	4
I.3 Géologique	5
I.3.1 Généralités	5
I.3.2 Encadrement régional	5
I.3.3 Géologie du réservoir	6
I.3.4 Constatation générale	6
I.3.5 Sismicité	7
I.3.6 Reconnaissances géologique réalisées	7
I.3.7 Géologie du sous-sol.....	10
I.3.8 Caractéristiques géo- mécaniques des roches de fondation	11
I.3.9 Fouille de fondation et écran d'étanchéité	11
I.3.10 Matériaux de construction	12
I.3.11 Faisabilité géologique.	12
I.3.12 Evaluation des paramètres géotechniques :	13
I . 3 . 1 3 S u g g e s t i o n :	14
I.4 Hydrologie	14
I.5 Critiques :	15
Conclusion	16

Chapitre II : Etude Hydrologique

Introduction.....	17
II.1 Le bassin versant	17
II.1.1 Caractéristiques morphologiques	17
a) Caractéristiques géométriques.....	17
b) Paramètres de forme.....	17
b.1) Indice de GRAVELIUS	17
b.2) Coefficient d'allongement	17
b.3) Le relief	18
b.4) Rectangle équivalent	19
b.5) Les indices de pentes	20
A. Indice de pente de roche :	20
B. Indice de pente global :	20
C. Indice de pente moyenne	20

D. Dénivelé spécifique	20
II.1.2) Caractéristiques du réseau hydrographique	21
II.1.2.1 Le réseau hydrographique.....	21
A. Densité de drainage	21
B. Densité des thalwegs élémentaires	21
C. Coefficient de torrentialité	21
D. Rapport de confluence	21
E. Longueur moyenne des versants.....	21
F. Pente moyenne du cours d'eau principale Ic	22
G. Temps de concentration du bassin versant tc :	22
H. Vitesse de ruissellement:.....	22
II.1.3 Profil en long de l'oued.....	23
II.2 Caractéristiques climatique du bassin versant	24
II.2.1 Température	24
II.2.2 Evaporation	24
II.2.3 Le régime du vent	25
II.2.4 Précipitations	25
II.3 Etude précipitations.....	26
II.3.1. Homogénéisation des données.....	26
II.3.2. Les précipitations maximales journalières	27
II.3.2.1. Choix de la loi d'ajustement.....	27
II.3.2.1.1 Ajustement à la loi normal :.....	27
II.3.2.1.2 Ajustement à la loi log normal 3 (GALTON)	28
II.3.2.1.3 Ajustement à la loi Gumbel L-moment.....	29
II.3.2.2. Qualité de l'ajustement.....	30
II.3.2.2.1 Inspection visuelle de la distribution :.....	31
II.3.2.2.2 Inférences statistiques :	31
II.3.3. La pluie de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités.....	32
II.4. Etude des apports	34
II.4.1. L'apport moyen interannuel (A0).....	34
II.4.1.1 : Station hydrométrique	34
II.4.2. Caractéristique de l'écoulement	36
a)Module de l'écoulement :.....	36
b) Module de l'écoulement relatif (spécifique) :	36
c) Lamé d'eau écoulée :	36
d) Coefficient de l'écoulement ou de ruissellement :	36
II.4.3 Les apports fréquents :	37
II.4.3.1 Ajustement de la série des apports à la loi de distribution Pearson III	37
II.4.3.2 Répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%	38
II.4.4 Apport solide et Estimation de volume mort.....	39
II.4.4.1.Estimation de l'apport solide.....	39
a) Formule de Tixeront	39
b) Formule de Fournier	39
c). Formule de Sogreah.....	40
d) Formule de Gravitovitch :	40
II.4.4.2. Calcul du volume mort :	41
a)Méthode liée à l'érosion spécifique.....	41
b) Formule de Tixeront	42
c)Formule de Gravitovitch	42
II.5. Etude des crues.....	43

II.5.1. Déterminations des crues.....	43
II.5.2. Hydrogramme de crue	45
II.5.2.1 Détermination des Hydrogramme de crues probables par la méthode de Sokolovski.....	45
II.5.3 Estimation de la crue de projet	46
II.6. Régularisation.....	48
II.6.1. Apport.....	48
II.6.1.1. Apport directe.....	48
II.6.1.2 Apport indirecte	48
II.6.2. Répartition mensuelle de la demande	48
II.6.3. Courbes « Hauteur-Capacité-Surface	49
II.6.4. Calcul du volume utile	50
II.6.4.1 Détermination de la période à bonne hydraulicité	50
II.6.4.2 Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes.....	51
II.6.4.3 Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes	51
a) Pertes par évaporation	51
b) Pertes par infiltration.....	51
II.6.4.3.1 première approximation	52
II.6.4.3.2 deuxième approximation.....	52
II.7. Laminage des crues.....	53
II.7.1 Principe du laminage	53
II.7.2. Méthode de Kotcherine	53
II.7.2.1 Calcul du débit déversant pour différents valeurs de h_d et b	53
II.8. Etude d'optimisation.....	55
II.8.1 La revanche.....	55
II.8.2 Largeur en crête.....	56
II.8.3 Calcul des coûts.....	56
II.8.3.1 Calcul de la digue	56
II.8.3.2 Calcul du coût de l'évacuateur de crues.....	57
a) Cout du déversoir	57
b) Coût du canal d'approche	58
c) Coût du coursier	58
II.8.4 Laminage pour un déversoir de largeur $b=30$ mètres.....	60
Conclusion	61

Chapitre II : Etude des Variantes

Introduction	62
III.1 Critère à prendre pour l'emplacement de l'axe du barrage.....	62
III.2) Quel barrage choisir	62
III.3. les variantes à choisir	63
A) Barrage homogène	64
B) Barrage à noyau	64
C) Barrage en enrochement avec masque	65
III.4. Objet de l'étude de variantes	65
III.5. Définition du profil général du barrage	65
III.5.1. Hauteur de barrage.....	65
III.5.1.1. Calcul de la revanche.....	65
III.5.2. Calcul de la largeur en crête	65
III.5.3. La longueur en crête :	66
III.5.4. Pentes des talus	66
III.5.5. Les bermes	67

III.5.6.Revêtement de la crête et des talus de la digue	67
III.5.7. Etanchéité du barrage	69
III.5.7.1. le noyau.....	69
a)Dimensionnement du noyau	69
III.5.7.2. Les drains	70
a) Dimensionnement du prisme de drainage (drain prisme).....	70
b)Dimensionnement du drain tapis.....	71
c) Dimensionnement du drain vertical	71
III.5.7.3. Les filtres.....	71
III.6. calcul du volume des différents matériaux	73
III.6.1. Barrage homogène en argile avec drain vertical	73
III.6.1.1. Recharges	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	75
III.6.2.1. le Noyau	75
III.6.2.2. les recharges	76
III.6.2.3. protection en rip-rap.....	76
III.6.2.4. filtres et drains	77
III.6.3 Barrage en enrochement avec masque en béton	78
III.6.3.1. recharges (enrochements)	78
III.6.3.2. masque en béton.....	79
III.7. Estimation du coût des variantes	80
Conclusion	81

Chapitre III : Conception Détaillé de La Digue

Introduction	82
IV.1 Récapitulatif	82
IV.2 détail constructif du barrage	82
IV.2.1. Revêtement de la crête et des talus de la digue	83
IV.2.2 filtres-drains	84
IV.2.2.1 filtre	84
a)Vérification du contact noyau recharge	84
b) Détermination du fuseau granulométrique du filtre	85
c) Détermination de la courbe granulométrique des Filtres.....	85
IV.2.2.1 Drain.....	87
IV.3. Etanchéité du barrage	87
IV.3.1. Le noyau.....	87
IV.3.2. fondation.....	88
IV.3.3. La clé d'ancrage	88
IV.4 Calcul des infiltrations.....	89
IV.4.1 Causes et solutions	89
IV.4.2 Conséquence	89
IV.4.3 Tracé de la ligne de saturation.....	90
IV.4.4 Détermination de la position de C1.....	91
IV.4.5 Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue	92
IV.4.6 Calcul du débit de fuite à travers la fondation	92
IV.4.7 Calcul du débit de fuite à travers le barrage (digue + fondation)	93
IV.4.8 Vérification de la résistance d'infiltration du sol du barrage	93
IV.4.8.1 Dispositif d'étanchéité	93

IV.4.8.2.fondation du barrage	94
IV.5 Calcul de stabilité	95
IV.5.1 Méthode de FELLENIUS	95
IV.5.1.1.Force de pesanteur (poids propre de la tranche)	96
IV.5.1.2.Force de pression interstitielle.....	96
IV.5.1.3. Forces de cohésion	96
IV.5.1.4. Forces de frottement.....	96
IV.5.1.5. Force sismique.....	96
IV.5.2 Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement	97
IV.5.2.1. Retenue pleine : (talus aval)	97
IV.5.2.2. Retenue vide (fin de construction, talus aval).....	97
IV.5.2.3. Vidange rapide :(talus amont)	97
IV.5.3. Ordre de calcul.....	98
IV.6 calcul de la stabilité avec le logiciel SLIDE	100
Conclusion.....	102

Chapitre VI : Organisation de Chantier et sécurité de travail

Introduction	103
V.1 Les participants à l'acte de construire	103
V.2 Installation de chantier.....	103
V.2.1 Définition d'un chantier	103
V.2.2 Rôle de l'installation de chantier	103
V.2.3 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise	104
a) Installations du chantier	104
b) Installations destinées au personnel	104
c) Installations destinées au stockage des matériaux	104
d) Installations destinées à la réparation des engins	104
e) Installation destinée pour la préfabrication.....	104
V.3 Travaux de réalisation.....	105
V.3.1 Travaux de terrassements.....	105
V.3.2 Travaux d'excavations	105
V.3.3 Travaux secondaires	105
V.4 Les moyens de chantier	105
A- Les moyens humains	105
B - Les engins de terrassement.....	106
C - Le matériel de bétonnage	106
V.5 Planification.....	106
V.5.1 Définition	106
V.5.2 Techniques de la planification.....	106
VII.6 V.5.2.1 Méthodes basées sur le réseau.....	107
V.5.2.2 La marge totale et chemin critique	109
V.5.2.3 Attribution des durées de chaque opération	109
V.6 Programme des travaux	109
V.6.1 Détermination du chemin critique	110
V.6.2. Le coût des travaux de construction du barrage.....	110
V.7 Protection et sécurité de travail	111
V.7.1. Organisation de la prévention des accidents du travail.....	111
V.7.2. Causes des accidents de travail.....	111
V.7.2.1. Causes humaines.....	111

V.7.2.2. Causes techniques.....	111
V.7.3. Moyens employés pour promouvoir la sécurité de travail	112
Conclusion.....	113

La liste des tableaux

Tableau I.01 : Caractéristiques hydrologiques	1
Tableau I.02 : Caractéristiques du réservoir	2
Tableau I.03 : Caractéristiques du barrage.....	3
Tableau I.04 : Caractéristiques de l'évacuateur.....	4
Tableau I.05 : Caractéristiques de la dérivation	5
Tableau I.06 : Caractéristiques de la prise et des vannes	6
Tableau I.07 : Caractéristiques morphologiques de bassin versant.....	7
Tableau II-01 : Principales caractéristiques du bassin versant	8
Tableau II-02 : Coordonnées de la courbe hypsométrique.....	9
Tableau II-03 : Principales caractéristiques du bassin versant	10
Tableau II-04 : Répartition mensuel de la température.	11
Tableau II-05 : Répartition mensuelle de l'évaporation.....	12
Tableau II-06 : Répartition mensuelle du vent.....	13
Tableau II-07 : Caractéristiques de la station pluviométrique disponible	14
Tableau II-08 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle.	15
Tableau II-09 : Caractéristiques empiriques de la série.....	16
Tableau II-010 : Ajustement à la loi normal.	17
Tableau II-11 : Ajustement à la loi Galton	18
Tableau II-12 : Ajustement à la loi Gumbel	19
Tableau II-13 : Test de khi-deux.	20
Tableau II-14: Test kolmogorov-smirnov	21
Tableau II-15: Répartition mensuelle des apports	22
Tableau II-16: Répartition mensuelle des apports après transposition.....	23
Tableau II-17: Caractéristique empirique de la série.....	24
Tableau II-18: Apport fréquents	25
Tableau II.19 : Répartition mensuelle des apports moyens annuels de fréquence 80%	26
Tableau II.20 : Récapitulatif des résultats du volume mort.....	27
Tableau II.21 : Résultats de l'ajustement Log-normal.	28
Tableau II.22 : Les débits de crues fréquents	29
Tableau II.23 : Répartition mensuelle du transfert.	30
Tableau II.24 : Répartition mensuelle des besoins	31
Tableau II.25 : Détermination de la période à bonne hydraulité.	32
Tableau II.26 : Déterminer le débit de crues à évacuer correspondant à chaque lame hd	33
Tableau II.27 : Résultat de calcul par la méthode de Kotcherine.....	34
Tableau II.28 : Hauteurs des vagues.....	35
Tableau II.29 : Calcul de la largeur en crête.....	36
Tableau II.30 : Coût et volume de la digue	37
Tableau II.31 : Résultats de calculs du coût du déversoir pour les différentes largeurs	38
Tableau II.32 : Résultats de calculs du coût du canal d'approche pour les différentes largeurs ..	39
Tableau II.33 : Récapitulatif des coûts du coursier pour différentes largeurs déversantes.	40

Tableau II.34 : Récapitulatif des prix totaux pour les différentes largeurs déversantes.....	41
Tableau II.35 : Caractéristiques du barrage.....	42
Tableau III.01 : Différentes valeurs de la largeur en crête.....	43
Tableau III.02 : Valeurs indicatives des fruits de talus	44
Tableau III.03: Epaisseur de l' enrochement et D50 minimal des pierres en fonction de la hauteur de la vague.	
Tableau III.04: Classe de l'ouvrage en fonction du type du sol.....	45
Tableau II I.05 : Calcul volumes des recharges (argile).....	46
Tableau II I.06 : Calcul des volumes des recharges.....	47
Tableau II I.07 : Calcul des volumes des graviers.	48
Tableau III.08 : Calcul des volumes des sables.....	49
Tableau III.09 : Calcul des volumes du noyau.....	50
Tableau III.10 : Volumes des recharges.....	51
Tableau III.11 : Calcul des volumes du revêtement rip-rap	52
Tableau III.12 : Calcul des volumes des graviers.	53
Tableau III.13 : Calcul des volumes des sables.	54
Tableau III.14 : Calcul des volumes des recharges (enrochements).	55
Tableau III.15 : Calcul des volumes du béton.	56
Tableau II I.16 : Calcul des volumes des graviers	57
Tableau III.17 : Calcul des volumes des sables.....	58
Tableau II I.18 : Les coûts des différentes variantes étudiées	59
Tableau IV.01 : Récapitulatif des résultats de la couche de filtre.	60
Tableau IV .02 : Récapitulatif des résultats de la couche de filtre.....	61
Tableau IV .03 : Paramètres des drains.	62
Tableau IV .04 : Coordonnées de la parabole de KOZENY	63
Tableau IV.05 : Débit de fuite à travers la digue.....	64
Tableau IV .06 : Débit de fuite de la Fondation.	65
Tableau IV .07 : Débit de fuite de barrage	66
Tableau IV .08 : Gradient hydraulique admissible	67
Tableau IV.09: Gradient d'infiltration admissible	68
Tableau IV .10: Détermination du coefficient de sécurité.	69
Tableau VI.11: Caractéristiques géotechniques des sols.....	70
Tableau IV. 12 : Coefficient de stabilité admissible des talus	71
Tableau IV. 13 : Rayons max et min en fonction de la pente du talus.	72
Tableau IV. 14 : Rayons max et min de chaque talus	73
Tableau IV. 15 : Coefficients de sécurité pour différents cas de fonctionnement	74
Tableau V.01 : Liste et symbole des opérations.....	75
Tableau V.02 : Devis estimatif du barrage.....	76

La liste des figures

Figure I.01 : L'emplacement du site du barrage de Barek	1
Figure I.02 : La topographie du bassin versant	2
Figure I.03 : Schématisation des différentes stations hydrométrique et pluviométrique	3
Figure II.01 : La répartition des courbes de niveaux	4
Figure II.02 : Courbe hypsométrique.....	5
Figure II.03 : Rectangle équivalent.....	6
Figure II.04 : Le réseau hydrographique du bassin versant.....	7
Figure II.05 : Profil en long du cours d'eau principal	8
Figure II.06 : L'emplacement de la station d'Ouled Ali par rapport au barrage	9
Figure II.07 : Répartition mensuelle des précipitations	10
Figure II.08 : Ajustement à la loi normal	11
Figure II.09 : Ajustement à la loi galton	12
Figure II.10 : Ajustement à la loi Gumbel L-moment.....	13
Figure II.11 : Représentation des trois lois de distribution.....	14
Figure II.12 : Courbes des pluies de courte durée	15
Figure II.13 : Courbes des intensités fréquentielles	16
Figure II.14 : Situation de la station d'Ouled Ali	17
Figure II.15 : Bassin versant de la station hydrométrique	18
Figure II.16 : La répartition mensuelle des apports.....	19
Figure II.17 : Distribution Pearson III.....	20
Figure II.18 : Représentation mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%	21
Figure II.19 : Caractéristiques de l'échantillon.....	22
Figure II.20 : Loi log normal.	23
Figure II.21 : L'Hydrogrammes des crues probables en fonction de temps	24
Figure II.22 : Emplacement de la zone urbaine	25
Figure II.23 : L'Hydrogramme de la crue de projet pour une période de retour 10000 ans.	26
Figure II.24 : Courbes Hauteurs -Surface.	27
Figure II.25 : Courbes Hauteurs-Capacité.....	28
Figure II.26 : Courbes surface-capacité	29
Figure II.27 : Principe du laminage.	30
Figure II.28 : Courbes $H=f(Q,q)$	31
Figure II.29 : Principe de calcul du volume d'un barrage.....	32
Figure II.30 : Courbe d'optimisation.....	33
Figure II.31 : Courbe des débits déversant	34
Figure II.32 : Hydrogramme des débits entrants et sortants.....	35
Figure III.01 : Principaux types des barrages en remblai.	36
Figure III.02 : Barrage homogène (http://www.gramme.be)	37
Figure III.03 : Barrage à noyau (http://www.planete-tp.com)	38
Figure III.04 : Barrage à masque (http://www.planete-tp.com)	39
Figure III.05 : Longueur en crête.....	40
Figure III.06 : Répartition des bermes	41
Figure III.07 : Importance du revêtement.....	42
Figure III.08 : Disposition des différent drain	43
Figure III.09 : Disposition du noyau et du filtre.....	44
Figure III.10 : Coupe longitudinale de l'axe d'un barrage.....	45
Figure IV.01 : Disposition des bermes.	46
Figure IV.02 : Détails des revêtements de talus (a) talus amont (b) talus aval	47

Figure IV. 03 : Principe graphique de détermination du fuseau granulométrique d'un filtre.....	48
Figure IV.04 : Tracé de la courbe granulometrique du filtre).....	49
Figure IV.05 : Disposition des différent drain.....	50
Figure IV.06 : Disposition de la clé d' encrage	51
Figure IV.07 : Conséquence de l'infiltration à travers la digue	52
Figure IV .08 : Tracé de la ligne de saturation.....	53
Figure IV.09 : Principe du calcul de stabilité.....	54
FigureIV.10 : Principe de calcul de SL ID E	55
FigureIV.11 : Stabilité aval dans le fonctionnement de la retenue	56
FigureIV.12 : Stabilité amont dans le cas vidange rapide.	57
FigureIV.13 : Stabilité aval fin de construction.....	58
Figure IV.14 : Stabilité amont fin de construction.....	59
Figure V .01 : Les liens contractuels entre les acteurs d'un chantier.....	60
Figure V.02 : Principe du calcul aller.	61
Figure V.03 : Principe du calcul retour	62
Figure IV .08 : Tracé de la ligne de saturation.....	63
Figure IV.09 : Principe du calcul de stabilité.....	64
Figure IV. 14 : Stabilité amont fin de construction	65
Figure IV .08 : Tracé de la ligne de saturation.....	66
Figure IV.09 : Principe du calcul de stabilité.....	67

Liste des planches

Plans N° 01 : Coupe géologique sur l'axe de la digue du barrage Barek

Plans N° 02 : Coupes en travers de la digue du barrage BAREK.

Plans N° 03 : Schémas des trois variantes proposées.

Plans N° 04 : Planning des travaux.

Plans N° 05 : Schémas de calcul de stabilité de la digue du barrage Barek.

Plans N° 06 : Plan topographique de la digue du barrage barek.

INTRODUCTION GENERALE

Les mers et les océans occupent 97.5% de l'eau totale de la planète, ce qui revient à dire que l'eau douce ne représente que 2.5% du stock. Plus de 2/3 de cette eau sont concentrés dans les glaciers, 1 /3git dans les nappes souterraines. Moins de 1 % composent l'humidité des sols et de l'air. Il ne reste que 0.3% (soit 0.007% de l'eau de la planète) dans les rivières, ruisseaux, réservoir et lacs. L'eau accessible ne représente que 125000 milliards de m³, un volume globalement suffisant pour le moment, mais mal reparti. Selon le rapport des Nations Unis sur les ressources mondiales de l'eau, près de 7milliard d'habitant seront confrontés à une grave crise de l'eau d'ici à 2050.

En Algérie la problématique de l'eau sera sans doute une préoccupation majeure durant ce siècle, car l'eau subit depuis une trentaine d'années une dégradation et tend à se raréfier dans l' ensemble du pays. Malgré cette pénurie, le gaspillage de l'eau est généralisé, le plus grave c'est que tout le monde reconnaît la rareté croissante de l'eau douce. Dans un tel contexte, il devient prioritaire pour l'Algérie d'établir une stratégie pour la mobilisation et le stockage de l'eau, cela par la construction des ouvrages d'accumulations appelés «barrages ».

L'ANBT, a confié au bureau d'étude Geotecna progetti l'étude de faisabilité de 12 sites de barrages, dont l'aménagement de Barek (W.BL IDA) représente le site N°3. La faisabilité a pour but de donner une description générale de l'aménagement, de présenter un exposé justificatif et descriptif de la solution qui été adoptée.

A la base de la faisabilité, une étude d' avant-proj et détaillé (A PD) sera établie dans ce présent travail et qui va englober tous les détails constructifs du barrage de Barek.

Chapitre I : Synthèse de l'étude de faisabilité

Introduction :

La synthèse de faisabilité représente une étude préliminaire qui est relative à la recherche, au choix du site, à la bonne connaissance des conditions topographiques, géotechniques, géologiques et hydrologiques du site. Et cela afin de proposer la solution la plus économique tout en garantissant le plus haut degré de sécurité. Ainsi on pourra poursuivre une étude détaillée (APD) en se basant sur l'étude de faisabilité.

I.1.Généralités :

L'Agence Nationale des Barrages, a confié au bureau d'étude Geotecna Progetti, l'étude de faisabilité de 12 sites de barrages dont l'aménagement de Barek représente le site N°03.

I.1.1.Objectif du barrage :

Le réservoir est destiné à l'irrigation des terrains environnants, ce dernier se base sur l'apport direct du bassin versants (21 km²) de l'Oued Zerouela et sur le transfert des eaux épurées de la station de Baraki (Alger).

I.1.2. Localisation de l'ouvrage :

Ce barrage se trouve dans la vallée de l'oued Zerouela, une vingtaine de km au SE d'Alger et à 4 km environ de Khemis el Khechna qui est le centre habité le plus proche au site du barrage. Les coordonnées Lambert du site sont :

$$\begin{array}{ll} X = 369.216,85 & X = 368.690,68 \\ Y = 552.307,21 & Y = 552.700,44 \end{array}$$



Figure I.01 : L'emplacement du site du barrage de Barek

I.1.3 Fiches techniques du barrage élaborées par le bureau d'étude :

a) Hydrologie :

Tableau I.01 : caractéristiques hydrologiques

Superficie du bassin versant	21 km ²
Précipitation annuelle moyenne	756 mm
Apport direct annuel moyen	3.76 10 ⁶ m ³
Transfert annuel disponible	53.61 10 ⁶ m ³
• débit continu	1.70 m ³ /s
Crue de projet (T=1000 ans)	260 m ³ /s
Crue de travaux (T=50 ans)	190 m ³ /s

Source : ANBT

b) Réservoir :

Tableau I.02 : caractéristiques du réservoir

Capacité brute	28.00 10 ⁶ m ³
Capacité utile	26.5 10 ⁶ m ³
Volume régularisé (garanti 8/10 ans)	environ 48.6 10 ⁶ m ³
Cote de retenue normale	172.10 m NGA
Cote de retenue minimale	133.70 m NGA
Cote de retenue maximale	173.43 m NGA

Source : AN BT

c) barrage :

Tableau I.03 : caractéristiques du barrage

Type	Recharge amont en rockfill calcaire, noyau limono-argileux, recharge aval en T.V. alluvionnaire
Niveau couronnement	179.00 m NGA
Hauteur au-dessus de la vallée	environ 64.50 m
Hauteur au-dessus de la fondation	69.00 m NGA
Longueur du couronnement	471.92 m
Largeur en crête	9.60 m
Parement amont	de 179.00 à 159.00: pente 2.1/1
	de 159.00 à 134.80: pente 2.3/1
	de 134.80 à 116.00 (cote batardeau) 2.0/1
Parement aval	de 179.00 à 169.00: pente 2.0/1
	de 169.00 à 159.50: pente 2.1/1
	129.00 colmatage
Nature des fondations	Rive droite: pelites et marnes (Eocène) Rive gauche: conglomérats Cartenniens
Etanchéité fondation	Assuré par l'imperméabilité de la formation pelitique et par les injections des conglomérats en rive gauche

Source : ANBT

d) évacuateur de crue : Tableau I.04 :

caractéristiques de l'évacuateur

Crue de dimensionnement	162 m ³ /s (laminée)
Charge totale sur le seuil du déversoir	1.33 m
Type	déversoir à tulipe en rive gauche
Longueur du déversoir à tulipe	47.36 m (rayon = 8.00 m)
Tunnel de décharge	section circulaire, D=5.00 m, L=537.80 m
Bassin de dissipation	à cote 112 m NGA Longueur 18.00 m, largeur 15 m

Source : ANBT

e) tunnel de dérivation et de vidange :

Tableau I.05 : caractéristiques de la dérivation

Longueur/Section	536.63 m / D = 5.50 m
Débit dérivation provisoire (écoulement dénoyé)	190 m ³ /s

Source : ANBT

f) tour de prise et des vannes :

Tableau I.06 : caractéristiques de la prise et des vannes

Tour Verticale fondée sur les marnes en rive droite	Di=7.00 m
Emplacement	A environ 60 m de l'embouchure du tunnel de vidange
Niveau salle de commande vannes	179.00 m NGA
Niveau salles des vannes	126.35 m NGA
Vannes de vidange	planes 2x(1.60x1.90)
Niveaux des prises d'eau	162.30 – 148.50 – 130.20 m NGA
Conduite adduction	1 tuyau, diamètre 1.20 m placé en haut du tunnel de restitution

Source : ANBT

I.2. topographie :

Les principales caractéristiques morphologiques du bassin versant sont indiquées dans le tableau I.07 et la figure I.03.

Tableau I.07 : Caractéristiques morphologiques de bassin versant

Désignation	unités
Bassin principal	Cotier algerois
Oued	Zerouala
Surface	21km ²
Altitude maximale	809 m NGA
Altitude minimale	120 m NGA
Altitude moyenne	230 m NGA
Longueur du thalweg principal	6km
Périmètre	24km
Indice de compacité de Gravelius	1.47
Temps de concentration (Giandotti)	3.3h
Temps de concentration (algérienne)	2 h

Source : ANBT

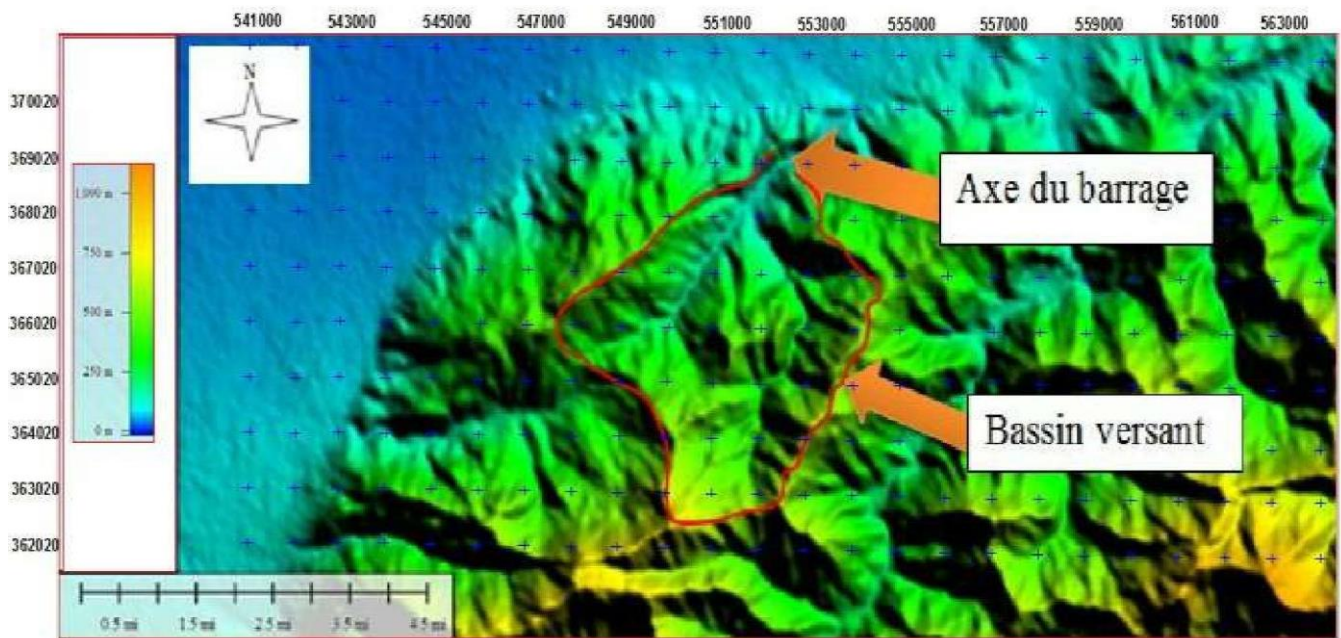


Figure I.03 : La topographie du bassin versant

I.3 géologique :

I.3.1 Généralités :

La campagne des forages de reconnaissance a été établie en 1991 par l'administration et exécutée en 1991 /1992, tandis que les essais en laboratoire sur échantillons représentatifs ont été exécutés par le laboratoire ANB/D ET de Keddara.

I.3.2 Encadrement régional :

La région d'étude appartient à Djebel Zerouela qui constitue le flanc NW du grand anticlinal de l'Atlas blidéen ainsi que le flanc méridional du synclinal mitidjien. Dans cette zone, l'érosion a découpé profondément la surface structurale primitive, en mettant à nu, sous le Pliocène et le Miocène, les formations éocènes et secondaires.

La structure géologique de la région montre une genèse complexe due à la superposition de plusieurs phases tectoniques tertiaires. Les plissements intéressant l'Eocène sup et les formations antérieures sont caractérisées par une série des plis orientés SW-NE, notamment le synclinal de l'oued Zerouela (Flysch à petites Nummulites), le dôme anticlinal d'El Madène (terrains de l'Eocene moyen et du Primaire).

I.3.3 Géologie du site du barrage :

En rive droite, la vallée remonte le long d'un talus avec une inclinaison moyenne d'environ 13° jusqu'au sommet du Rass Harour (413 m NGA). Le versant de rive gauche appartient à la retombe méridionale. Zerouela présente des talus plus raides (22-28°). Il en résulte un profil asymétrique produit par conditions lithologique différentes. En effet, le versant de rive droite appartient au domaine des pélites et de marnes schisteuses tandis que le versant opposé est formé de marnes, grès et conglomérats qui peuvent être attribués aux flysch à petites nummulites.

Il est évident que le fond de la vallée marque la limite entre deux lithofaciès principaux, notamment l'ensemble de schistes et grès en rive droite de l'oued et les marnes et conglomérats en rive gauche. Quatre linéaments tectoniques coupent transversalement le versant de rive gauche. Il s'agit des failles sub-verticales de direction N296°-340°, qui subdivisent le massif du Flysch à petites Nummulites et celui des Conglomérats et Grès cartanniens en blocs décalant de l'aval vers l'amont avec rejets d'une dizaine de mètres.

La formation schisto-gréseuse de rive droite est cachée par une couche de couverture colluviale avec blocs provenant de la désagrégation de barres de grès. Quant à la stabilité des pentes, on signale un glissement au pied du talus de l'oued Bezouz en rive droite (coordonnées 552 300/368 175) et un autre à l'aval de l'axe du barrage, en rive droite de l'oued Zerouela.

Les pélites et les marnes schisteuses de la rive droite sont imperméables, par contre, la série des conglomérats et des grès, en rive gauche est localement plus perméable.

I.3.4 Constatation generale :

- . Le site de Barek est favorable à l'exécution d'un barrage en matériaux meubles.
- . la rive gauche est intéressée par un ensemble de bonne qualité géométrique.
- . La rive droite présente des caractéristiques géo-mécanique moins favorable.
- . La fouille de l'évacuateur à tulipe dans le terrain de la rive gauche ne posera pas de problèmes.
- . l'excavation du tunnel de la dérivation provisoire, en rive droite, nécessitera des précautions surtout dans les tronçons à faible couverture.

I.3.5 Sismicité :

Le site du barrage de Barek se trouve dans la zone séismogène de Medea-Blida-Alger, et peut aussi ressentir des fortes secousses.

A ce sujet l'analyse faite par le bureau d'étude en utilisant la carte du risque sismique du GSHAP Ibero Maghreb Working Group, 1997 et les outils informatique, il en résulte que l'accélération de pointe au site du barrage est comprise entre 0.16 et 0.24 avec 90% de probabilité que cette valeur ne soit pas dépassée dans les prochains 50 ans.

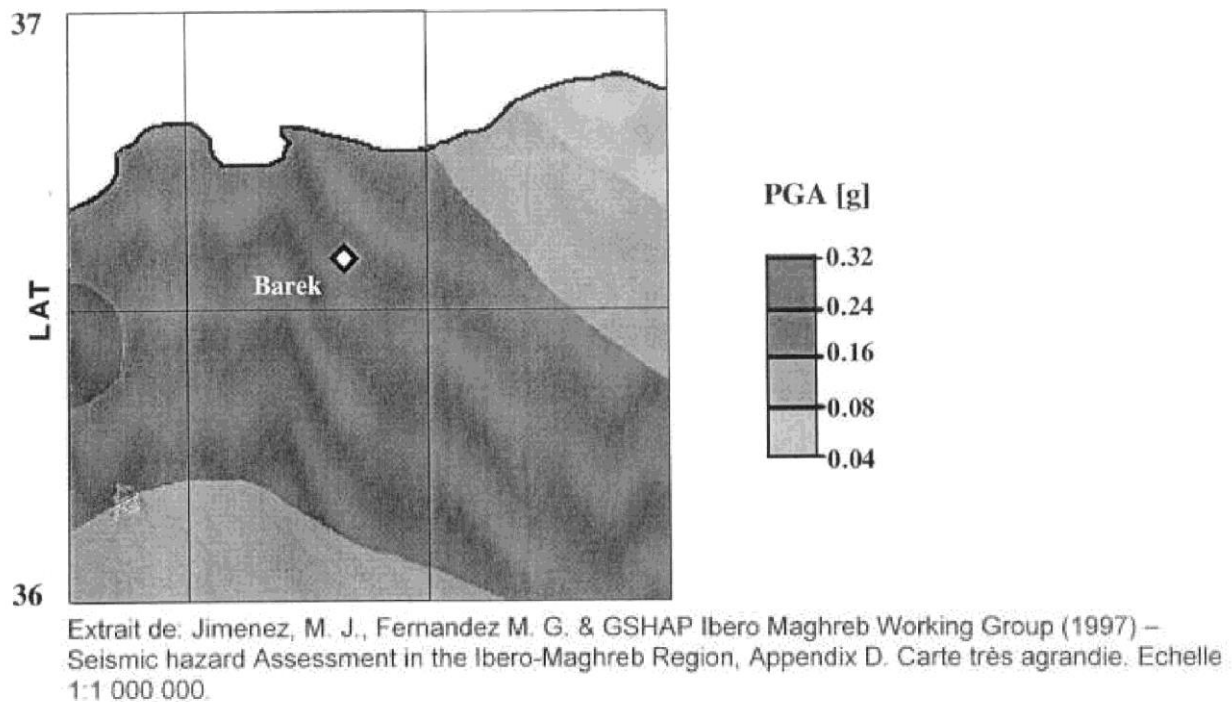


Figure I.04 : risque sismique de la région de Blida [www.seismo.ethz.ch]

(PGA : point gravity acceleration)

En conclusion, nous retenons une possibilité d'un séisme de haute intensité pendant la période de vie du barrage avec un degré de probabilité significatif, ainsi on prendra en compte une accélération de 0.24 pour sécuriser le barrage.

I.3.6 Reconnaissances géologique réalisées:

les forages de reconnaissance ont été exécutés en bonne partie près de l'axe, notamment SB1, SB2, SB3, et SB5 en rive droite et SB4 et SB6 en rive gauche. Le forage SB7 a été fait en rive gauche, à l'aval de l'axe susdit, et le SB8 en rive droite.

Le carottage a permis de définir les séquences lithostratigraphiques du sous-sol de la zone explorée de la façon suivante:

Forage SB1 (rive droite)

- 0.0 - 8.0 m : Grès désagrégé et marnes
- 8.0 - 17.0 m : Marne schisteuse avec intercalations de grès (Schistes et Grées)
- 17.0 - 18.0 m : Grès fracturé
- 18.0 - 24.3 m : Pélites très schisteuses
- 24.3 - 32.0 m : Marne schisteuse
- 32.0 - 36.0 m : Marne fissurée
- 36.0 - 47.6 m : Pélites très schisteuses
- 47.6 - 96.0 m : Marne schisteuse et gréseuse, gris

Forage SB2 (rive droite)

- 0.0 - 7.60 m : Sable/gravier limoneux avec cailloux (Colluvions)
- 7.6 - 59.38 m : Marne schisteuse (Schistes et Grées)

Forage SB3 (fond d'oued, rive droite)

- 0.0 - 3.76 m : Sable/gravier limoneux avec cailloux
- 3.76 - 20.19 m : Marne grisâtre à brune (Schistes et Grées)
- 20.2 - 21.99 m : Banc de grès ferrugineux
- 21.99 - 30.0 m : Marnes et grès ferrugineux
- 30.0 - 34.6 m : Marne grisâtre

Forage SB4 (rive gauche)

- 0.0 - 1.5 m : Sol argilo-limoneux organique
- 1.5 - 12.0 m : Marne et grès (Flysch à petites Nummulites)
- 12.0 - 18.0 m : Conglomérat
- 18.0 - 22.5 m : Marne
- 22.5 - 26.5 m : Conglomérat
- 26.5 - 29.5 m : Marne oxydée
- 29.5 - 44.0 m : Marne brune
- 44.0 - 49.0 m : Conglomérat
- 49.0 - 57.0 m : Marne brune
- 57.0 - 58.8 m : Grès et conglomérat
- 58.8 - 87.5 m : Marne grise à verdâtre et brune

Forage SB5, incliné de 30° vers NE (rive droite)

- 0.0 - 2.6 m : Marnes argileuse altérée avec restes végétaux
- 2.6 - 26.0 m : Marne grésio-quartzeuses (Schistes et Grées)

Forage SB6 (rive gauche)

0.0 - 1.50 m	: Terre végétale et limon argileux avec gravier
1.50 - 6.5 m	: Conglomérat désagrégé et marne au fond (Flysch à petites Nummulites)
6.5 - 9.0 m	: Argile marneuse et marne
9.0 - 22.9 m	: Marne argileuse rougeâtre
22.9 - 24.5 m	: Marne argileuse avec gravier isolé
24.5 - 32.0 m	: Marne argileuse rougeâtre
32.0 - 38.0 m	: Conglomérat et marne rougeâtre
38.0 - 39.5 m	: Marne argileuse rougeâtre
39.5 - 41.0 m	: Conglomérat et marne avec gravier isolé
41.0 - 44.0 m	: Marne rougeâtre avec gravier isolé
41.0 - 47.0 m	: Marne, grés et gravier

Forage SB7, incliné de 30° vers S (rive gauche)

0.0 - 6.49 m	: Sable/gravier (Alluvions)	
6.49 - 13.0 m	: Conglomérats et marne rougeâtre	(Flysch à petites Nummulites)
13.0 - 21.1 m	: Marne rougeâtre	
21.1 - 29.4 m	: Marne schisteuse (Schistes et Grés)	

Forage SB8, incliné de 45° (rive droite)

0.0 - 5.3 m	: Argile sableuse et graveleuse et marne
5.3 - 11.7 m	: Marne schisteuse (Schistes et Grés)
11.7 - 14.8 m	: Marno-calcaires
14.8 - 17.0 m	: Pélites très schisteuses

En synthèse:

- l'épaisseur des alluvions de l'oued Zerouela varie entre 3.76 m (forage SB3) et 6.49 m (SB7). Ce sont en général des sables/graviers limoneux avec cailloux.
- en rive droite, la couche de couverture colluviale atteint la profondeur de 7.6 m dans forage SB2 et de 5.3 m dans le SB8. Nous interprétons la couche superficielle du forage SB1 (8 m d'épaisseur) comme une barre de grès désagrégé par altération. Sur la rive gauche, la couverture de matériaux meubles ne dépasse 1.5 m dans les forages SB4 et SB6; ce sont des sols éluviaux.

- le substratum rocheux est représenté dans les forages SB1 et SB2 par des pélites très schisteuses et des marnes schisteuses sombres, par des marnes et grès (SB3) et par des marnes grésio-quartzeuse grises (SB5), que nous avons groupées dans l'ensemble de Schistes et Grès.
- le substratum des forages SB4 et SB56 est formé de marnes parfois rougeâtres, à lesquelles s'alternent des bancs de conglomérats, appartenant probablement à la formation du Flysch à petites Nummulites. Les conglomérats constituent le 19-27% de la profondeur explorée.
- le forage SB7, incliné de 30° vers le S (en d'autres termes vers la rive droite), intéresse jusqu'à 21 m de profondeur les marnes du Flysch à petites Nummulites et puis l'ensemble de Schistes et Grès.

I.3.7 Géologie de la fondation du barrage

- le substratum rocheux le plus ancien est dans la zone d'appui du barrage en rive droite, celui ci est caché par les alluvions de l'oued et par une couche de couverture colluviale, cet ensemble, qui est finement stratifié (feuilleté ou écailleux) plonge au-dessous du Flysch à petites Nummulites près du fond de la vallée.
- dans le versant de rive gauche un ensemble de marnes et de conglomérats (Flysch à petites Nummulites) plonge vers le NW et le NNW avec un pendage de 25-30°. Cette formation, qui présente une épaisseur de l'ordre de 150 m est recouverte supérieurement, en discordance par les Conglomérats et Grès du Cartennien.
- les quatre failles, qui coupent transversalement le versant de la rive gauche, subdivisent le massif conglomératique en blocs.

I.3.8 Caractéristiques géomécaniques des roches de fondation :

- le RQD_{MOY} (Rock Quality Designation) des pélites et des marnes schisteuses (forages SB1 et SB2, ensemble des Schistes et Grès) est inférieur à 10%, ce qui exprime une mauvaise qualité géomécanique du matériau due à la texture du matériau mais il est supérieur au 75% dans le forage SB5. Le complexe marneux du Flysch à petites Nummulites des forages SB4 et SB6 présente en général une bonne qualité géomécanique ($RQD_{MOY} > 75\%$); il n'en est pas de même pour les bancs de conglomérats ($RQD = 51-58\%$), ce qui révèle une faible résistance à la perforation.
- En ce qui concerne l'altération, on retient que le substratum rocheux est en général modérément altéré dans les premiers mètres (3-5 m) à partir de la base de la couverture éluviale ou colluviale.
- les essais d'eau en pression, exécutés dans les forages SB5, révèlent que l'ensemble des Schistes et Grès sont pratiquement étanche (perméabilité $< 1 \text{ UL}$). Il en est presque de même pour la marne du Flysch à petites Nummulites des forages SB4 et SB5. Par contre les bancs de conglomérat des mêmes forages où on a mesuré des valeurs variant entre 8 et 88 UL sont apparemment perméable , mais les résultats de trois essais ne sont pas significatifs.

I.3.9 Fouille de fondation et écran d'étanchéité

Le substratum de fondation se prête à la construction d'un barrage en matériaux meubles. Nous avons évalué une profondeur de l'amas alluvial et de la couche colluviale du talus de rive droite de l'ordre de 7 - 8 m. Sur la rive gauche on estime une couverture éluviale et colluviale de 1.5 - 3.0 m. L'étude du projet devra prévoir de creuser la fouille à travers les alluvions et les colluvions et de pénétrer au moins 3 m entre le substratum rocheux en considération de la profondeur de l'altération. Sur la base des résultats des essais d'eau en pression on retient que l'ensemble des Schistes et Grès (rive droite) et des marnes du Flysch à petites Nummulites (rive gauche) sont peu perméables. Les bancs de conglomérats, contenus entre le Flysch à petites Nummulites, sont à notre avis perméables mais discontinus et ils ne devraient pas constituer de voies de fuite d'eau. Probablement perméables sont les Conglomérats et Grès du Cartennien de rive gauche.

A l'état actuel des connaissances, l'écran d'étanchéité pourrait être limité à injections de liaison en rive droite et à un voile normal dans la zone d'appui de rive gauche, qui devra être poussé jusqu'à la profondeur de 40 m. La possibilité d'un voile d'injection au large dans le versant de rive gauche, parallèlement au versant et vers l'amont, au but d'empêcher des fuites à travers les Conglomérats et Grès du Cartennien, devra être évaluée dans l'étude pour l'APD.

I.3.10 Matériaux de construction

Le problème principal n'est pas représenté par les matériaux du noyau, qu'on peut repérer en plusieurs endroits dans les colluvions des talus de piedmont, mais par ceux à employer pour les recharges des flancs amont et aval du barrage.

Dans les terrasses de l'Oued Zerouela il y a la possibilité de repérer un tout venant alluvionnaire employable pour la réalisation des transitions et de la recharge aval et de ces zones qui ne nécessitent pas d'être perméables.

Une autre chance est offerte par les congglomérats cartenniens du Djebel Zerouela disponible en très grande quantité à quelques kilomètres du site du barrage.

Il est évident qu'une campagne de reconnaissances fouillées sera nécessaire en phase d'étude de l'APD pour vérifier l'exploitabilité des gisements susdits et pour définir les zones d'emprunt. Pour la présente étude de faisabilité on estime disponible les volumes nets prévisionnels suivants:

Noyau: Gisements colluviaux limono-argileux de la vallée de l'oued Zerouela: 500.000 m³

Recharge amont: Rockfill calcaire de la carrière de El Madene: > de 700.000 m³.

Recharge aval: Alluvions de l'oued Zerouela situées dans la zone de confluent de l'oued Bezouz et à l'aval du même: 400.000 à 500.000 m³.

Congglomérat réduit du Dj.Zerouela: 600.000 m³ environ.

Drainages, filtres et agrégats pour le béton: Sables/gravier et sables criblés provenant des alluvions des oueds Zerouela et Arbatache. Granulats calcaires de carrière.

Note : les zones potentielles des matériaux d'emprunts sont représentées dans l'annexe I

I.3.11 Faisabilité géologique :

Le substratum rocheux de fondation du barrage est constitué par des pélites et marnes écailleuses (ensemble des Schistes et Grès éocènes) en rive droite et par des marnes du Flysch à petites Nummulites en rive gauche. En se basant des résultats de reconnaissances effectuées, le sous-sol de fondation se prête à la construction d'un barrage en matériaux meubles. Il y a plusieurs possibilités d'approvisionnement de matériaux aux alentours du site pour un type de barrage zoné. La délimitation des zones d'emprunt constitue une question qu'il faudra affronter dans les détails en phase d'études pour l'APD.

On retient une possibilité d'un séisme de haute intensité dans le site du barrage, avec un degré de probabilité significatif.

L'étanchéité du réservoir peut être considérée suffisante. En effet, la plupart de la cuvette intéresse des formations pélito-marneuse et schisto-quartziteuses, qui sont peu perméables. Il faudra toutefois vérifier à l'avenir la perméabilité des congglomérats cartenniens qui affleurent en rive gauche de l'oued Zerouela et qui pourraient être baignée localement par les eaux du réservoir.

Quant à la stabilité des pentes, on soupçonne des phénomènes de solifluxion superficielle dans les colluvions des pentes de rive droite de l'oued Zerouela. Cela dit, nous sommes de l'avis que la construction d'un barrage en matériaux meubles sur le site de Barek est faisable au point de vue géologique.

I.3.12 Evaluation des paramètres géotechniques :

Les résultats des essais de laboratoire sur les différents sondages sont reportés dans le tableau 01 de l'annexe I.

Résumé des caractéristiques des divers matériaux

Fondation

Alluvions de l'oued Zerouela

Densité humide:	1.95-2.1 t/m ³
Densité saturée:	2.15-2.3 t/m ³
Cohésion, c':	0 t/m ²
Angle de frottement :	26°-34°

Colluvions et éboulis argileux

Densité humide:	1.8-2.05 t/m ³
Densité saturée:	1.9-2.15 t/m ³
Cohésion, c':	0.0-0.3 bar
Angle de frottement :	19°-24°

Marnes modérément altérées du Flysch à petites Nummulites

Densité humide:	1.9-2.2 t/m ³
Densité saturée:	2.0-2.3 t/m ³
Cohésion, c':	0.4-0.6 bar
Angle frottement ':	22°- 26°

Marnes saines du Flysch à petites Nummulites

Densité humide:	2.2-2.4 t/m ³
Densité saturée:	2.3-2.5 t/m ³
Cohésion, c':	0.8-1.5 bar
Angle frottement ':	30°-33°

Pélites et marnes schisteuses modérément altérées (ensemble Schistes et Grès)

Densité humide:	1.95-2.1 t/m ³
Densité saturée:	2.05-2.2 t/m ³
Cohésion, c':	0.2-0.4 bar

Remblais :

Argile de noyau

Densité humide:	1.9 t/m ³
Densité saturée:	2.0 t/m ³
Cohésion, c':	0 bar
Angle de frottement :	19°

Tout-venant alluvionnaire et conglomérats réduits

Densité humide:	2.1-2.2 t/m ³
Densité saturée:	2.3-2.4 t/m ³
Cohésion, c':	0 bar
Angle de frottement :	34°-36°

Enrochements calcaires

Densité humide:	2.4-2.8 t/m ³
Densité saturée:	2.4-2.8 t/m ³
Cohésion, c':	0 bar
Angle de frottement :	34°-36°

Drainages et filtres

Densité humide:	1.9-2.0 t/m ³
Densité saturée:	2.1-2.2 t/m ³
Cohésion, c':	0 bar
Angle de frottement :	32°-36°

Note : la valeur de la cohésion des argiles est à revoir.

I.3.13 Suggestion :

- vérification avec une campagne de sondages (forages et tranchées) du modèle géologique proposé avec un programme d'essais de classification et géo mécaniques en laboratoire sur échantillons intacts.
- perméabilité des alluvions et des conglomérats cartenniens.
- essais d'injection en rive gauche.
- recherche et délimitation des zones d'emprunt de sols li mono-argileux pour le noyau.
- recherches et délimitation des zones d'emprunt du tout-venant alluvionnaire et du conglomérat.
- étude géologique des affleurements de formations lutétiennes au Koudiat el Madène, essais géomécaniques en laboratoire sur échantillons représentatifs, délimitation des carrières.

I.4 Hydrologie :

- La station pluviométrique utilisée est celle de Hamiz (020602), à laquelle on fait référence pour connaître les déroulements des précipitations mensuelles sur le bassin direct au barrage.
- Pour déterminer les apports au site de barrage de Barek ,nous avons à notre disposition 18 années complètes de mesures, dans la période 1969-'87, à la station de jaugeage de Fer à Cheval (021201) située à l'ouest du bassin de Barek.
- L'évaluation de la crue du projet au site du barrage est faite par les formules empiriques et les méthodes probabilistes de Gumbel et Log-normale .

I.5 Critiques :

- ✓ Le bureau d'étude a eu recours à l'utilisation de la station pluviométrique de Hamiz (020602) sur une période de 74 ans avec présence de discontinuité, malgré la présence d'une station à proximité qui est celle d'Ouled Ali (020627) avec 35 ans d'observations, qui semble la plus représentative.

Les pluies moyennes annuelles sont comme suite :

- Hamiz : 777 mm
- Ouled Ali : 593 mm

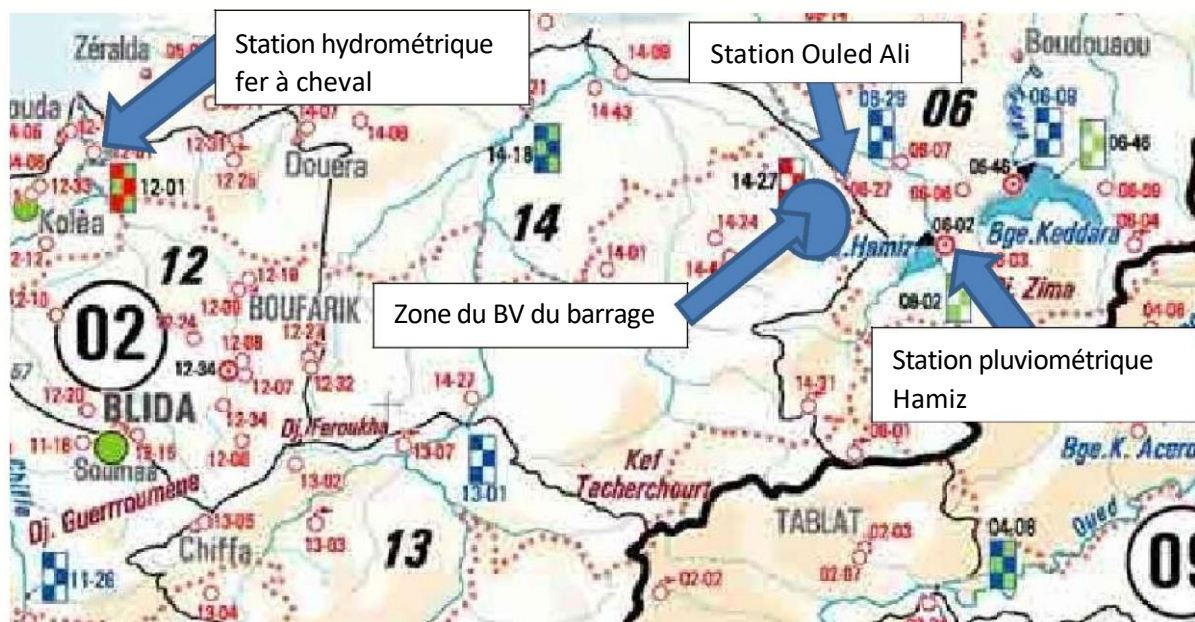


Figure I.04 : schématisation des différentes stations hydrométrique et pluviométrique
échelle : 1 / 500000

- ✓ Comme le montre la figure I.04 le bureau d'étude a fait appel aux formules empiriques, et la transposition de l'apport du bassin versant de Fer à Cheval pour estimer l'apport du bassin versant au lieu d'utiliser les données de la station d'Ouled Ali, d'où le bureau d'étude a trouvé un apport de 3.76 hm^3 ce qui est différent de celui trouvé dans ce travail qui s'élève jusqu'à 5.90 hm^3 qui semble le résultat le plus proche de la réalité.

Conclusion :

La synthèse de faisabilité est un élément indispensable à l'élaboration du mémoire de fin d'études, car elle met en évidence en donnant un aperçu global sur les diverses caractéristiques à prendre en compte dans le choix du type du barrage, telle que la géologie de la fondation qui constitue la force portante de l'enceinte du barrage à construire .Pour notre cas toutes les conditions font appel à la réalisation d'un barrage en terre.

Chapitre II : Etude hydrologique

Introduction :

L'hydrologie se définit comme l'étude du cycle d'eau et l'estimation des différents volumes et débits qui traversent chacune de ses étapes. Elle étudie les eaux sur la terre, leur circulation, leur distribution etc. C'est pour cela qu'on est en mesure de planifier et quantifier les débits des cours d'eau ainsi que les autres composantes du cycle de l'eau.

Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques est toujours lié à une bonne estimation des caractéristiques de la zone d'étude, comme les débits disponibles ainsi que les débits extrêmes.

II.1 Bassin versant**II.1.1 Caractéristiques morphologiques :**

a) caractéristiques géométriques : les résultats trouvés sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II-01 : principales caractéristiques du bassin versant

Surface du bassin versant	24.63 km ²
Périmètre du bassin versant	20.89 km
Longueur du talweg principal	8.68 km

b) paramètres de forme : b.1)**indice de GRAVELIUS :**

$$K_c = S/s * 0.282 \dots\dots\dots (II.01)$$

K = indice de compacité.

Périmètre du bassin

$$K_c = 1.17$$

b.2) le relief :

Tableau II-02 : coordonnées de la courbe hypsométrique

Altitude (m)	Si m ²	Altitude Hi m	Si %	Surface cumulé Km ²
0-150	514478.62	150	2.09	2.09
150-200	1675277.40	50	6.80	8.89
200-250	2743530.47	50	10.77	19.66
250-300	2754764.99	50	11.02	30.68
300-350	3337076.24	50	13.06	43.74
350-400	3544618.53	50	13.86	57.60
400-450	3661439.62	50	14.66	72.26
450-500	2878810.70	50	10.87	83.14
500-550	1739046.58	50	7.06	90.20
550-600	1637071.82	50	6.65	96.84
600-650	546139.089	50	2.20	99.04
650-700	179878.098	50	0.66	99.70
700-750	102214.65	50	0.41	100.12
750-800	9910.43	50	0.04	100.16

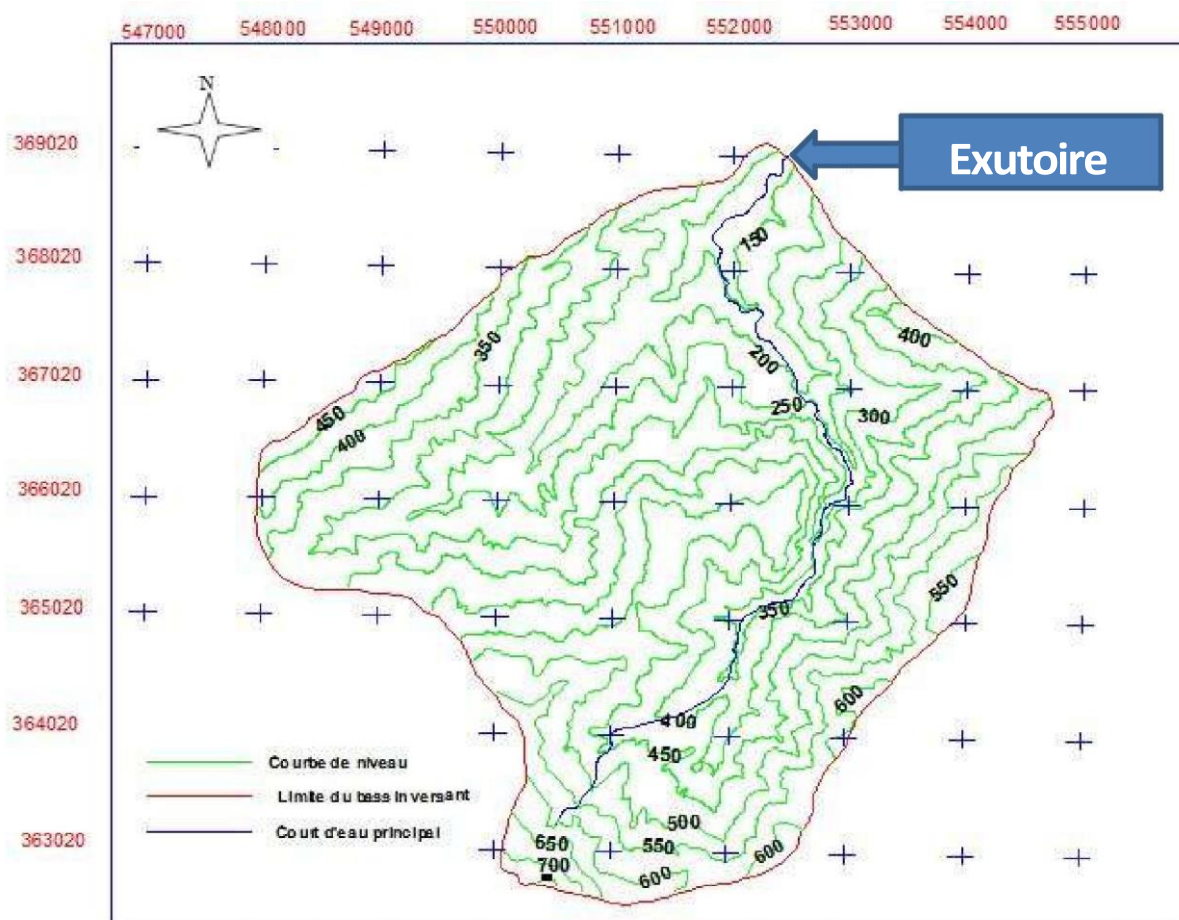


Figure II.01 : La répartition des courbes de niveaux

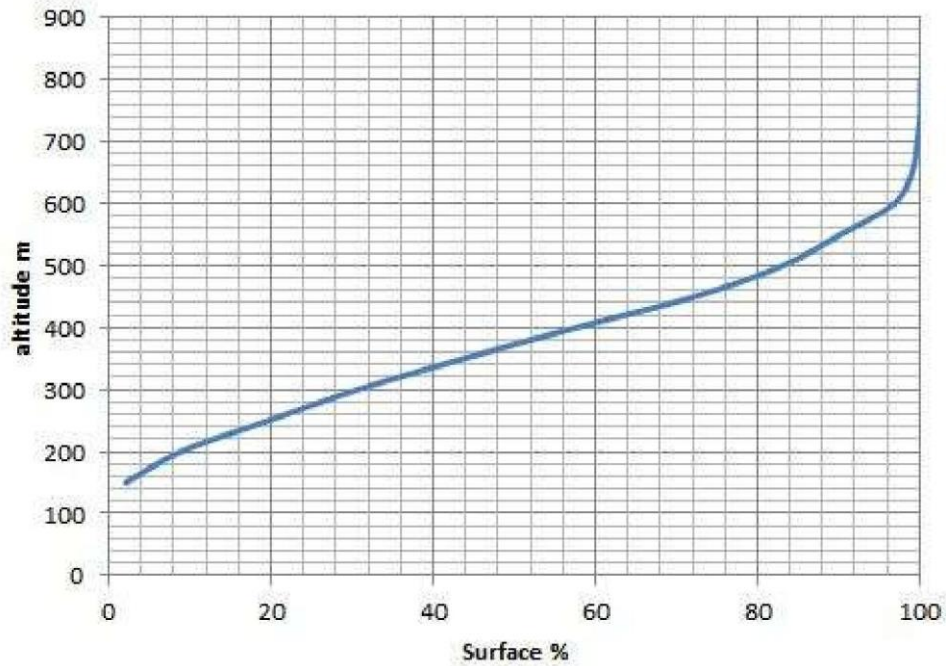


Figure II.02 : courbe hypsométrique

A partir de cette courbe on détermine :

1. L'altitude à 95% de la surface,
2. L'altitude à 50% de la surface (l'altitude médiane),
3. L'altitude à 5% de la surface, 9 L'altitude moyenne est ainsi définie : - 2

On trouve = 374.45 (II.02)
m

b.3) rectangle équivalent :

Il permet de comparer les bassins versant entre eux du point de vue écoulement.

On trouve $L=6.65$ km

$l = 3.70$ km

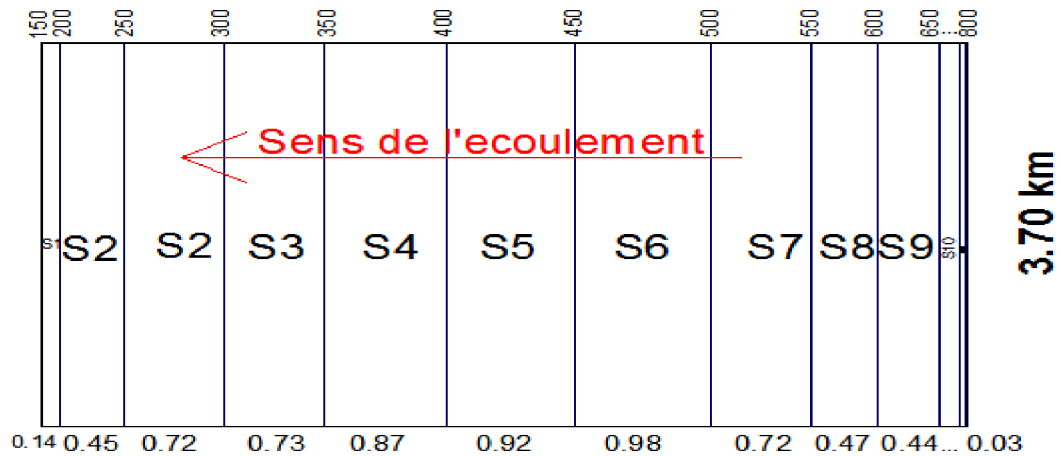


Figure II.03 : rectangle équivalent

b.4) les indices de pentes :

A. Indice de pente de roche :

$$I_r = 2.88$$

B. Indice de pente global :

o Est la dénivelée totale. Mais en réalité on prend

Est la longueur de rectangle équivalent

C. Indice de pente moyenne :

$$I = 10.33\%$$

D. Dénivelé spécifique :

La dénivelée spécifique est ainsi définie : $s = \frac{D}{L}$

On à $250 < D_s < 500m$ relief fort (Sari. A Initiation à l'hydrologie de surface)

II.1.2) caractéristiques du réseau hydrographique :

II.1.2.1 le réseau hydrographique :

A. densité de drainage :

$$D_d = \frac{L}{S} \quad (II.08)$$

: Longueur totale de tous les cours d'eau égale à 94.65km

S : surface du BV

$$D_d = 3.84 \text{ km/km}^2$$

B. densité des thalwegs élémentaires :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \quad (II.09)$$

Avec N_1 c'est le nombre des thalwegs d'ordre 1.

$$F_1 = 6.82$$

C. coefficient de torrentialité :

$$C_t = D_d * F_1 \quad (II.10)$$

$$C_t = 26.18$$

D. Rapport de confluence :

$$R_c = \frac{N_1}{N_2} \quad (II.11)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{38}{10}$$

$$\text{Cours d'eau d'ordre 1 et 2 : Cours d'eau d'ordre 2 et 3 : Cours d'eau d'ordre 3 et 4 : Cours d'eau d'ordre 4 et 5 : E.}$$

$$\frac{38}{10}$$

$$\frac{10}{3}$$

longueur moyenne des versants :

$$\frac{3}{-}$$

$$L_i = \frac{L}{N} \quad (II.12)$$

Avec L c'est la longueur du rectangle équivalent en Km.

$$L_i = 0.86$$

F. Pente moyenne du cours d'eau principale I_c :

Elle exprime le rapport entre la dénivelée et la longueur comprise entre deux points

suffisamment éloignés du cours d'eau principal. Elle est donnée par la formule suivante :

G. Temps de concentration du bassin versant t_c :

On utilise la formule empirique Algérienne (Mlles SAAD I Cherifi et TAMANI)

$$T = SLL \dots\dots\dots (II.14)$$

T

S= Surface du bassin versant ()

L= Longueur du cours d'eau principal ()

La différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale du bassin versant en mètre.

$$T = 4.36 \text{ h}$$

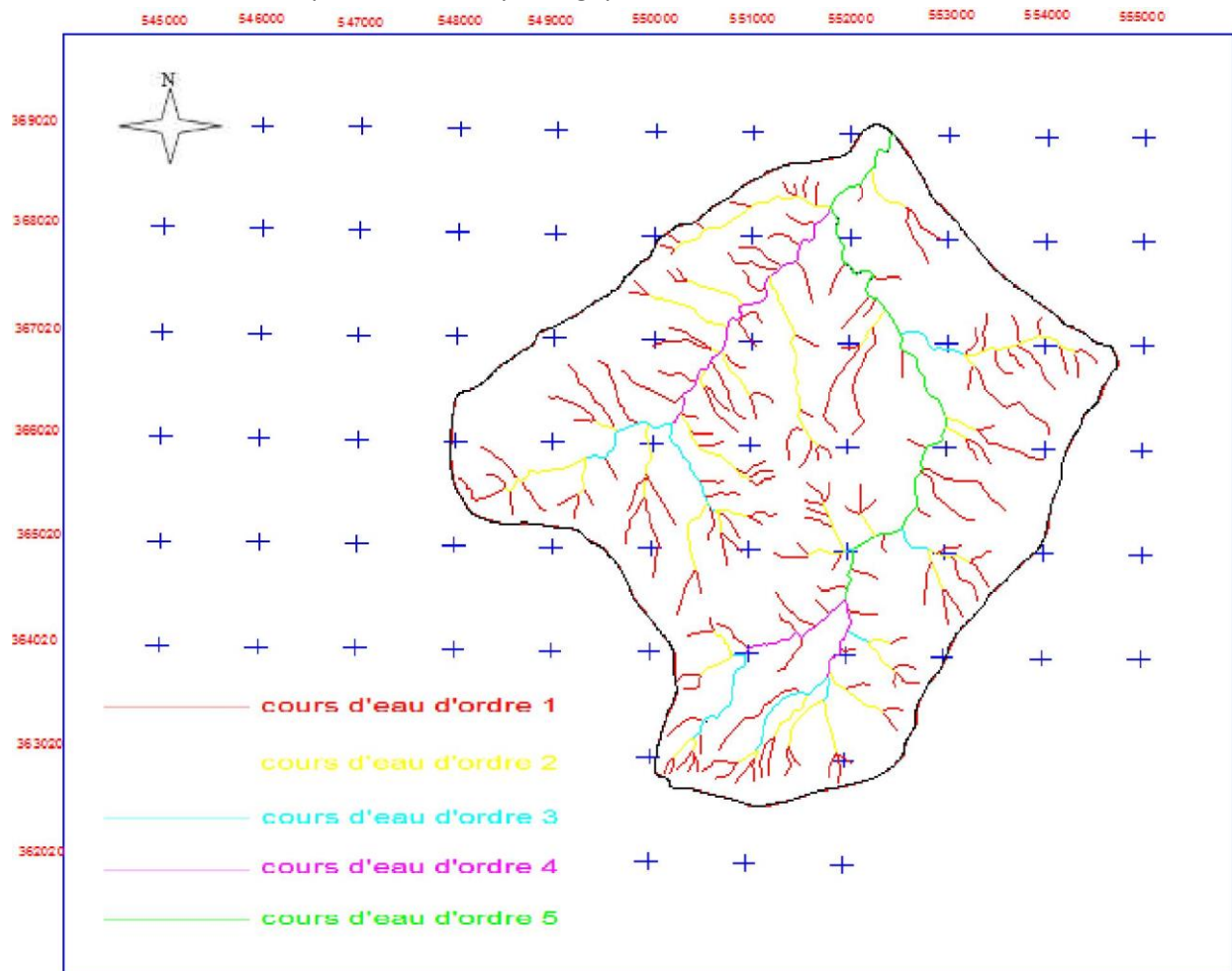


Figure II.04 : Le réseau hydrographique du bassin versant (classification de schum)

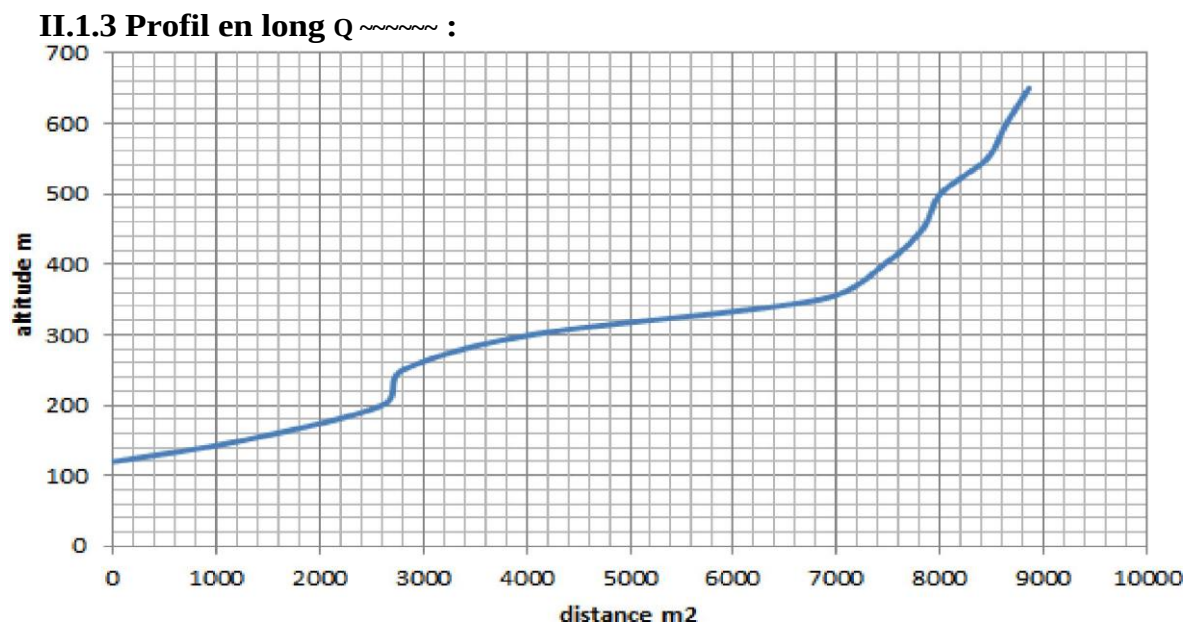


Figure II.05 : Profil en long du cours d'eau principal

Tableau II-03 : principales caractéristiques du bassin versant

désignation		Symbole	Unités	Valeur
superficie		S	Km ²	24.63
Périmètre		P	Km	20.89
Longueur du thalweg principal		L	Km	8.86
Indice de compacité		Kc		1.17
Coefficient d'allongement		Ca		3.05
Rectangle équivalent	longueur	L	Km	6.65
	largeur	l	Km	3.70
altitude	max	Hmax	m	809
	moyenne	H moy	m	374.45
	médiane	H med	m	372.57
	min	Hmin	m	120
Indice de pente de roche		Ip	%	2.88
Indice de pente globale		Ig	m/km	62.36
Indice de pente moyenne		Ipm	%	10.33
Densité de drainage		Dd	Km/Km ²	3.84
Coefficient de torrentialité		Ct		26.18
Temps de concentration		Tc	h	4.36
Vitesse de ruissellement		Vr	Km/h	2.03

II.2 Caractéristiques climatiques du bassin versant :

II.2.1 Température : (Température moyenne annuelle =18.79 °C).

Tableau II-04 : répartition mensuelle de la température.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuel
T (°C)	24.5	21.2	16.3	13.1	11.1	12.6	14.1	15.4	19.3	23.5	27.1	27.3	225.5
T ()	10,86	9,40	7,23	5,81	4,92	5,59	6,25	6,83	8,56	10,42	12,02	12,11	100,00

Source AN BT

II.2.2 Evaporation : (Evaporation moyenne annuelle =123.25 mm).

Tableau II-05 : répartition mensuelle de l'évaporation

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil .	Aout	Annuel
Eva (mm)	47	64	101	129	166	195	222	201	147	103	60	44	1479
v ()	3,18	4,33	6,83	8,72	11,22	13,18	15,01	13,59	9,94	6,96	4,06	2,97	100,00

Source ANBT

II.2.3 Le régime du vent :

Tableau II-06 : répartition mensuelle du vent.

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Annuel
V(Km/h)	2,53	2,55	2,79	2,96	2,82	2,67	3,50	3,42	3,26	2,74	3,35	2,53	35.14
()	7,20	7,26	7,95	8,43	8,04	7,60	9,95	9,74	9,27	7,81	9,54	7,20	100,00

Source AN BT

II.2.4 précipitations :

La station d'OULED A L I est la plus proche de la zone, ses coordonnées sont comme suit :

Tableau II-07 : Caractéristiques de la station pluviométrique disponible.

Station	Code	X(m)	Y(m)	Z(m)
Oued A LI	020627	553	371.65	67



Figure II.06 : l'emplacement de la station d'Ouled Ali par rapport au barrage

Tableau II-08 : Répartition mensuelle de la pluie annuelle.

Annee	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	Annuel
P (mm)	27.9	53.29	87.65	96.32	78.8	69.46	60.67	60.74	44.27	8.38	2.64	3.27	593.39
p(%)	4.70	8.98	14.77	16.23	13.28	11.71	10.22	10.24	7.46	1.41	0.44	0.55	100

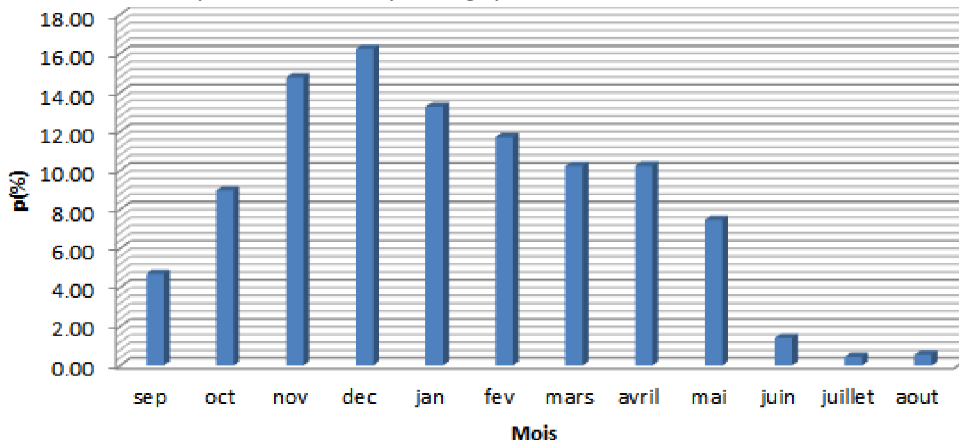


Figure II.07 : Répartition mensuelle des précipitations

II.3 Etude précipitations :

II.3.1. Homogénéisation des données :

Les erreurs dans les séries de mesures pluviométriques modifient le caractère aléatoire des phénomènes et les conditions de leur avènement. Si ces conditions changent cela veut dire que les données mesurées ne proviennent pas de la même population et que la série de mesures n'est pas homogène. Avant de pouvoir étudier statistiquement ces séries, il y a lieu donc, au préalable, de vérifier l'homogénéité.

Plusieurs tests statistiques sont utilisés pour s'assurer de l'homogénéité d'une série statistique.

Nous étudierons ici le test de Wilcoxon.

C'est un test non paramétrique le plus puissant, il se base sur le principe suivant : Si l'échantillon X est issu d'une même population Y, l'échantillon XUY en est également issu. Donc on a une série d'observations de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons X et Y : N1 et N2 sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec $N=N1+N2$ et $N1 < N2$.

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

On calcule par la suite les deux bornes suivantes :

$$W_{\min} = \frac{N(N+1)}{2} - \sqrt{\frac{N(N+1)}{2}} \quad \dots \dots \dots$$

$$W_{\max} = (W_2) - W_{\min} \quad \dots \dots \dots (II.17)$$

Sachant que $z=1.96$ pour un niveau de signification $\alpha=5\%$

On vérifie l'inégalité : $W_{\min} < \sum \text{Rang } x < W_{\max}$

$$\left. \begin{array}{l} \sum \text{Rang } x = 301 \\ W_{\min} = 210.7 \\ W_{\max} = 329.3 \end{array} \right\} \quad 210.7 < 301 < 329.3$$

L'inégalité est donc vérifiée, et notre série donc homogène.

II.3.2. Les précipitations maximales journalières :

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

Tableau II-09 : Caractéristiques empiriques de la série.

Nombre d'observations	35
Maximum	93
minimum	26.2
moyenne	49.4
Ecart-type	14.2
médiane	46.6
Coefficient de variation	0.288
Coefficient d'asymétrie	0.89
Coefficient d'aplatissement	3.81

II.3.2.1. Choix de la loi d'ajustement :

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Pour cela on opte pour les modèles fréquentielles suivants en utilisant le logiciel HYDROGNOMON :

- ✓ Loi normal
- ✓ Loi log normal
- ✓ GEV
- ✓ Loi Gumbel

II.3.2.1.1 Ajustement à la loi normal :

La distribution normale (N), également connue sous le nom de distribution de GAUSS, est une fonction symétrique par rapport à sa moyenne et découle du théorème de la limite centrale. La fonction de la densité de probabilité d'une variable aléatoire X s'exprime alors :

Pour estimer un quantile quelconque de x à partir de la distribution normale, on recourt généralement à la formulation suivante :

$$P = U + \sigma * u \text{ (équations de droite de Henry) } \dots\dots\dots (II.19)$$

: Moyenne
 U: écart-type (paramètre de dispersion) avec u : variable réduite de gauss

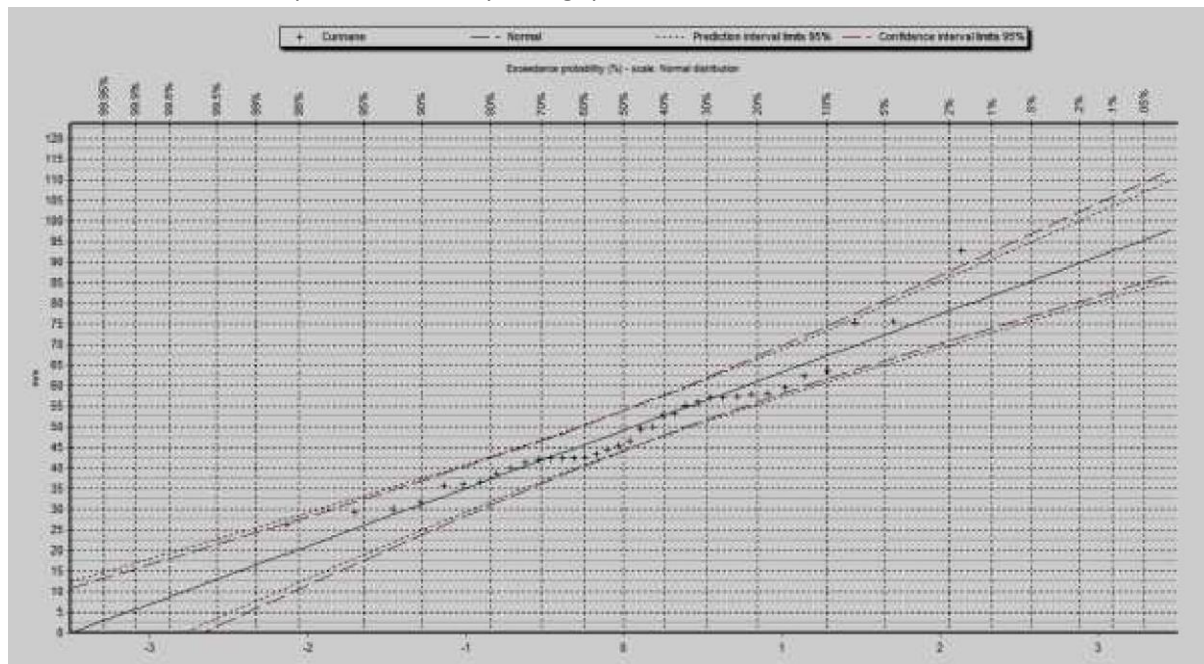


Figure II.08 : ajustement à la loi normal

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II-010 : Ajustement à la loi normal

T (période de retour)	Probabilité (N D)	Précipitation	Intervalle de confiance	
10000	99.99	102	116	88.9
5000	99.98	98.8	113	86.9
2000	99.95	95.5110	109.481	85.1509
1000	99.90	92.6925	105.950	82.8250
500	99.80	89.7084	102.211	80.3623
200	99.50	85.4541	96.8961	76.8479
100	99.00	81.9435	92.5322	73.9428
50	98.00	78.1077	87.7639	70.7685
20	95.00	72.3539	80.7193	65.9208
10	90.00	67.2417	74.5091	61.5744
5	80	61.05	55.94	67.21
2	50	49.20	44.25	54.09

II.3.2.1.2 Ajustement à la loi log normal 3 (GALTON) :

Cette distribution découle d'une modification apportée à la distribution normale afin d'étudier le logarithme de la variable aléatoire X . On requiert une telle procédure lorsque la variable aléatoire à l'étude s'étend sur plusieurs ordres de grandeur. Par rapport à la distribution normale, cette dernière à l'avantage d'être bornée ($X > 0$) et de réduire l'asymétrie de la variable X . Cette loi d'ajustement impose une limite inférieure μ (ce calcul par une formule) à X , ce qui permettra de pallier le problème de la distribution non normale due au logarithme d'une variable. La fonction de

$$N = \left(\frac{\ln(y) - \mu}{\sigma} \right) \dots \dots \dots (II.20)$$

et le quantile se calcul en appliquant : $y = \mu + \exp\left[\sigma \cdot \Phi^{-1}(p)\right] \dots \dots \dots (II.21)$

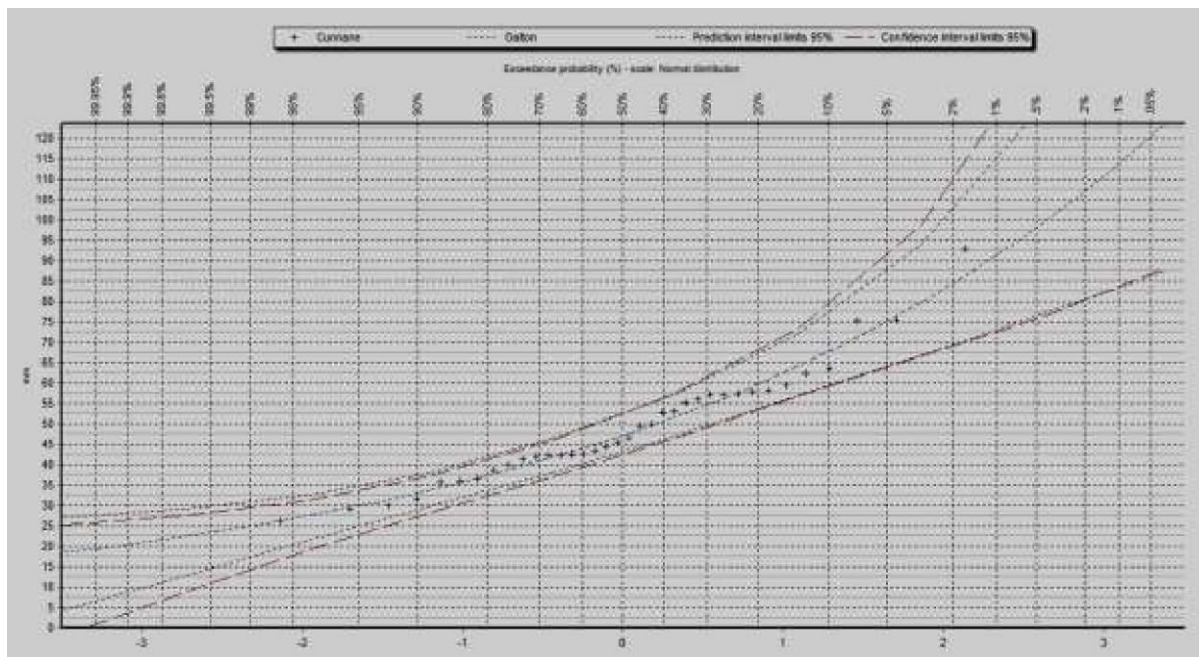


Figure II.09 : ajustement à la loi galton

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II-11 : Ajustement à la loi Galton

T (période de retour)	Probabilité (N D)	Précipitation	Intervalle de confiance	
10000	99.99	136	172	99.6
5000	99.98	129	162	96.1
2000	99.95	120.504	205.275	86.7594
1000	99.90	113.734	186.509	83.6673
500	99.80	106.989	166.640	80.3934
200	99.50	98.0744	139.866	75.8329
100	99.00	91.2950	125.566	72.6064
50	98.00	84.4348	109.940	69.0809
20	95.00	75.1275	91.6292	63.8314
10	90.00	67.7504	79.6210	59.1995
5	80	59.8118	68.1552	53.4529
2	50	47.2221	52.4786	42.5027

II.3.2.1.3 Ajustement à la loi Gumbel L-moment :

La distribution GEV se réduit à la distribution Gumbel lorsque $k=0$, dont on se sert également beaucoup. Elle a été conçue de façon à décrire les valeurs extrêmes d'un ensemble d'échantillons d'une population donnée telles les précipitations. La fonction de distribution

de probabilités est : $F(x) = e^{-\frac{y}{x_0}} \dots \dots \dots (II.21)$

avec: $y = -\ln(-\ln(F(x)))$.

D'où La droite de Gumbel est donnée par la formule $y = \alpha + x_0 \dots \dots \dots (II.22)$

avec « α » et « x_0 » paramètres d'ajustement. On trouve $\alpha=11.35$ et $x_0=42.84$.

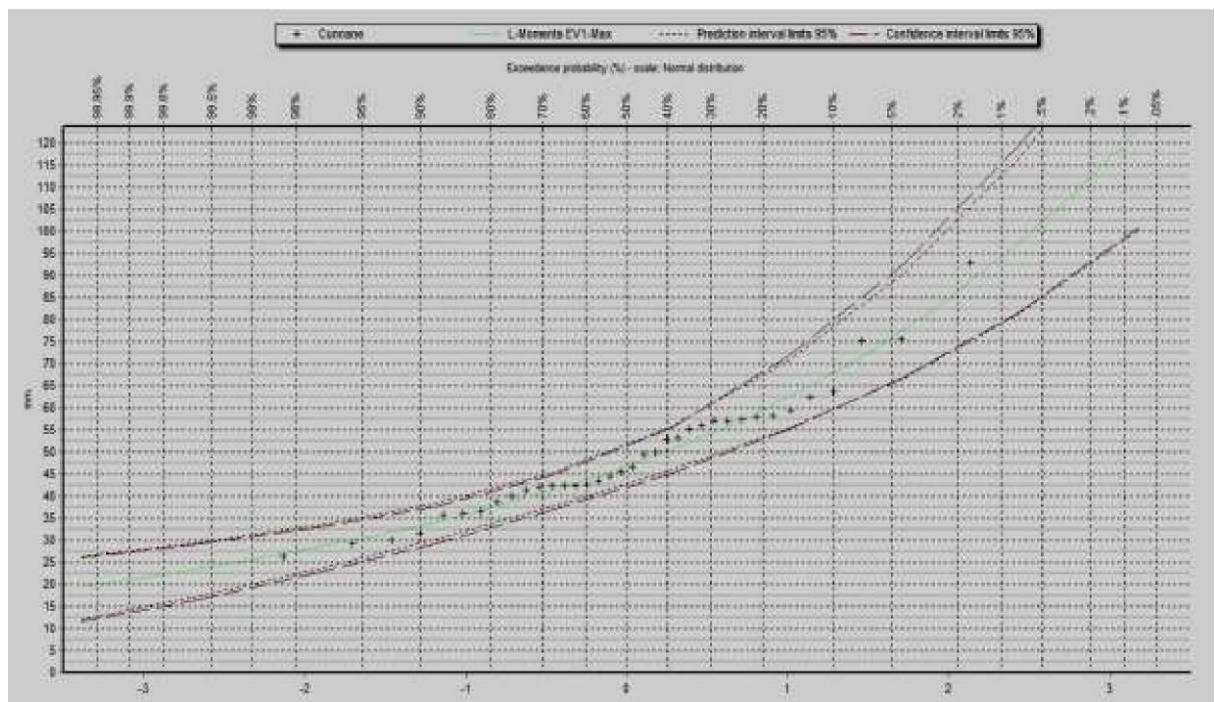


Figure II.10 : Ajustement à la loi Gumbel L-moment

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II-12 : Ajustement à la loi Gumbel

T (période de retour)	Probabilité (N D)	Précipitation	Intervalle de confiance	
10000	99.99	147	178	117
5000	99.98	140	168	111
2000	99.95	129	155	104
1000	99.90	120.031	149.811	98.6794
500	99.80	112.269	139.895	93.1763
200	99.50	102.001	125.759	85.3309
100	99.00	94.2189	115.303	79.5317
50	98.00	86.4068	105.094	73.8733
20	95.00	75.9831	90.4549	65.7202
10	90.00	67.9288	79.8521	59.6673
5	80	59.5341	68.0867	52.7980
2	50	46.8548	51.4002	41.9453

II.3.2.2. Qualité de e'glWVtfmfnt :

Il y a toujours des écarts entre les fréquences expérimentales des valeurs observées et les fréquences théoriques calculées à partir d'une fonction de distribution choisie. Plusieurs méthodes existent pour évaluer la qualité de l'ajustement d'une fonction de distribution choisie, mais aucune de ces méthodes n'est entièrement fiable. C'est pour cela qu'on opte pour l'essai de plusieurs méthodes à la fois.

II.3.2.2.1 Inspection visuelle de la distribution : Cette procédure permet dans ce cas, de vérifier la qualité de l'ajustement des fonctions. Notons qu'une estimation juste des valeurs extrêmes demande un bon ajustement de la partie supérieure du graphique, qui correspond aux probabilités cumulées élevées. En interprétant la figure si dessous, on voit bien que la distribution Gumbel (courbe avec la couleur verte) est la plus adaptée à l'échantillon. La loi Log normal 3 (courbe avec couleur rose) est moins adaptée. Contrairement à la loi normale (courbe avec couleur noir) on confirme la piètre performance de cette dernière.

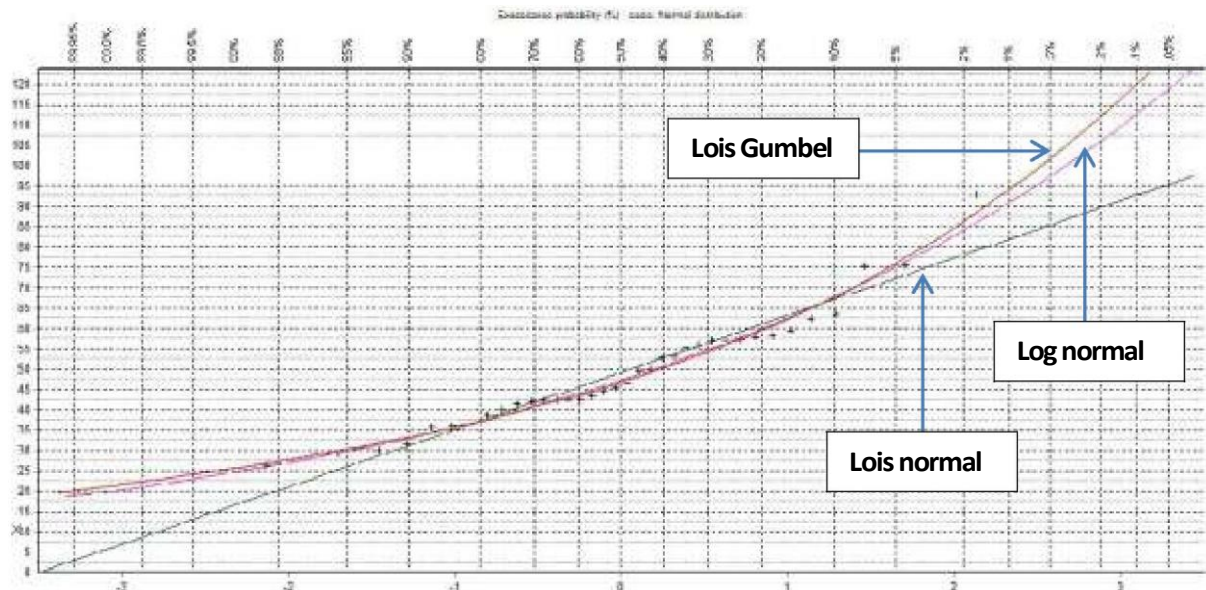


Figure II.11 : représentation des trois lois de distribution

II.3.2.2.2 Inférences statistiques :

Ces méthodes ont pour but d'évaluer l'importance de l'écart entre les fréquences empiriques des valeurs observées et les fréquences théoriques obtenues à partir d'une fonction de répartition choisie. Ainsi elles nous aident à déterminer le rejet ou l'acceptation de la fonction de distribution de probabilité ce qu'on appelle inférence statistique. Pour cela on utilise les tests du Khi-deux et de Kolmogorov-Smirnov (K-S).

- **Test de Khi-deux** Tableau II-13 : test de khi-deux

	a=1 %	a=5%	a=10%
Loi normale	ACCEPT	REJECT	REJECT
Loi LN3	ACCEPT	ACCEPT	REJECT
Loi Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT

- **Test de Kolmogorov-Smirnov**

Tableau II-14: test kolmogorov-smirnov

	a=1 %	a=5%	a=10%
Loi normale	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
Loi LN3	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT
Loi Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT

avec **a** c'est le risque

Constatations :

La loi normale est à écarter car elle est rejetée par le test Khi-deux en plus du mauvais ajustement dans le graphique (que les fréquences empiriques ne convergent pas vers les probabilités théoriques). D'autant plus en hydrologie fréquentielle des valeurs extrêmes, les distributions ne sont cependant pas symétriques, ce qui constitue un obstacle à son utilisation.

Il est à remarquer que plus le nombre de paramètres d'une loi est grand plus l'incertitude dans l'estimation est importante, puisque la loi de Gumbel présente deux paramètres avec des résultats favorables des tests d'adéquation donc celle-ci sera le modèle adéquat d'ajustement.

II.3.3. La pluie de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités :

Les courbes I D F sont établies sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station au cours d'une longue période. Les courbes obtenues peuvent donc être construites de manière analytique ou statistique.

Dans ce présent calcul on utilise la formule de Body exprimé par :

$$P_{\max, P\%} = P_{\max J} \left(t^{24} / \Pi \right)^{\frac{1}{b}} \quad (\text{II.23})$$

$P_{\max, \text{pao}}$: pluies de courte durée (mm) de fréquence égale à celle de $P_{\max j}$.

$P_{\max j}$: pluies maximales fréquentielles.

t: temps en heure.

b: exposant climatique $b=0.556$ (source AN BT)

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante

Les courbes IDF ne sont pas une fin en soi mais sont construites dans un but bien précis. Elles permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique d'une station donnée et d'autre part de calculer succinctement des débits de projet et d'estimer

des débits de crue ainsi que de déterminer des pluies de projet utilisées en modélisation hydrologique.

Les courbes des pluies de courte durée et celles des intensités fréquentielles sont représenté ci-dessous :

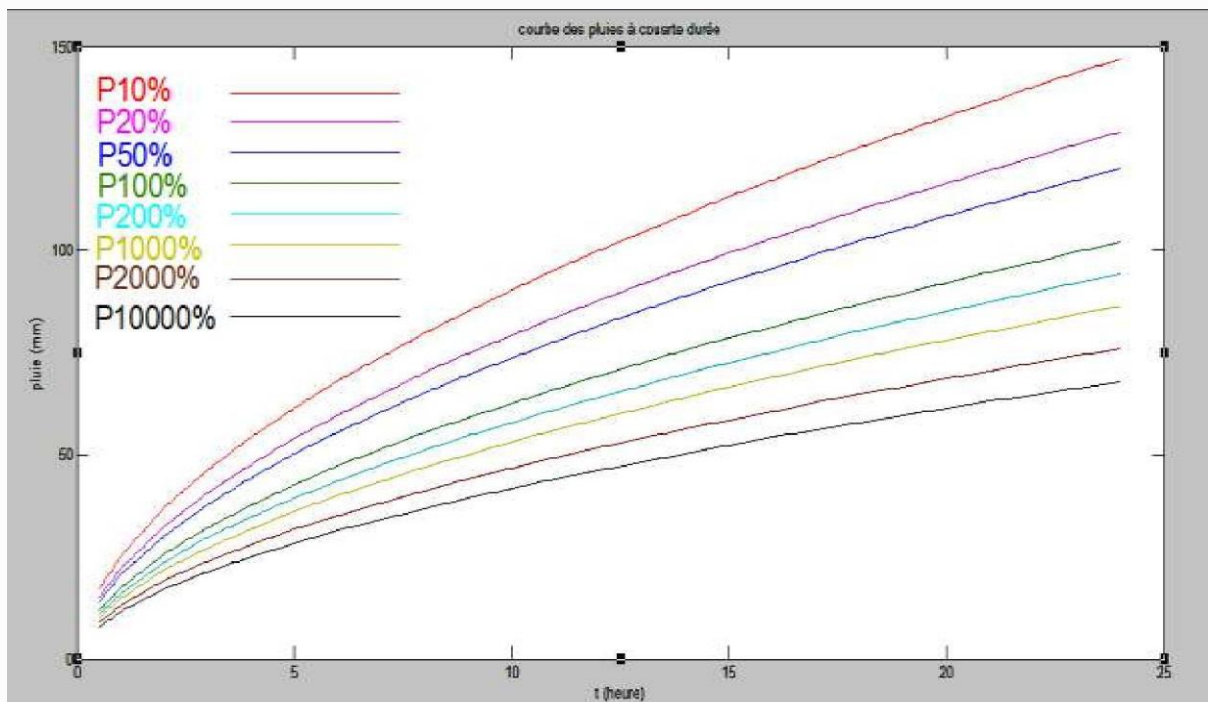


Figure II.12 : Courbes des pluies de courte durée

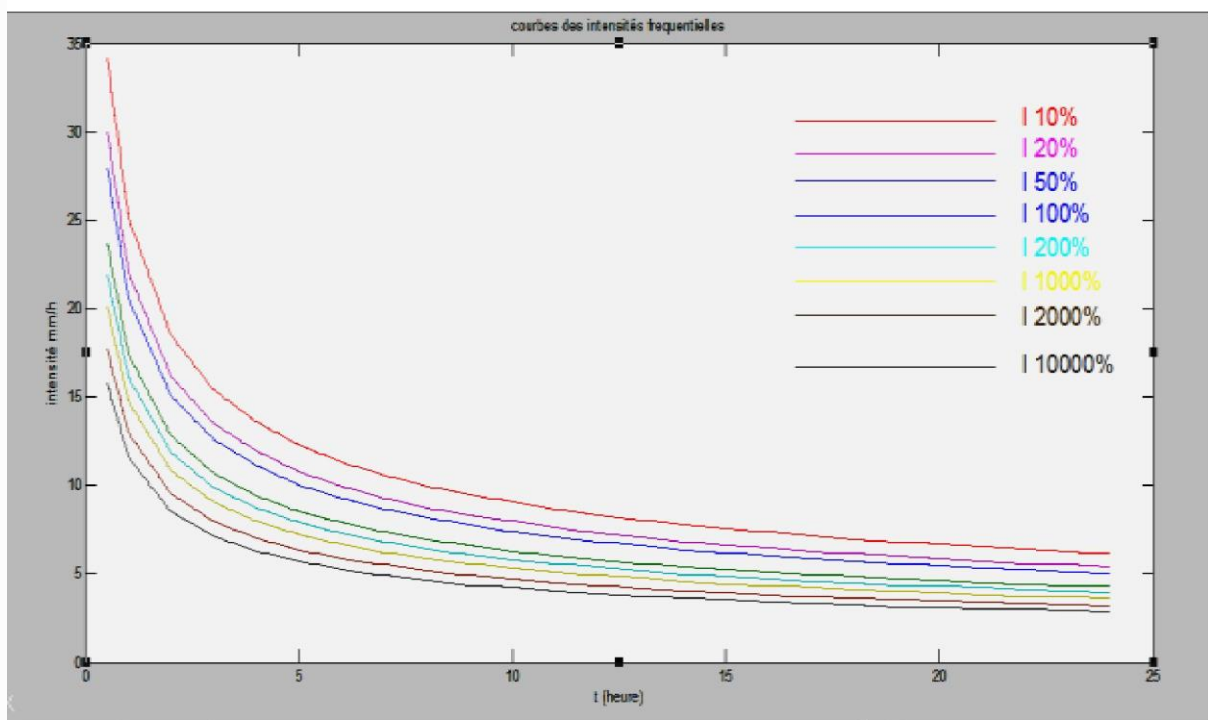


Figure II.13 : Courbes des intensités fréquentielles

II.4. Etude des apports

II.4.1. L'apport moyen interannuel (A_0) :

II.4.1.1 : Station hydrométrique :

Cette étude s'est basée sur les données mesurées par la station hydrométrique OULED ALI située à 2km le l'axe du barrage. Pour cette raison on doit déterminer le bassin versant qui caractérisant la station et cela dans le but d'estimer les débits à l'axe du barrage en faisant multiplié les débits de la station par un facteur de réduction définit par :

$F =$

$$\frac{S_{barek}}{S_{ouled\ ali}} = 0.73$$

Avec : S_{barek} = surface du BV de Barek en km^2 .

$S_{ouled\ ali}$ = surface du BV de la station hydrométrique en km^2 .

La figure suivante montre l'emplacement de la station d'Ouled Ali

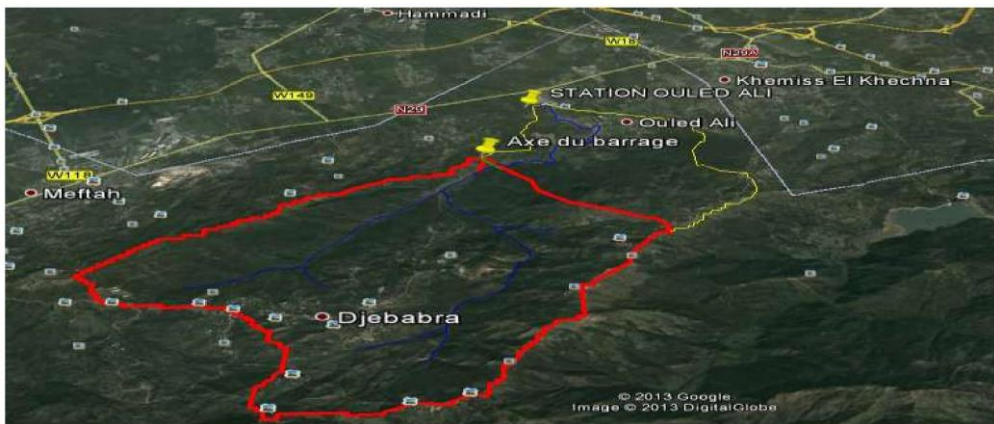


Figure II.14 : situation de la station d'Ouled Ali

En utilisant le logiciel Global Mapper on a délimité le BV comme le montre la FIG si dessous, ainsi calculer la surface qui est de $33.53\ km^2$

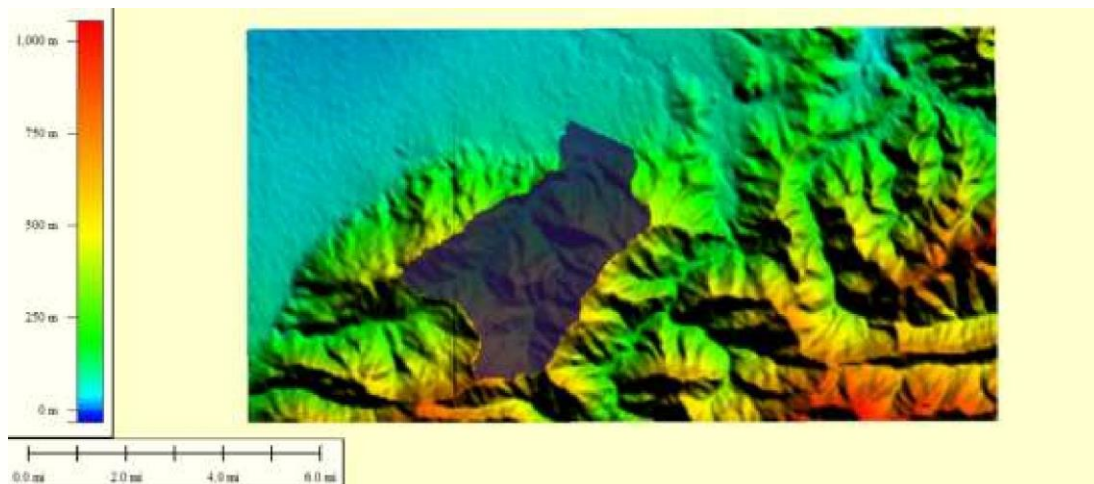


Figure II.15 : bassin versant de la station hydrométrique

Le tableau ci-après récapitule la répartition mensuelle des apports, suit la même répartition que les précipitations.

Tableau II-15: répartition mensuelle des apports

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	AN
Apport (Mm3)	0,0029	0,0922	0,5082	1,2589	1,2180	0,6245	0,6013	0,4306	0,3265	0,0254	0,000043	0	5,089
Apport en %	0,059	1,812	9,987	24,738	23,935	12,273	11,817	8,462	6,416	0,501	0,001	0,00	100

Tableau II-16: répartition mensuelle des apports après transposition

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	AN
Appor t (Mm3)	0,0022	0,0673	0,3710	0,9190	0,8892	0,4559	0,4390	0,3144	0,2384	0,0186	0,0000	0,00	3,71
Appor t en %	0,0589	1,8122	9,9869	24,7376	23,935	12,2730	11,8166	8,4619	6,4161	0,5010	0,0008	0,00	100

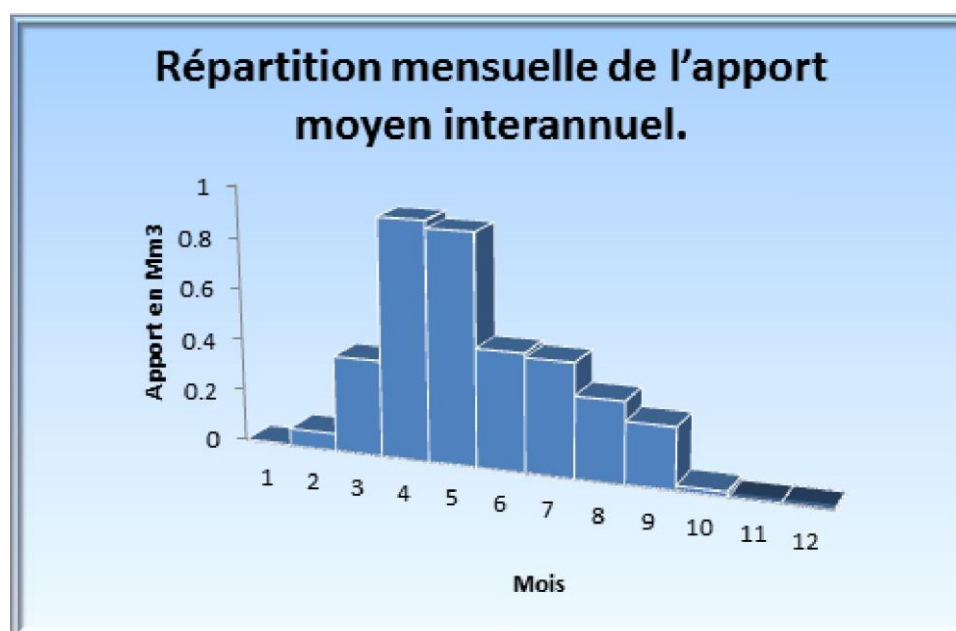


Figure II.16 : La répartition mensuelle des apports

II.4.2. caractéristique de l'écoulement :

a) Module de l'écoulement :

$$M_e = \frac{A}{S} \quad (II.25)$$

A : Apport moyen annuel (l).

T : une année en secondes (31536000 s)

A : Apport moyen annuel (l).

S : Surface du bassin versant ()

$$e = \frac{A}{S} \quad e$$

d) Coefficient de l'écoulement ou de ruissellement :

$$Il \text{ es donné par : } e = PL \quad (II.28)$$

Avec : P_{moy} : Pluie moyenne annuelle (mm). L_e
: Lame d'eau écoulée (mm).

II.4.3 Les apports fréquentiels :

L'estimation fréquentielle des apports à partir des apports moyens mensuels peut se faire avec l'application de la fonction de distribution Pearson III donnée par la formule suivante :

$$A_{pap} = K_{pap} * A_o = (K_{pap} * C_l + 1) * A_o \text{(II.29)}$$

Avec : K_{pap} : Fonction de Rybki ne-Foster.

A_{pap} : Débit de fréquence donnée(Mm^3).

A_o : Débit moyen annuel (Mm^3)

C_l : Coefficient de variation.

II.4.3.1 Ajustement de la série des apports à la loi de distribution Pearson III :

L'ajustement de la série des débits moyens mensuels par le logiciel Hydro gnomon nous a donné les résultats du tableau suivant :

Tableau II -17: caractéristique empirique de la série.

Nombre d'observations	20
Minimum	0.09
Maximum	11.7
Moyenne	3.77
Ecart-type	2.98
Médiane	4.14
Coefficient de variation	0.79
Coefficient d'asymétrie	1.32
Coefficient d'aplatissement	3.86

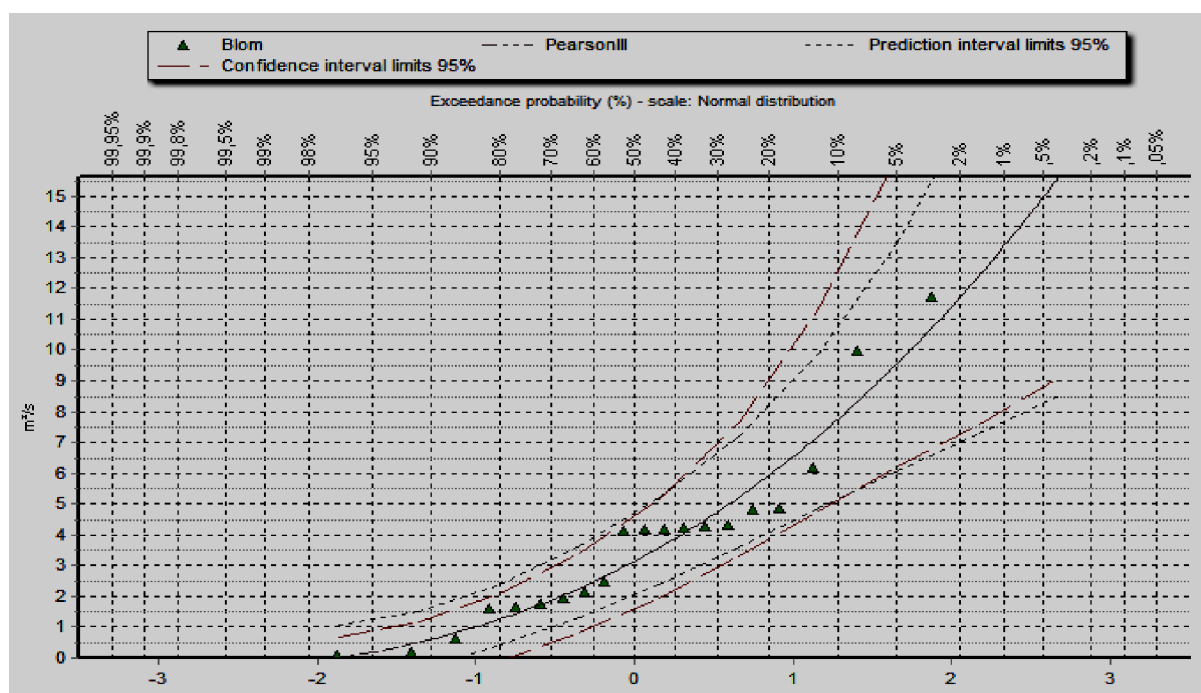


Figure II.17 : distribution Pearson III

Tableau II-18: apport fréquentiels

Période de retour (ans)	Probabilité au non dépassement	Apport (Mm^3)	Intervalle de confiance (95%)
10000	0.9999	23.7	N/D
1000	0.9990	20.1	N/D
500	0.9980	18.6	N/D
200	0.9950	15	8.7-30.15
100	0.9900	13.36	7.96-26.54
50	0.9800	11.72	7.17-22.59
20	0.9500	9.50	6.03-16.73
10	0.9000	7.75	5.12-12.78
5	0.8000	5.90	3.87-9.05
2	0.5000	3.13	1.61-4.63

On trouve $A_{80\%} = 5.90 Mm^3$

II.4.3.2 Répartition mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%:

La 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-19: répartition mensuelle des apports moyens annuels de fréquence 80%.

mois	sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	mars	Avr.	mai	juin	Juil.	aout	AN
Apport 80% (Mm^3)	0.0035	0.1069	0.5892	1.4595	1.4122	0.7241	0.6972	0.4993	0.3785	0.0296	0.0001	0.00	5,90
Apport en %	0,059	1,812	9,987	24,738	23,935	12,273	11,817	8,462	6,416	0,501	0,001	0,00	100

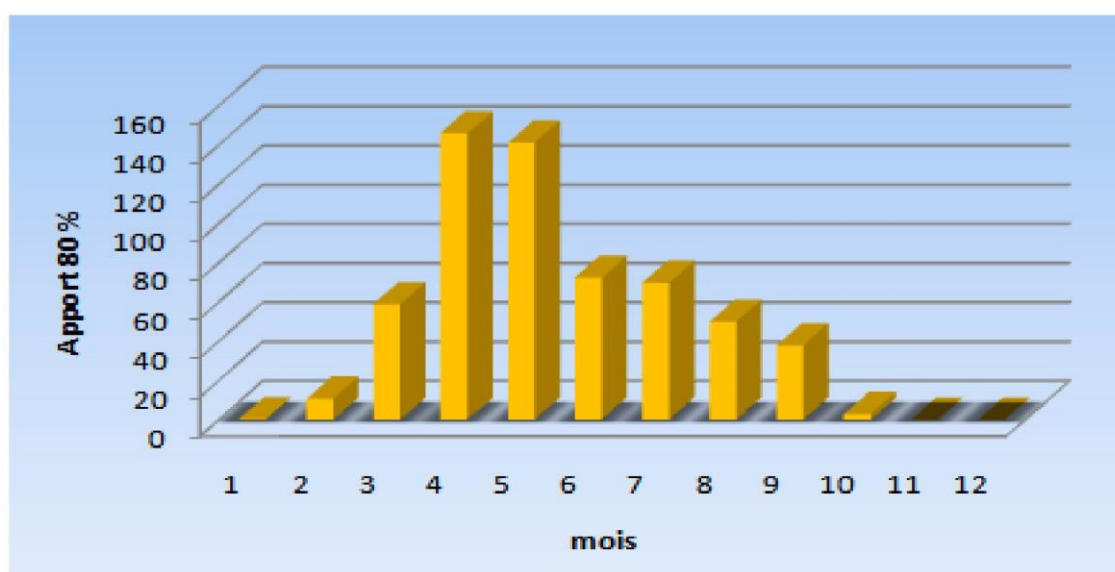


Figure II.18 : Représentation mensuelle de l'apport moyen interannuel de fréquence 80%.

II.4.4 Apport solide et Estimation de volume mort :

Le transport solide est un phénomène avec deux modes :

- Charriage : déplacement près du fond de matériaux plutôt grossiers.
- Suspension : l'entraînement par le courant turbulent, dans toute la section d'écoulement de matériaux plutôt fins.

Ces derniers engendreront le phénomène de l'envasement d'où son estimation est indispensable pour un dimensionnement adéquat de l'ouvrage .

II.4.4 .1.Estimation de l'apport solide :

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

$$T_s = a * L_o^{0.15} \quad (II.29).$$

Avec : T_s : le transport solide (t/Km²/an).

L_o : la lame écoulée (mm).

a : Paramètre caractérisant la perméabilité du bassin versant.

Pour notre cas : $a=350$ (faible à moyenne perméabilité)

$$AN : T_s = 350 * 150.62^{0.15} = 742.59 \text{ t/km}^2/\text{an}$$

$$T_s = 742.59 \text{ t/km}^2/\text{an}$$

$$A_s = E_s * S \quad (II.30) \quad S:$$

superficie du bassin versant en Km².

$$T_s = 742.59 \text{ (t/Km}^2/\text{An)}.$$

$$A_s = 18290.048 \text{ t/An.}$$

Le volume des solides est égal à:

$$y_s \text{ Avec } \gamma_s = 1.4 \text{ t/m}^3.$$

$$V_s = 12193.36 \text{ m}^3/\text{An.}$$

b) Formule de Fournier : Le transport solide est

donné par la formule suivante :

$$\dots\dots\dots (II.31)$$

Avec : E_s : érosion spécifique (t/Km²/an)

P_m : Pluie mensuelle du mois le plus pluvieux (mm). $P_m = 48.45 \text{ mm.}$

P_a : Pluie moyenne annuelle (mm) $P_a = 380.42 \text{ mm.}$

$$h = 45\% (H_{\max} - H_{\min}) \text{ (m)};$$

$H_{\max}$: Altitude maximale = 1370m. $H_{\min}$: Altitude minimale = 656.5m. S : Surface du bassin versant (km^2) $S = 176 \text{ Km}^2$.

A.N : /

$$E_s = 1805.79 \text{ t/km}^2/\text{an}$$

(II.32)

S : superficie du bassin versant en Km^2 .

$$T_s = 1805.79 \text{ (t/Km}^2/\text{An)}.$$

$$A_s = 44718.27 \text{ t/An}.$$

Le volume des solides est égal à:

$$y_s \text{ Avec } \gamma_s = 1.4 \text{ t/m}^3.$$

$$V_s = 31941.61 \text{ m}^3/\text{An}$$

c). Formule de Sogreah:

$$\dots\dots\dots (II.33)$$

a : paramètre caractérisant la perméabilité du bv ($a = 350$).

P : pl uie moyenne annuelle (en mm).

$$E_s = 350 * 593.39^{0.15} = 912.5 \text{ (t/Km}^2/\text{An)}.$$

$$A_s = 22466.40 \text{ t/An}.$$

$$V_s = 16047,42 \text{ m}^3/\text{An}.$$

d) Formule de Gravilovitch :

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

$$\dots\dots\dots (II.34).$$

$$\sqrt{\frac{t}{10}} + \dots \dots \dots (II.36).$$

$$\frac{(\sqrt{P})}{\dots \dots \dots} \dots \dots \dots (II.37).$$

T₀ : taux d'abrasion (t/Km²/an).

T_{sp} : le taux de la production annuel des matériaux en (m³/km²/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=18.79°C

P : périmètre du bassin versant (Km). P=20.89 km.

L : longueur du talweg principal (Km). L= 8.86 km.

H_{moy} : Altitude moyenne (km). H_{moy}=0.37445 km.

A.N:

$$T = 2.37$$

$$T_{sp} = \frac{2.37 * 593.39 * 3.14 * (0.3)^{0.5}}{(\dots \dots \dots)} = 725.83 \text{ m}^3/\text{km}^2 * \text{an}$$

$$T_0 = 1.6 * 725.83 = 943.57 \text{ t/km}^2 * \text{an}$$

$$T_0 = 943.57 \text{ t/km}^2.\text{an}$$

$$A_s = 23240.35 \text{ t/An.}$$

$$V_s = 17877,19 \text{ m}^3/\text{An.}$$

II.4.4.2. Calcul du volume mort :

C'est un volume qu'on doit prévoir à long terme ayant objectif d'emmagasiner la vase acheminée par le court d'eau du barrage.

a) Méthode liée à l'érosion spécifique :

Le volume s'obtient par la formule suivante :

$$\sim \dots \dots \dots (II.37).$$

Avec : E_s : Erosion spécifique (t/km²/an) .

T : Durée de vie du barrage (50 ans).

: Poids spécifique des sédiments (1,4 t/m³) .

S : Surface du bassin versant (K m²).

A.N :

$$\text{-----} = 1588450.27 \text{ m}^3 \quad V_m = 1.59 \text{ Hm}^3$$

b) Formule de Tixeront : Le volume mort est

donné par la formule suivante :

$$V_M = (1.05 - \frac{1.10}{\gamma_s}) Q_s \cdot T \quad \text{-----} \quad (\text{II.38}).$$

Avec : $Q_s = T_s \cdot S \quad \text{-----} \quad (\text{II.39}).$

: Le débit solide (t/an)

: Poids spécifique de la vase humide (= 1,6 t/m³).

T : Durée de vie du barrage (50 ans).

Ts : le transport solide (t/Km²/an).

S : surface du bassin versant (km²).

A.N : $Q_s = 742.59 \cdot 24.64 = 18297.41 \text{ t par an.}$

$$\text{-----} = 718827.12 \text{ m}^3$$

$$V_m = 0.72 \text{ Hm}^3$$

c) Formule de Gravilovitch :

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

$$V_M = \frac{T_0 \cdot S \cdot T}{\gamma_s} \quad \text{-----} \quad (\text{II.40}).$$

Avec : T₀ : taux d'abrasion (t/Km²/an).

T : Durée de vie du barrage (50 ans).

S : Surface du bassin versant (Km²).

: Poids spécifique de la vase humide (= 1,4 t/m³).

AN :

$$\text{-----} = 830004.61 \text{ m}^3$$

$$V_m = 0.83 \text{ Hm}^3$$

Les résultats obtenus par les différentes méthodes sont représentés dans le tableau II.29.

Tableau II.20 : récapitulatif des résultats du volume mort.

Formule	Volume mort pour (Hm^3)
Méthode liée à l'érosion spécifique (Fournier)	1.59
Tixeront	0.72
Gravi lovitch	0.83

Commentaire:

On opte pour la relation de Fournier pour des raisons de sécurité et non seulement qu'elle est largement utilisée en Algérie mais aussi elle donne un volume mort qui est proche de celui trouvé par le bureau d'étude (environ 1.5Hm^3).

II.5. Etude des crues :

Elle consiste à estimer un volume d'eau arrivant au barrage en un intervalle de temps bien déterminé, cela par l'élaboration de l'hydrogramme de crue, ce qui permettra par la suite le dimensionnement des ouvrages principaux du barrage.

II.5.1. Déterminations des crues :

Pour la détermination du débit de pointe probable de la crue des différentes périodes de retour, on passe par l'ajustement de la série des débits maximaux à la loi log-normal avec le logiciel HYFRAN.

La série des débits maximaux est représentée dans l'Annexe

La figure suivante représente les caractéristiques de l'échantillon

Caractéristiques de l'échantillon	
Nombre de données [n] :	20
Minimum :	0.510
Maximum :	59.7
Moyenne :	8.95
Écart-type :	12.5
Médiane :	5.73
Coefficient de variation [Cv] :	1.40
Coefficient d'asymétrie [Cs] :	3.82
Coefficient d'aplatissement [Ck] :	13.5

Figure II.19 : caractéristiques de l'échantillon.

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

Tableau II.21 : résultats de l'ajustement Log-normal

Période de retour (ans)	Probabilité au non dépassement	Débit max (M s)	Intervalle d confiance (95%)
10000	0.9999	249	N/D
1000	0.9990	131	N/D
500	0.9980	105	N/D
100	0.9900	59.5	N/D
50	0.9800	44.9	N/D
20	0.9500	29.5	8.78/50.2
10	0.9000	20.3	7.79/32.8
5	0.8000	12.9	6.08/19.7
2	0.5000	5.43	2.89/7.87

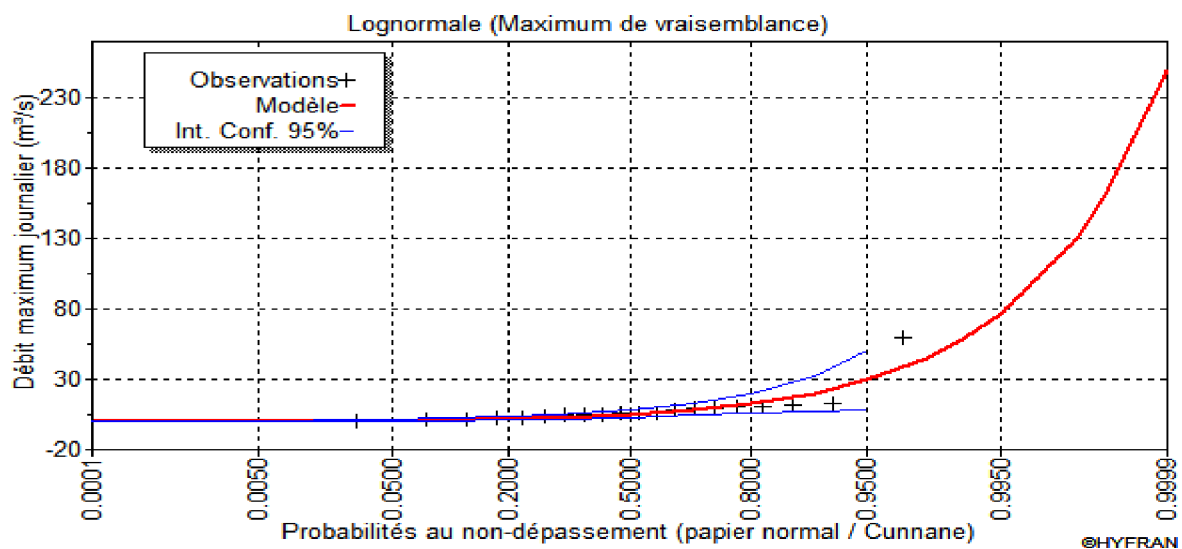


Figure II.20 : loi log normal.

• Test d'adéquation du Khi carré :

Hypothèses

H_0 : L'échantillon provient d'une loi Normale

H_1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Normale

Résultats :

p-value $p = 0.09$

Degré de liberté : 3

Nombre de classe : 6

Nous pouvons accepter H_0 au niveau de signification de 5 %

Tableau II.22 : les débits de crues fréquentiels.

Période de retour	2	5	10	20	50	100	1000	2000	10 000
$Q_{\max}$ (m ³ /s)	5.43	12.9	20.3	29.5	44.9	59.5	105	131	249

II.5.2. Hydrogramme de crue :

Après avoir déterminé les débits de pointe fréquentiels on pourra passer à la construction des hydrogrammes de crue.

II.5.2.1 Détermination des Hydrogrammes de crues probables par la méthode de Sokolovski :

Sokolovski considère que l'hydrogramme de crue présente deux branches de courbe, l'une pour la montée et l'autre pour la décrue. Chacune d'elle a sa propre équation.

a) Pour la montée:

$$\dots\dots\dots (II.41).$$

b) Pour la décrue :

$$\text{---} \dots\dots\dots (II.42).$$

Avec :

Q_m : débit instantané de la montée (m³/s).

Q_d : débit instantané de la décrue (m³/s).

t_m : temps de la montée de la crue en heures.

t_d : temps de la décrue en heures.

$Q_{\max}$: débit maximum de la crue de fréquence considérée en (m³/s).

n, m : Puissance des courbes ;

$n=2$ pour la montée de la crue.

$m=3$ pour la décrue.

t_m : temps de montée.

t_d : temps de 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).
- ✓ $t_d = S t_m$;

S : coefficient de forme de l'Hydrogramme de crue.

(S =2 ; Petits cours d'eau et vallons dans des bassins versants dénudés et faiblement perméables)

Donc : $t_m=4.36$ heures et $t_d=2*4.36=8.72$ heures.

Les Hydrogrammes de crues pour différentes périodes de retour sont donnés par le tableau (II. 19) dans l'annexe II

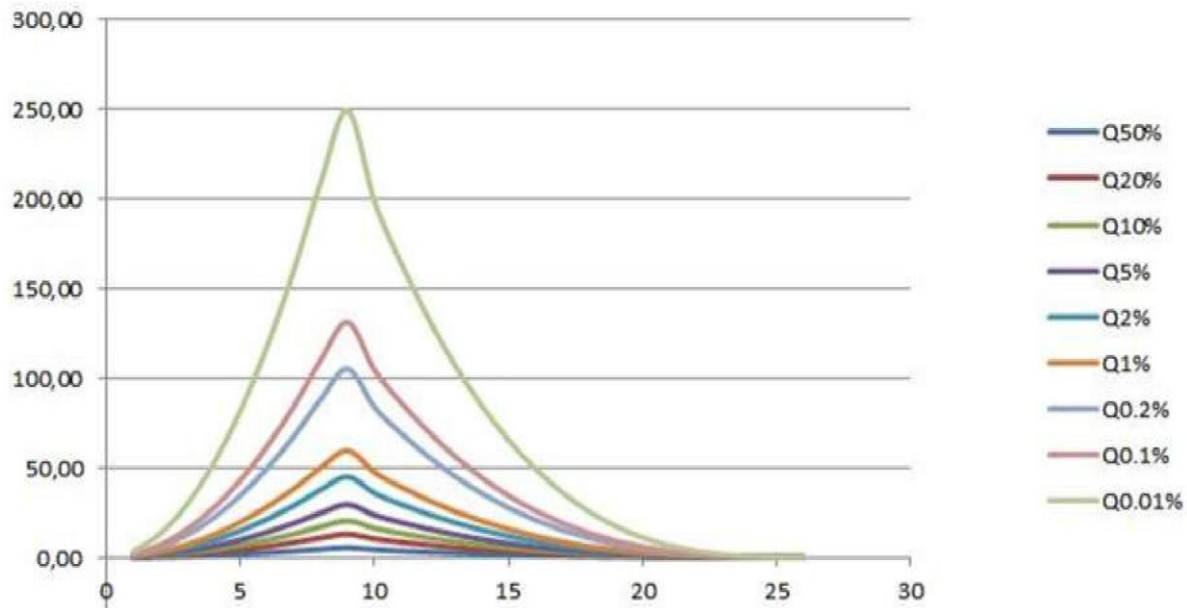


Figure II.21 : L'Hydrogrammes des crues probables en fonction de temps (SOKOLOVSKY)

II.5.3 Estimation de la crue de projet

Le choix de la crue de projet dépend du degré de risque admis en cas de dépassement de celle-ci. Il intervient à la fois sur la sécurité du barrage , sur le dimensionnement des ouvrages d'évacuations et de la réserve supplémentaire nécessaire au laminage de la crue de projet.

46

Dans beaucoup de cas, les conséquences de la rupture du barrage seraient si sévères qu'une probabilité significative de rupture ne peut être tolérée.

Parmi les facteurs qui entrent en compétition dans ce choix, la fiabilité des données constitue donc un des premiers éléments à prendre en considération. Les autres facteurs intervenant sont liés à la structure de l'aménagement (type du barrage, type d'évacuateur, importance de la revanche, effet de laminage dans la retenue) ou à l'environnement (existence éventuelle des réservoirs artificiels à l'amont, ou de centre urbains à l'aval).

En se basant sur les recommandations du comité national australien des grands barrages. Le calcul de la crue de projet se repose sur une classification des dommages supplémentaires résultants des crues comme le montre les tableaux dans l'annexe II.

Commentaire :

On peut considérer que les difficultés géologiques et géotechniques sont faibles. Les connaissances hydrologiques paraissent moyennes, mais vue la présence d'une population à l'aval du barrage comme le montre la figure ci-dessous, on opte pour une crue de période de retour de 10000ans pour des raisons de sécurité.



Figure II.22 : emplacement de la zone urbaine

La figure suivante représente l'hydrogramme de la crue de projet pour une période de retour de 10000ans

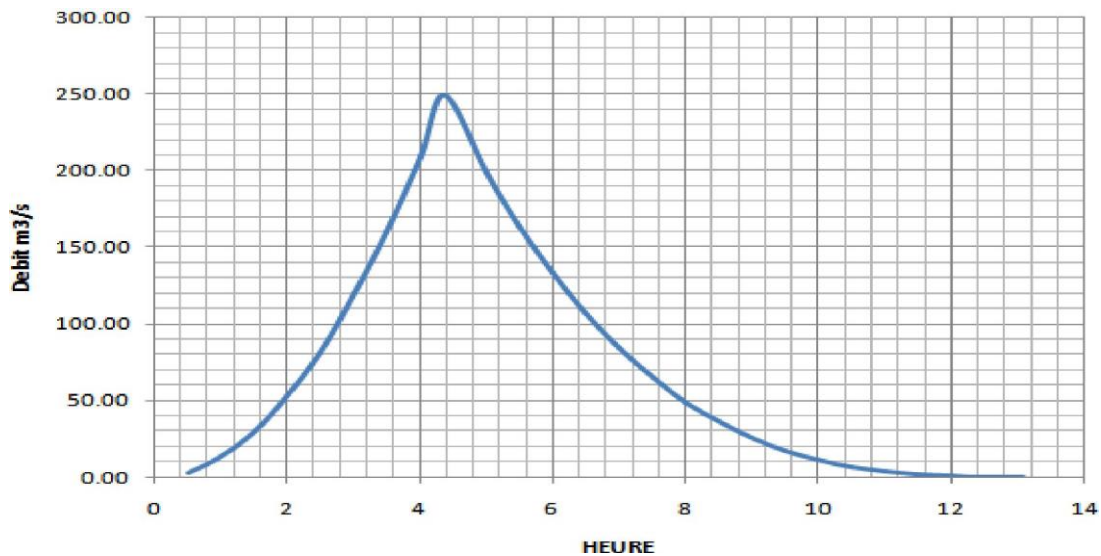


Figure II.23 : L'Hydrogramme de la crue du projet pour une période de retour **10000 ans**.

II.6. Régularisation :

Pour avoir une capacité idéale de stockage qui satisfera les besoins d'irrigation on fait appel à la régularisation des débits. Il existe deux types de régularisations :

- ✓ La régularisation saisonnière.
- ✓ La régularisation interannuelle.

Et vu que les apports de du barrage sont supérieurs aux besoins on utilise la régularisation saisonnière.

II.6.1. Apport :

Il y a deux apports au réservoir: les apports directs du bassin versant (fleuve Zerouela) et le pompage des eaux épurées de la ville de Baraki .

II.6.1.1. Apport directe :

La répartition mensuelle de l'apport 80% est déjà déterminée le tableau II-

II.6.1.2 Apport indirecte :

Pour ce qui concerne le transfert de la station de Baraki, d'après l'analyse des données reçues par l'Administration, on a fixé un débit continu sur les 24 heures égale à 1.7 m³/s qui correspond à un volume annuel d'environ 54 .00 hm³.

Ce tableau montre la répartition mensuelle du transfert

Tableau II.23 : répartition mensuelle du transfert.

Mois	sept	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avril	mai	Juin	j uil	aout
Debit	4.41	4.55	4.41	4.55	4.55	4.11	4.55	4.41	4.55	4.41	4.55	4.55

Source ANBT

II.6.2. Répartition mensuelle de la demande :

La répartition mensuelle des besoins en eau d'irrigation obtenue auprès de l'ANBT est donnée au tableau.

Tableau II.24 : répartition mensuelle des besoins.

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	année
irrigation	7.29	1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	3.04	5.07	7.61	11.67	12.68	50.73
ecologie	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.95
Total U_{80%} (Mm³)	7.37	1.6	0.08	0.08	0.08	0.07	1.6	3.12	5.15	7.69	11.75	12.76	51.68

II.6.3. Courbes « Hauteur-Capacité-Surface » :

Nous allons tracer la courbe des surfaces submergées $S=f(H)$ et la courbe des volumes d'eau dans la cuvette $V=f(H)$. Les surfaces et les hauteurs sont déterminées à l'aide de la carte topographique qui représente la vue en plan du dite et de la cuvette.

Les volumes sont calculés à partir de la formule suivante :

S_n : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_n (m^2).

S_{n-1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{n-1} (m^2).

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

V_n : Volume d'eau correspondant à la courbe de niveau H_n (m^3).

AV_n : Volume élémentaire compris entre deux courbes de niveaux successives (m^3).

Note : Le tableau des surfaces submergées et les volumes d'eau est dans l'annexe II.

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

Figure II.24 : Courbe Hauteur -Surface.

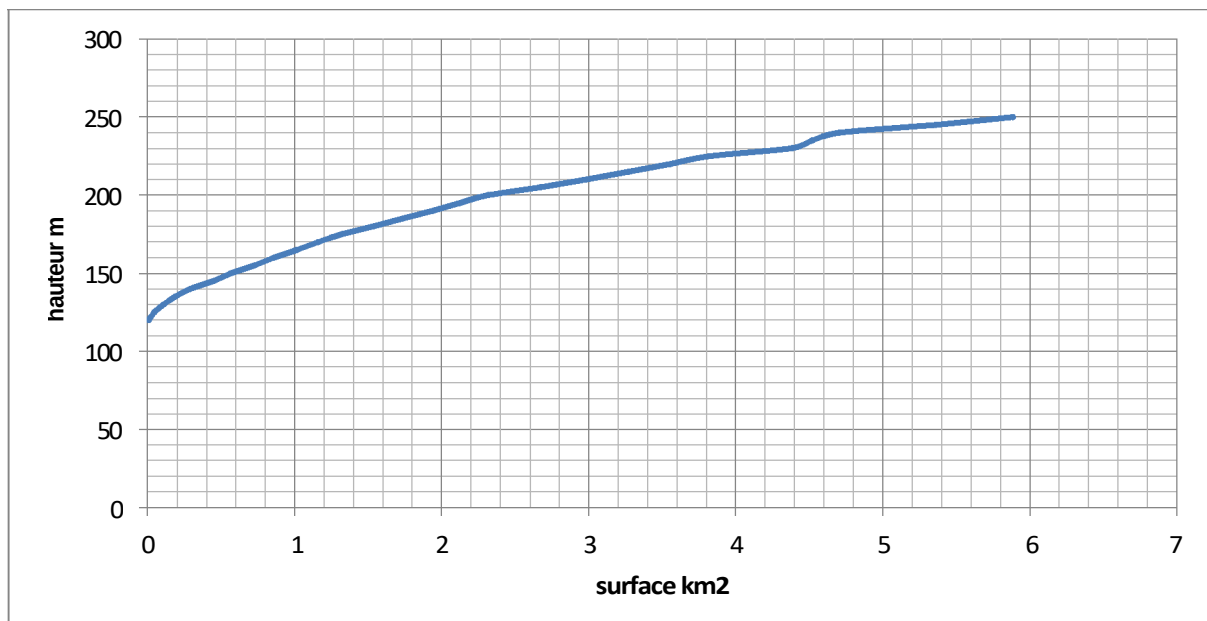
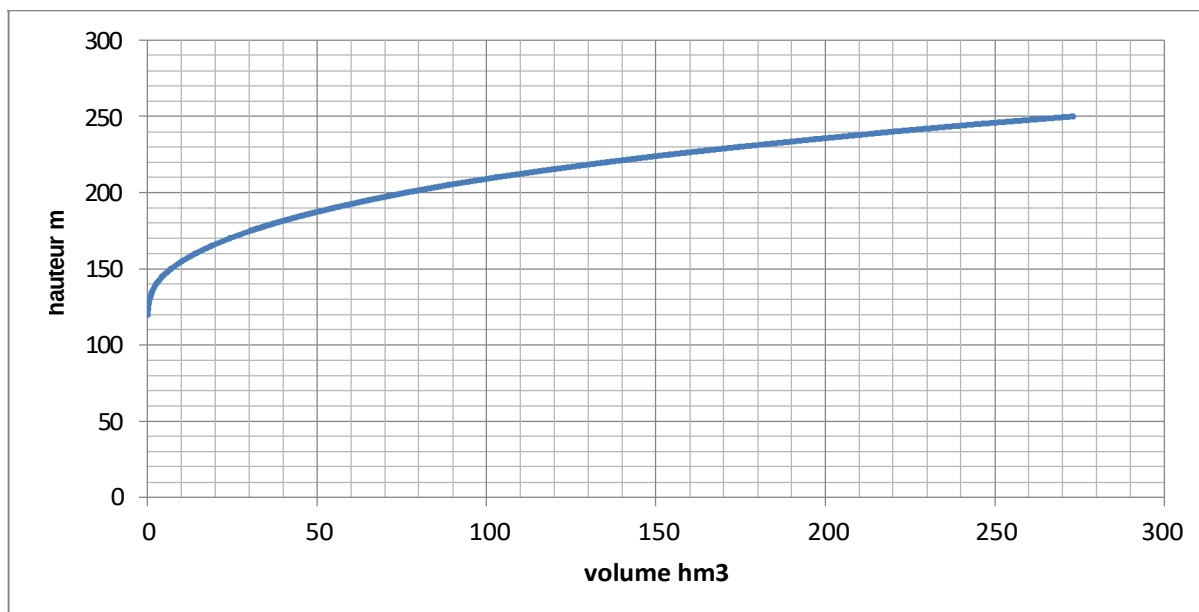


Figure II.25 : Courbe Hauteur-Capacité.



II.6.4. Calcul du volume utile

Pour calculer le volume utile de la retenue on a besoin de :

- ✓ L'apport interannuel A_{80io} .
- ✓ La consommation totale.
- ✓ Le volume mort de la retenue.

Le calcul de la régularisation est effectué en utilisant "la méthode du bilan d'eau".

II.6.4.1 Détermination de la période à bonne hydraulicité :

Pour déterminer la période à bonne hydraulicité on calcule la différence entre les apports mensuels et la consommation mensuelle ; la période à bonne hydraulicité commence à partir du mois où on a la plus grande série des (+), comme le montre le tableau suivant :

Tableau II.25 : détermination de la période à bonne hydraulicité.

MOIS	sep	oct	nov	dec	Jan	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout
W T	4.41	4.66	5.00	6.01	5.96	4.83	5.25	4.91	4.93	4.44	4.55	4.55
U	7.37	1.6	0.08	0.08	0.08	0.07	1.6	3.12	5.15	7.69	11.75	12.76
W*-U*	-2.96	3.06	4.92	5.93	5.88	4.76	3.65	1.79	-0.22	-3.25	-7.20	-8.21

On remarque que la période à bonne hydraulicité est le mois d'octobre.

II.6.4.2 Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes :

Voir dans l'annexe II Tableau: Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes.

on a les résultats suivants :

$V_s V_d$  Fonctionnement à un temps

$$V_s = 30 \text{ Hm}^3 \text{ et } V_d = 21.84 \text{ Hm}^3$$

$$\text{Excédent: } S = W_{80\%} - U_{80\%} = 30 - 21.84 = 8.15 \text{ Hm}^3$$

Alors : $V_u = V_d = 21.84 \text{ Hm}^3$

Le volume normal de la retenue $V_{NNR} = V_u + V_m = 21.84 + 1.56 = 23.4 \text{ Hm}^3$

$$V_{NNR} = 23.43 \text{ Mm}^3 \quad \text{NNR} = 169.81 \text{ m NGA.}$$

II.6.4.3 Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes :

Les pertes dans la retenue sont de deux sortes :

a) Pertes par évaporation :

On a: $V_{ep} = E_s \cdot S_{moy}$ (II.42)

V_{ep} : volume perdu à cause de l'évaporation.

E_s : Evaporation mensuelle (m).

S_{moy} : Surface du plan d'eau correspond au volume moyen (V_{moy}). Elle est déterminée sur la courbe $S=f(V)$.

V_{moy} : volume moyen _____ .

$V_{rf,i}$ et $V_{rf,i+1}$: les volumes de la retenue de deux mois successifs.

b) Pertes par infiltration : Le volume mensuel des pertes

par infiltration est donné par :

$$V_{inf} = (S \cdot V_{moy}) / 100 \text{ (II.43)}$$

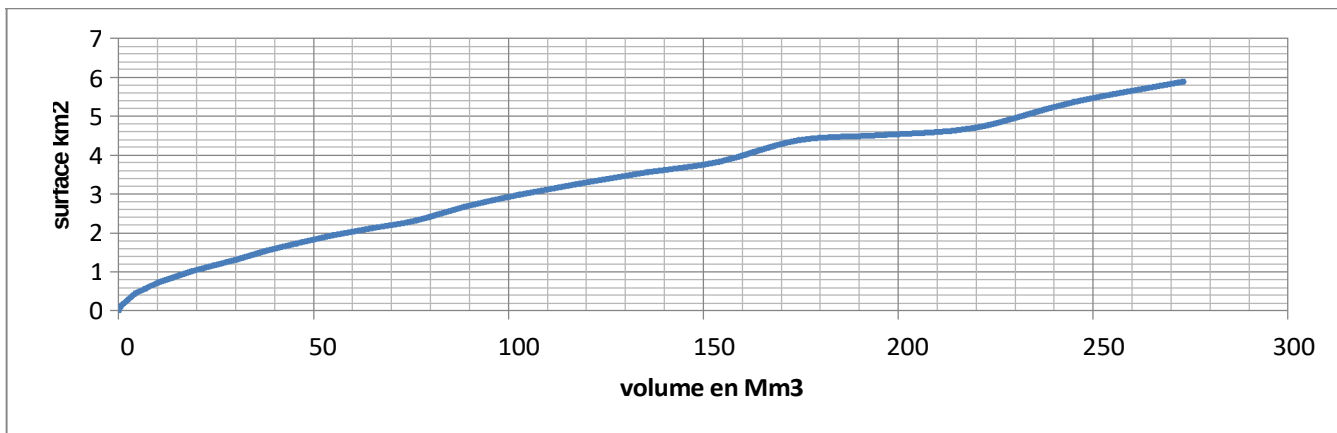
V_{inf} : volume perdu à cause de l'infiltration.

S : Coefficient qui dépendant des conditions hydrogéologiques de la cuvette pour notre cas $= 1.5$ (sol à moyenne perméabilité)

V_{moy} : volume moyen _____

$V_{rf,i}$ et $V_{rf,i+1}$: les volumes de la retenue de deux mois successifs.

Figure II.26 : Courbe surface-capacité



Note : Le calcul des pertes est représenté dans l'annexe II

II.6.4.3.1 première approximation :

Excédent: $S' = W_{80\%} - (U_{80\%} + II) = 28.40 - 23.34 = 5.06 \text{ Hm}^3$ **$S' = 5.06 \text{ Hm}^3$**

$V_s = 28.40 \text{ Hm}^3$ et $V_d = 23.34 \text{ Hm}^3$; $V_s > V_d$ donc la retenue fonctionne à un temps.

Alors : $V'_u = V_d = 23.34 \text{ Hm}^3$ **$V'_u = 23.34 \text{ Hm}^3$**

Le volume normal de la retenue sera :

$$V'_{NNR} = V'_u + V_m = 23.34 + 1.59 = 24.93 \text{ Hm}^3$$

$V'_{NNR} = 24.93 \text{ Mm}^3$ $NNR = 170.57 \text{ m NGA}$

- Estimation de l'erreur :

On a: $\zeta = \frac{V'_u - V_d}{V'_u} = \frac{23.34 - 23.34}{23.34} = 0\%$ (II.44)

$\zeta = 0\% < 5\%$ donc la condition n'est pas vérifiée.

II.6.4.3.2 deuxième approximation :

Excédent: $S'' = W_{80\%} - (U_{80\%} + II) = 28.36 - 23.40 = 4.96 \text{ Hm}^3$ **$S'' = 4.96 \text{ Hm}^3$**

$V_s = 28.36 \text{ Hm}^3$ et $V_d = 23.40 \text{ Hm}^3$; $V_s > V_d$ donc la retenue fonctionne à un temps.

Alors : $V''_u = V_d = 23.40 \text{ Hm}^3$ **$V''_u = 23.40 \text{ Hm}^3$**

Le volume normal de la retenue sera :

$$V''_{NNR} = V''_u + V_m = 23.40 + 1.59 = 24.99 \text{ Hm}^3$$

$V''_{NNR} = 24.99 \text{ Mm}^3$ $NNR = 170.62 \text{ m NGA}$

- Estimation de l'erreur :

AN: $\zeta = 0.24\% < 5\%$ donc la condition est vérifiée.

Note : La représentation des deux consignes d'exploitations est représentée dans l'annexe II.

II.7. Laminage des crues :

On appelle laminage d'une crue la réduction du débit de pointe de son hydrogramme de crue par les moyens artificiels et cela à travers un réservoir. Le laminage a un rôle important dans le fonctionnement adéquat de l'ouvrage, sa sécurité d'une part, d'une autre part d'optimiser le coût de l'ouvrage d'évacuation et de contrer les inondations à l'aval.

II.7.1 Principe du laminage :

Volume entrant == volume emmagasiner + volume sortant

$$Q_e \cdot dt = S \cdot dh + q_e \cdot dt \quad (II.45)$$

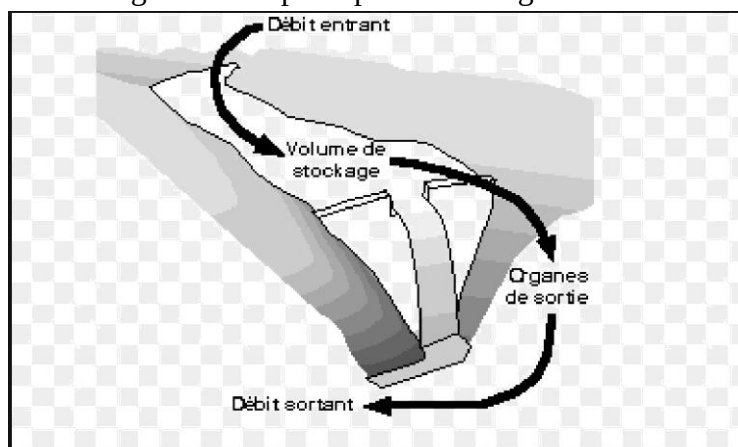
Avec :

Q_e : le débit entrant de la crue.

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

q_e : le débit évacuer.

Figure II.27 : principe du laminage.



II.7.2. Méthode de Kotcherine :

La méthode se base sur les principes suivants:

- 1-l'hydrogramme de crue est considéré comme un triangle ou un trapèze.
- 2-les débits transitants par l'évacuateur de crue se déversent selon une fonction linéaire.
- 3-le laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau NN R;
- 4-les pertes par infiltration et évaporation sont considérées comme nulles au moment de la crue.

II.7.2.1 Calcul du débit déversant pour différents valeurs de h_d et b :

Le procédé de calcul consiste à :

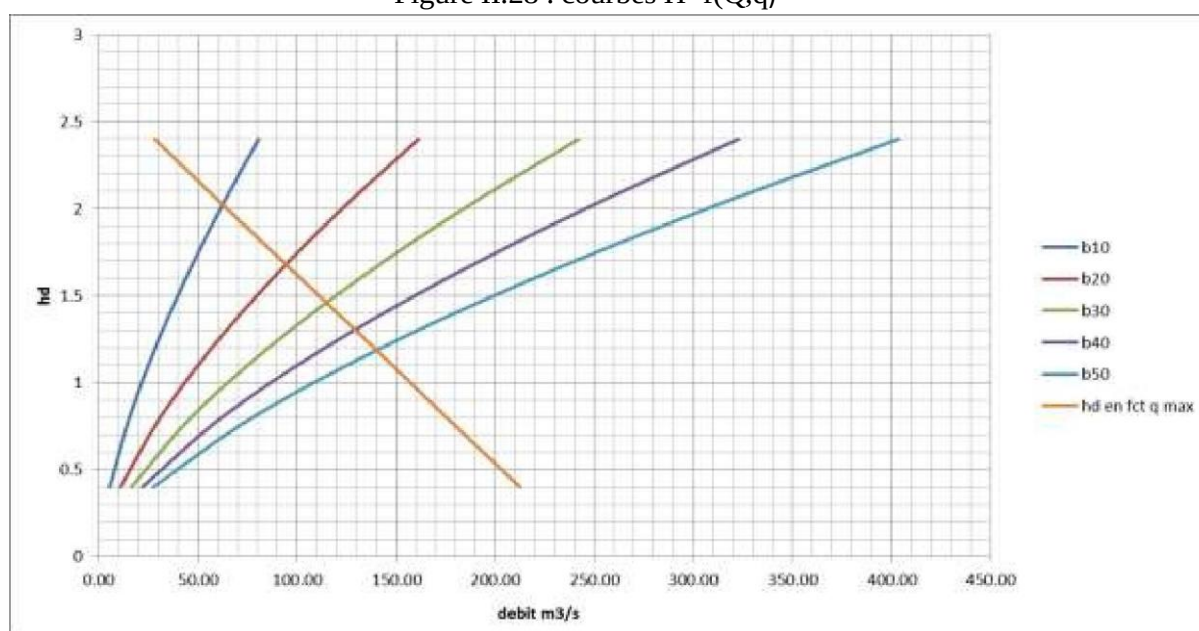
- Donner des différentes valeurs des lames d'eau h_d ,
- Définir la cote PH E pour chaque lame,
- A l'aide de la courbe capacité-hauteur ; on détermine le volume VPHE relatif à chaque PHE.
- Définir le volume en charge pour chaque lame.
- Déterminer le volume de la crue pour l'hydrogramme ayant une forme triangulaire :
 $V_f = 0.5 \times Q_{max} \times T \dots\dots\dots(II.46)$
- A l'aide de la formule $g_{max} = Q_{max} \times (1 - V_f / V_{cr}) \dots\dots\dots(II.47)$

Déterminer le débit de crues à évacuer correspondant à chaque lame h_d . Les calculs sont présentés dans le tableau qui suit.

Tableau II.26 : Déterminer le débit de crues à évacuer correspondant à chaque lame hd

hd(m)	H-E(m)	ME (Mm3)	Vf(Mm3)						
					benm				
					10	20	30	40	50
0,4	171,02	25,48	0,49	212,58	5,49	10,98	16,47	21,97	27,46
0,8	171,42	25,98	0,99	175,41	15,53	31,06	46,60	62,13	77,66
1,2	171,82	26,47	1,48	138,99	28,53	57,07	85,60	114,14	142,67
1,6	172,22	26,97	1,98	101,83	43,93	87,86	131,80	175,73	219,66
2	172,62	27,47	2,48	64,67	61,40	122,79	184,19	245,59	306,98
2,4	173,02	27,96	2,97	28,24	80,71	161,42	242,12	322,83	403,54

Figure II.28 : courbes H=f(Q,q)



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

Tableau II.27 : résultat de calcul par la méthode de Kotcherine.

Largeur(m)	Hauteur(m)	Q Laminé (m3/s)
10	2	60
20	1.7	92
30	1.45	115
40	1.3	130
50	1.2	140

II.8. Etude d'optimisation :

II.8.1 La revanche :

C'est la distance verticale entre la crête de la digue et le plan d'eau de la retenue(NPHE). Elle est en fonction de la hauteur des vagues H, de la vitesse du vent U et de la vitesse de propagation des vagues V dans la retenue.

La revanche minimale est donnée par la relation suivante :

$$\frac{z}{2g} + V \quad (\text{II-48})$$

La hauteur des vagues H est estimée à l'aide des formules suivantes :

Formule de Stevenson
 $H = 0.75 + 0.34 F^{0.5} - 0.26 F^{0.25} \dots\dots\dots (\text{II-49})$

F: le fetch $F = 2.4 \text{ Km} \dots\dots\dots (\text{II-50})$

Formule de Molitor
 $H = 0.75 + 0.032 (U.F)^{0.5} - 0.27 F^{0.25} \dots\dots\dots (\text{II-51})$

U : la vitesse du vent mesurée en Km/h ; $U=3.5 \text{ Km/h}$.

Formule de Mallet-paquant
 $H = 0.5 + 0.33 (F)^{0.5} \dots\dots\dots (\text{II-52})$

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.28 : hauteurs des vagues.

Formule	H (m)
Stevenson	0.95
Molitor	0.5
Mallet-paquant	1.01

On adopte donc la valeur de $H=1.01 \text{ m}$ pour la sécurité.

La vitesse de propagation des vagues est donnée par la relation de Gaillard :

$$V = 1.5 + 2H \dots\dots\dots (\text{II-53})$$

H : hauteur des vagues (en m).

$$V= 3.52 \text{ m/s}$$

Donc la revanche sera $R = 1.64 \text{ m}$ on prend pour la suite $R= 2.1 \text{ m}$

II.8.2 Largeur en crête :

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

- Formule T.KNAPPEN $b=1.65H_b^{0.5}$ (II-54)
- Formule E.F.PREECE $b=1.1 H^{0.5}+1$ (II-55)
- Formule PRATIQUE $b=(5/3).H^{0.5}$ (II-56)
- Formule SIMPLI FIEE $b=3.6.H^{1/3}-3$ (II-57)

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

Tableau II.29 : calcul de la largeur en crête

b(m)	h(m)	q m3/s	Hb	b (knappen)	b (Preece)	b (simplifiée)	b (moy)	adapté
10	2	60	54.72	12.21	9.14	10.67	10.67	11 m
20	1.7	92	54.42	12.17	9.11	10.64	10.64	
30	1.45	115	54.17	12.14	9.10	10.62	10.62	
40	1.3	130	54.02	12.13	9.08	10.61	10.61	
50	1.2	140	53.92	12.12	9.08	10.60	10.60	

II.8.3 Calcul des coûts :

II.8.3.1 Calcul de la digue :

En premier lieu, on calcule le volume de la digue pour les différentes lames déversantes afin de déterminer son coût.

- ✓ tracer le profil longitudinal du barrage et on va choisir des sections à travers le barrage.
- ✓ On détermine la hauteur de la digue connaissant la cote de crête et celle au pied du barrage.
- ✓ Calcul de la largeur au pied du barrage au droit de la section

$$B_{pi} = b + (m_1 + m_2) * H_{bi} \text{(II-58)}$$

b : largeur en crête

B_{pi} : largeur du pied du barrage au droit de la section i

Et m₁ et m₂ sont les fruit du talus amont et aval.

- ✓ Calcul de la section $S = ((b + B_{pi})/2) * H_{bi}$.

Calcul du volume total du barrage $V_b = \sum V_i$ avec $V_i = ((S_i + S_{i+1})/2) * d$

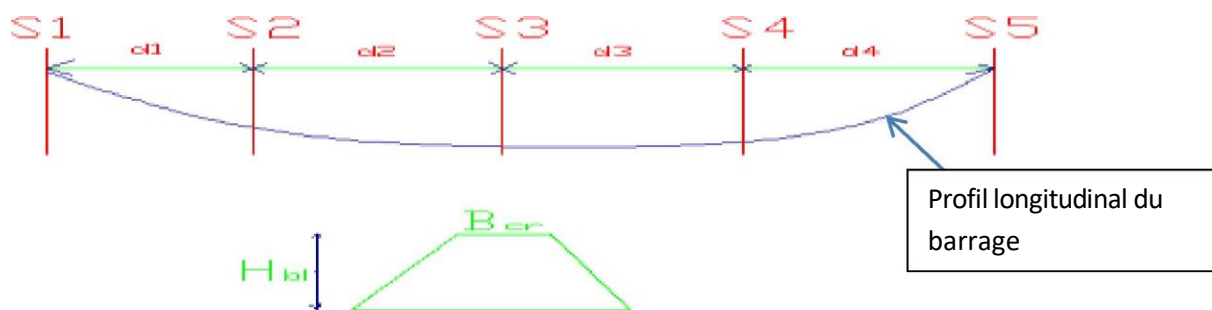


Figure II.29 : principe de calcul du volume d'un barrage

On a aussi : $H_b = NN R - C_f + h_{dév} + R + t \dots\dots\dots (II-59)$

Tableau II.30 : coût et volume de la digue

b (m)	10	20	30	40	50
q max (m ³ /s)	60	92	115	130	140
h (m)	2	1.7	1.45	1.3	1.2
H barrage (m)	54.72	54.42	54.17	54.02	53.92
cote de crête (m)	174.72	174.42	174.17	174.02	173.92
surface N°1	0	0	0	0	0
surface N°2	5301.43948	5130.6684	5071.385275	5033.624475	4986.621475
surface N°3	8999.1856	8742.8451	8665.439475	8619.1611	8588.3776
surface N°4	3890.00248	3759.85748	3715.184275	3676.8171	2168.31135
surface N°5	0	0	0	0	0
distance N°1	108.52	108.52	108.52	108.52	108.52
distance N°2	108.46	108.46	108.46	108.46	108.46
distance N°3	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6
distance N°4	104.53	104.53	104.53	104.53	104.53
volume (m ³)	1940594.52	1881151	1861802.099	1848763.531	1682647.906
coût (DA)	786237808	762460400	734720839.8	720005412.5	673059162.3

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].

II.8.3.2 Calcul du coût de l'évacuateur de crues :

a) Cout du déversoir :

On opte pour 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 donnée par:

$$\dots\dots\dots (II.60).$$

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

Y : Ordonnée du profil (m).

X : Abscisse du profil (m).

Le volume du déversoir sera donc :

$$V_{dév} = S * b \dots\dots\dots (II.61).$$

S : Section transversale (m).

b : Largeur déversant (m).

Le prix du mètre cube du béton armé est estimé à 25000DA.

Tableau II.31 : Résultats de calculs du coût du déversoir pour les différentes largeurs

Profile N°	b(m)	Hdever(m)	S (m2)	V (m3)	Coûts(DA)
1	10	2	1.95	19.5	487500
2	20	1.7	2.22	44.4	1110000
3	30	1.45	2.52	75.6	1890000
4	40	1.3	2.75	110	2750000
S5	50	1.2	2.93	146.5	3662500

b) & ICNNDUMUMI 'MSSUI e:

Tableau II.32 : Résultats de calculs du coût du canal d'approche pour les différentes largeurs

N°	b (m)	h (m)	H _{ca} (m)	V exc (m ²)	V béton (m ²)	Coûts ex(DA)	Coûts bet(DA)	total(DA)
1	10	2	5	34507.14	700	34507142.86	17500000	52007142.9
2	20	1.7	4.7	52157.14	658	52157142.86	16450000	68607142.9
3	30	1.45	4.45	77164.29	623	77164285.71	15575000	92739285.7
4	40	1.3	4.3	102028.57	602	102028571.4	15050000	117078571
5	50	1.2	4.2	139535.71	588	139535714.3	14700000	154235714

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 avec 1 m comme hauteur de pelle.

D'où la hauteur totale du mur : $H_{ca} = H + R + P$

(II.62).

« L » est déterminée d'après la topographie est égale à 150 m et « e » est prise égale à 0,5m.

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

$$V = S \cdot e = L \cdot H_{ca} \cdot e \quad \text{..... (II.63).}$$

c) Coût du coursier:

On opte pour un coursier de section rectangulaire avec une longueur approximative qui est 340 m .

Le volume du béton de coursier est donné par

$$V_{\text{béton}} = S_{\text{béton}} \times \text{..... (II.64).}$$

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

Largeur du coursier est donnée par :

$$\text{.....(II.65).}$$

Tableau II.33 : Récapitulatif des coûts du coursier pour différentes largeurs déversantes

B (m)	q (m ³ /s)	b _c (m)	volume du béton (m ³)	Cout DA
10	60	5.14	1367.00	34175036.87
20	92	6.10	1458.16	36454062.03
30	115	6.67	1551.27	38781773.5
40	130	7.01	1605.56	40138969.93
50	140	7.22	1639.27	40981784.59

Tableau II.34 : Récapitulatif des prix totaux pour les différentes largeurs déversantes.

Barrage	b (m)	h	H _b (m)	Digue	Déversoir	Canal d'approche	Coursier	Evacuateur	Global
1	10	2	54.72	786237807.76	487500.00	52007142.86	34175036.87	86669679.72	872907487.5
2	20	1.7	54.42	762460400.04	1110000.00	68607142.86	36454062.03	106171204.88	868631604.9
3	30	1.45	54.17	734720839.79	1890000.00	92739285.71	38781773.50	133411059.21	868131899
4	40	1.3	54.02	720005412.53	2750000.00	117078571.4	40138969.93	159967541.35	879972953.9
5	50	1.2	53.92	673059162.35	3662500.00	154235714.3	40981784.59	198879998.88	871939161.2

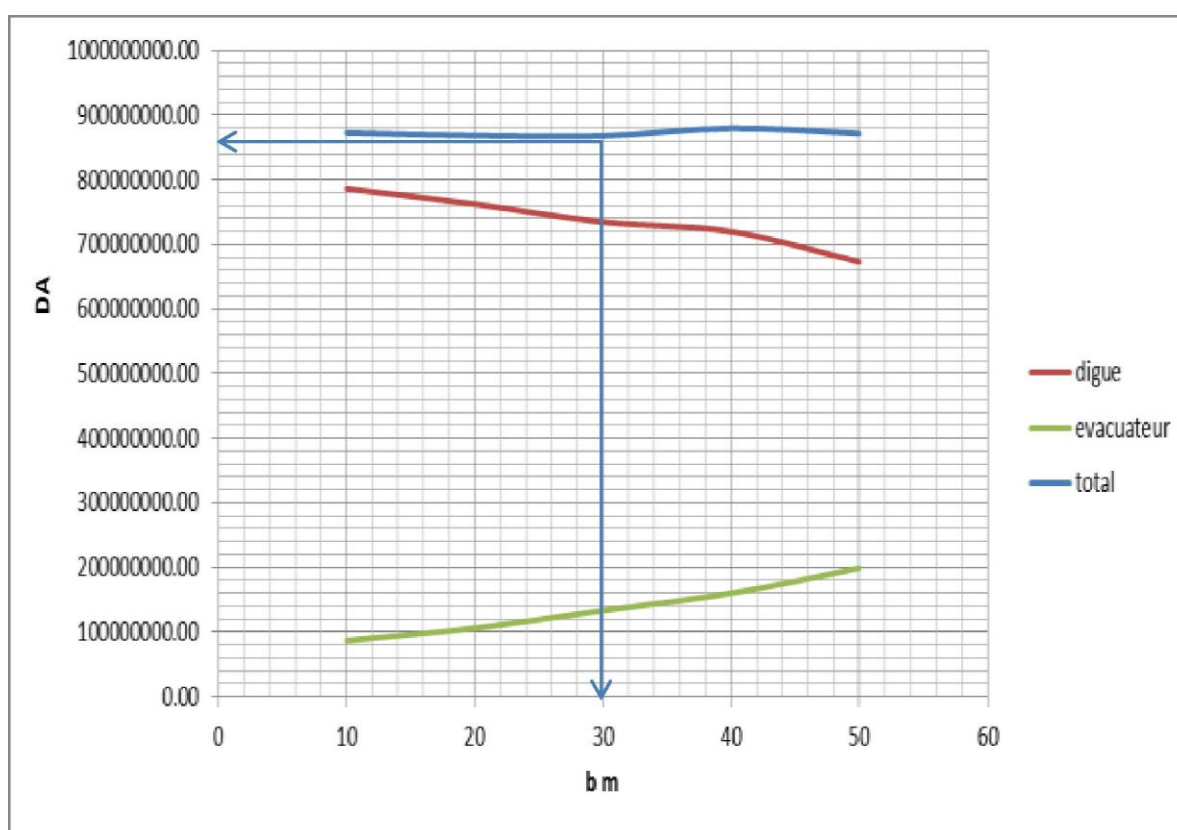


Figure II.30 : courbe d'optimisation

D'après la courbe d'optimisation on trouve les paramètres suivants :

- $b=30\text{m}$.
- $H=1.45\text{m}$
- $q=115\text{ m}^3/\text{s}$. • $H_b=54.17$
- m • Cote en crête $=174.17$
- m

Tableau II .35 : Caractéristiques du barrage.

Dénomination	Unités	Valeurs
Volume mort	Mm^3	1.59
Volume utile	Mm^3	23.40
Volume au NNR	Mm^3	24.99
Cote du fond	m NGA	120
Cote NN R	m NGA	170.62
Cote N PHE	m NGA	172.07
Cote en crête	m NGA	174.17
Largeur en crête	M	11
Largeur du déversoir	M	30
Charge déversée	M	1.45

II.8.4 Laminage pour un déversoir de largeur $b=30\text{mètres}$:

Courbe des débits déversants en fonction du volume d'eau au-dessus du déversoir.

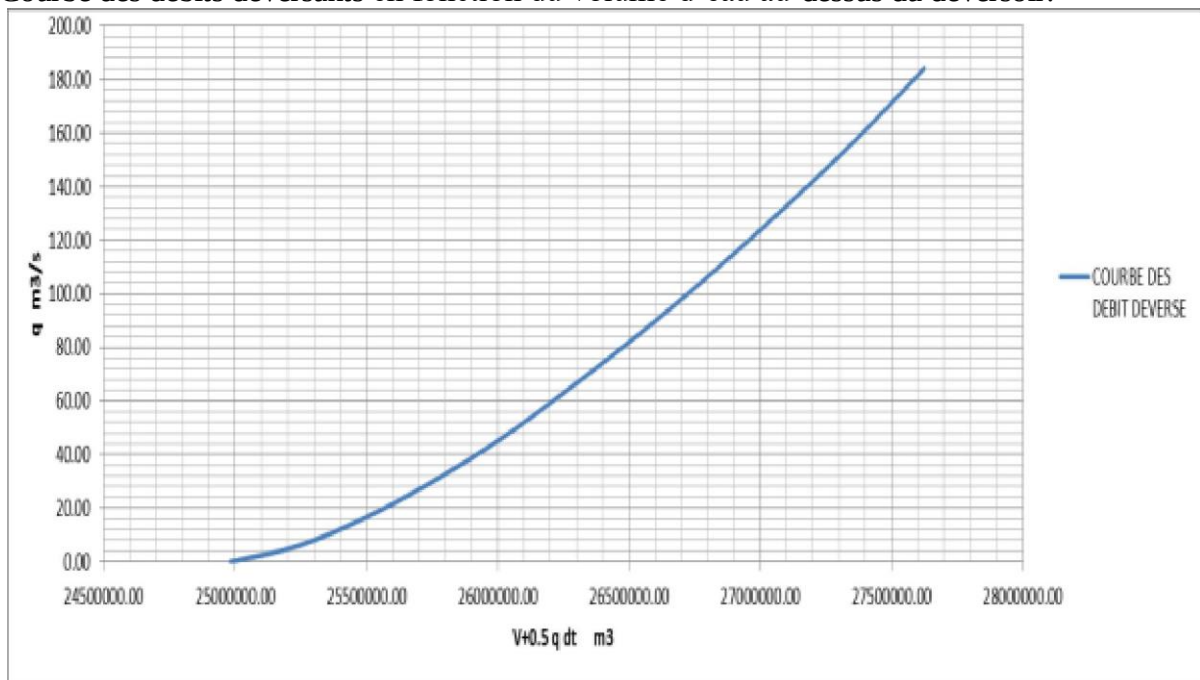


Figure II.31 : courbe des débits déversants

Pour simplifier les calculs on a fait élaborer un algorithme avec le logiciel MATLAB pour le calcul du laminage dont les résultats sont dans l'annexe II.

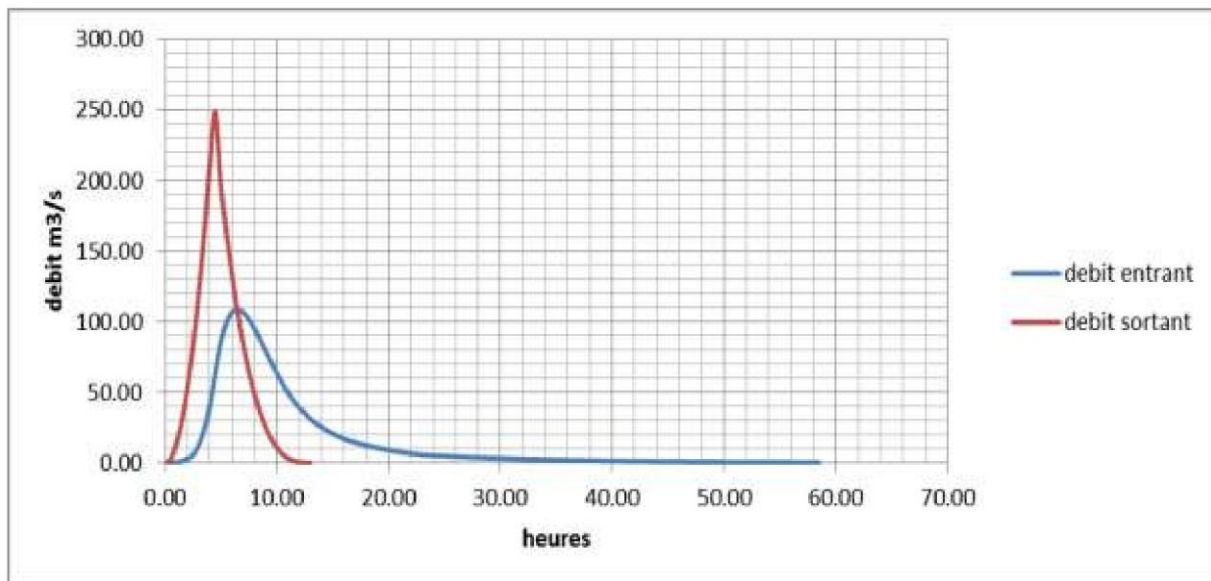


Figure II.32 : Hydrogramme des débits entrants et sortants

Conclusion :

L'étude hydrologique effectuée nous a permis d'avoir tous les caractéristiques et paramètres essentiels (crue, précipitation, bassin versant), qui seront des éléments fondamentaux dans le dimensionnement du barrage.

Et comme on dit toujours, le dimensionnement des ouvrages hydrauliques est lié à une bonne estimation des volumes d'eaux et des débits disponibles et extrêmes.

Chapitre III : Etude des variantes

Introduction

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau, destiné à réguler le débit du cours d'eau, ou à en stocker l'eau pour différents usages tels que : contrôle des crues, irrigation, industrie, hydroélectricité, pisciculture, réserve d'eau potable, etc. Et créant ainsi une cuvette artificielle géologiquement étanche. Les barrages ce sont des structures complexes qu'il faut traiter comme des systèmes. Leurs étude et réalisation prennent en compte un grand nombre de paramètres et de données ce qui les rend des ouvrages d'art d'une conception unique.

Selon la nature du matériau de construction utilisé, on classe les barrages selon deux grandes catégories :

- Les barrages en béton
- Les barrages en remblai (digue)

Les trois types du barrage en béton se distinguent par leurs formes, la nature de leurs système statique et leurs manières de s'opposer à la poussée de l'eau, les types sont comme suite :

- ✓ Le barrage-poids
- ✓ Le barrage à contrefort
- ✓ Le barrage voute

III.1 Critère à prendre pour l'emplacement de l'axe du barrage :

L'emplacement recherché correspond alors à un site étroit précédé à l'amont par un élargissement de la vallée à condition que les appuis du barrage soient sains (resserrement indépendant d'une zone d'éboulement ou d'un glissement). Cet emplacement idéal est bien plus économique mais il est malheureusement très peu fréquent. En effet, il n'existe pas toujours de resserrement de vallée dans la nature. Chaque type de barrage est donc conçu en fonction de la morphologie de la vallée. Une vallée large convient mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai. Un site étroit convient à un barrage poids et un barrage voûte. Tout cela bien sûr si les fondations le permettent.

III.2) Quel barrage choisir :

Un choix difficile entre les différents types de barrages s'impose donc dans de nombreuses situations. Dans certaines régions, le contexte géologique est tel que le type de barrage est presque toujours le même. Dans d'autres cas, ce choix est un compromis entre de nombreux aspects comme la nature de la fondation et le régime des crues. L'objectif étant de trouver le barrage le plus adapté à son environnement tout en restant économique.

Il existe plusieurs critères généraux à prendre en compte dans le choix du type de barrage:

- topographie: étude qui influe sur le choix du type de barrages en fonction du lieu (si on construit un barrage de haute chute ou de rivière, le dénivelé...)

-hydrologie: étude générale de l'eau.

-La géologie: informations concernant la nature des matériaux qui constituent la fondation du barrage ou les berges de la retenues (leur caractéristiques mécaniques et leur étanchéité aussi bien en surface quand profondeur)

- La sismicité

-La disponibilité des matériaux de construction

Cependant, il arrive qu'après considérations de ces critères plusieurs types de barrages restent à disposition, l'aspect économique permet alors de départager les solutions.

III.3. les variantes à choisir :

Sur la base des résultats de l'étude hydrologique et des reconnaissances géologiques,

L'adoption d'un barrage en terre est justifiée par les considérations géologiques

- ☐ suivantes: Différentes structures géologiques des rives.
- ☐ risque sismique sensible.
- ☐ couche d'altération très épaisse sur le fond vallée et sur la rive droite.

Ces dernières nous amènent à exclure le projet d'un barrage en béton. Ce qui permet d'envisager un barrage en matériaux locaux (disponibilité des matériaux sur le site). Les différents types sont montrés dans la figure suivante :

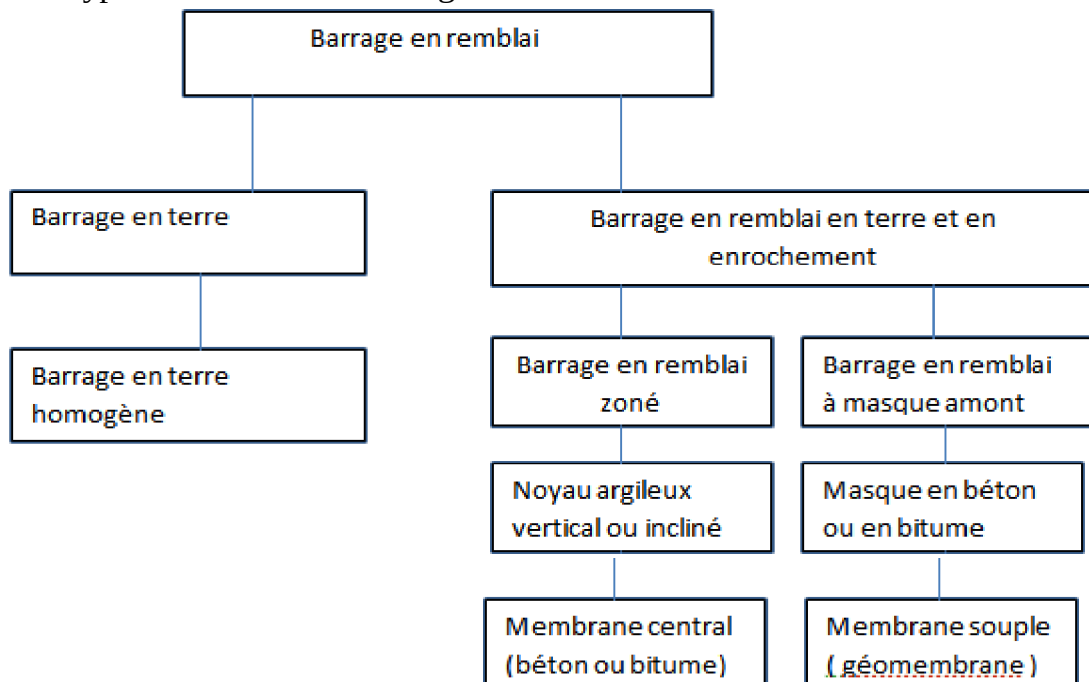


Figure III.01 : principaux types des barrages en remblai (Volume 17 Les barrages du projet à la mise en service)

A) Barrage homogène :

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Selon les ouvrages, la pente des talus sera plus ou moins forte, en fonction notamment des caractéristiques du matériau employé.

Barrage en terre compactée, homogène

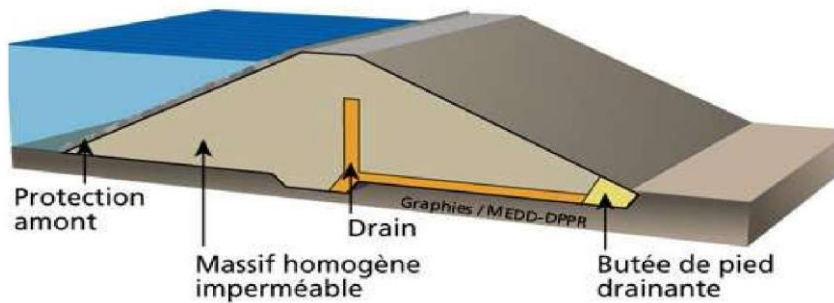


Figure III.02 : barrage homogène (<http://www.gramme.be>)

B) Barrage à noyau :

Le barrage à noyau est composé d'un noyau central, constitué d'un matériau imperméable, et de recharges, c'est-à-dire une couche supérieure qui recouvre les flancs du noyau. Les recharges peuvent être constituées d'enrochements ou d'alluvions. Elles permettent d'assurer la stabilité du barrage, alors que le noyau central assure son étanchéité.

Plus stable qu'un barrage homogène, grâce aux recharges, les barrages à noyaux permettent de construire des talus plus raides. De plus le risque d'écoulement dans le corps du barrage est plus limité grâce à ces enrochements.

BARRAGE A NOYAU

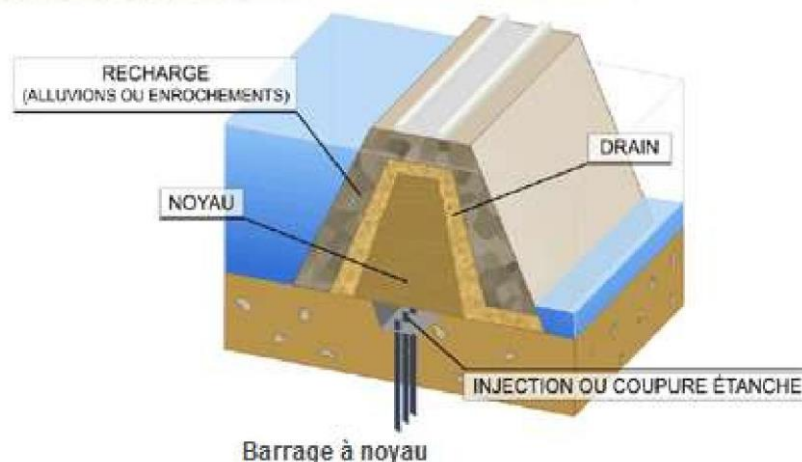


Figure III.03 : barrage à noyau (<http://www.planete-tp.com>)

C) Barrage en enrochement avec masque :

Les barrages à masque sont la catégorie la plus récente de barrage en remblais. Cette technique permet de construire un barrage en remblais sans terre imperméable. Le corps du barrage est constitué d'enrochement. En amont, l'étanchéité de l'ouvrage est assurée par un masque posé sur le corps du barrage. Le masque peut être en béton (armé ou bitumineux) ou simplement constitué d'une membrane mince (en PVC ou bitumineuse).

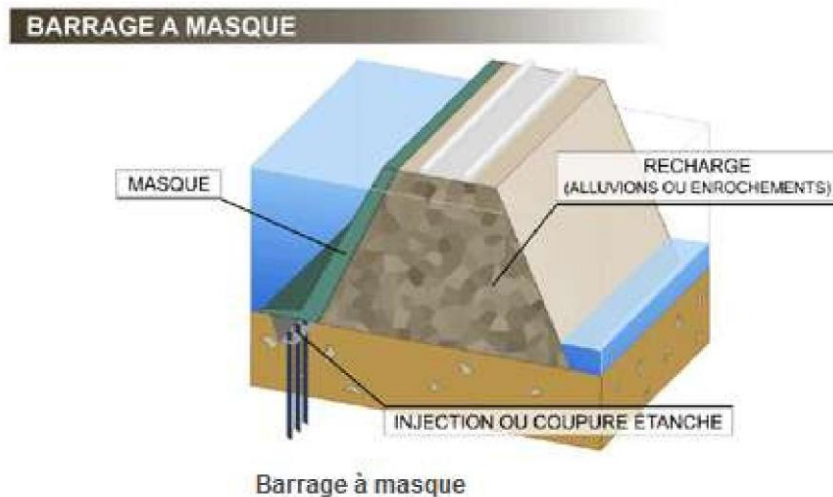


Figure II I.04 : barrage à masque (<http://www.planete-tp.com>)

III.4.Objet de l'étude de variantes :

Pour dégager la variante la plus appropriée, on se base sur la comparaison économique des variantes proposées susceptibles d'être projetées sur le site. Les digues proposées sont dimensionnées approximativement.

III.5.Définition du profil général du barrage :

III.5.1.Hauteur de barrage :

III.5.1.1.Calcul de la revanche :

A été déjà défini dans l'étude d'optimisation dans le chapitre de l'hydrologie

$$R = 1.6\text{m}$$

III.5.2.Calcul de la largeur en crête :

A été déjà défini dans l'étude d'optimisation dans le chapitre de l'hydrologie.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

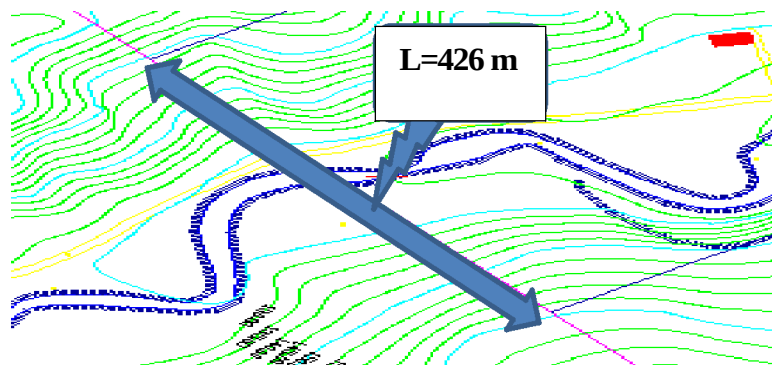
Tableau III.01 : différentes valeurs de la largeur en crête

Formule	b_{cr} (m)
KNA PPEN	12.14
PREECE	9.10
SIMPLIFIEE	10.62
Moyenne	10.62

On opte pour une largeur de 11 m

III.5.3. La longueur en crête :

Figure III.05 : longueur en crête



III.5.4. Pentés des talus :

Pour assurer la stabilité du barrage, les pentes des talus doivent être fixées selon la nature des matériaux qui constituent le barrage, qui par la suite seront vérifiées 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
$H > 20$	- 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 opte pour :

- 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 :

elles permettent la réalisation et la réparation des revêtements des talus ainsi
augmenter la stabilité du barrage
si $H > 15$ m on met des bermes

La figure suivante montre la schématisation des bermes prévues pour le barrage

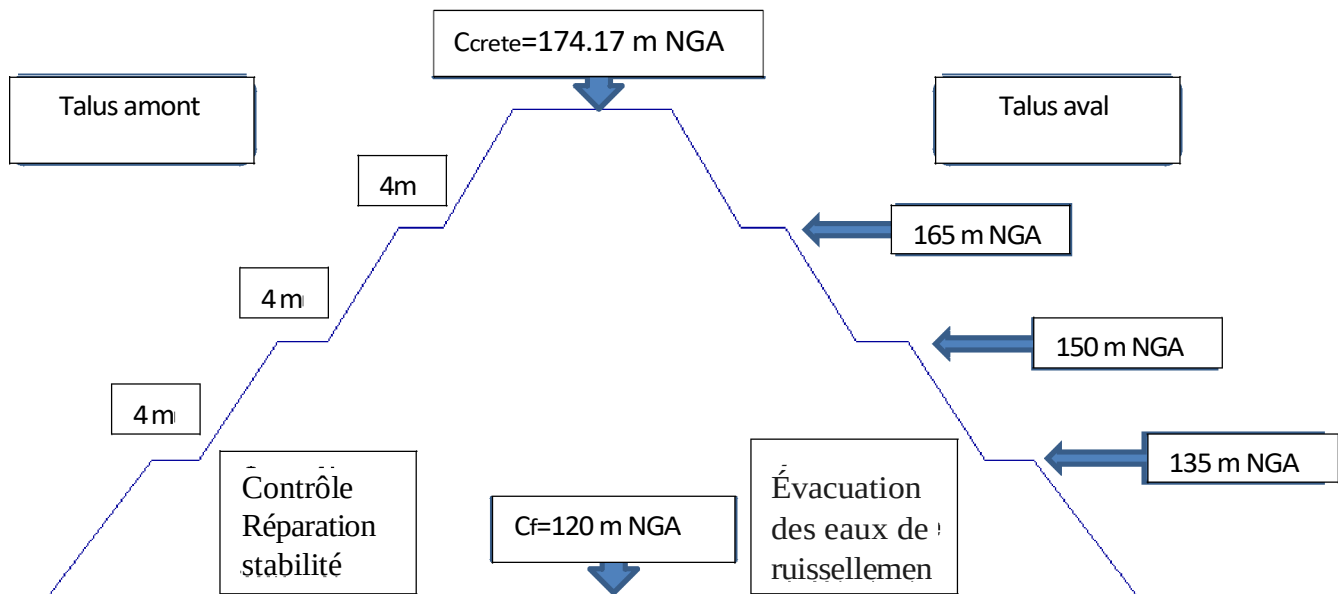


Figure I II.06 : répartition des bermes

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

Le talus aval est généralement recouvert de terre végétale et engazonné, ce qui lui permet de mieux résister à l'érosion due à la pluie. Le talus amont est souvent protégé de l'effet d'érosion des vagues. Cette protection prend la forme d'enrochement, d'un perré maçonné, de dalles en béton. Il ne s'agit en aucune façon d'un masque étanche similaire à celui des barrages en enrochements.

La protection amont est percée de drains permettant l'eau imprégnant le remblai de ne pas être piégée derrière le revêtement pendant les phases de vidange de la retenue.

Lorsque le talus amont est protégé par une couche d'enrochement appelé rip-rap, le projet doit notamment préciser la dimension des enrochements. La littérature propose de nombreuses formules.

Le tableau ci-après indique, en fonction de la hauteur h des vagues, l'épaisseur e d'enrochements (mesurée perpendiculairement au parement) le diamètre d_{50} tel que 50 % en poids des blocs aient un diamètre supérieur ou égal à d_{50} .

Tableau III.03: Epaisseur de l'enrochement et D₅₀ minimal des pierres en fonction de la hauteur de la vague.

Hauteur des vagues h (m)	Epaisseur e (m)	d ₅₀ des blocs (m)
0.30	0.30	0.20
0.55	0.40	0.25
0.80	0.50	0.30
1.05	0.60	0.40
1.30	0.70	0.45
1.55	0.80	0.50

On a trouvé une hauteur de vague qui est de $H = 1.01$ m.

Donc d'après le tableau on a $e = 0.60$ m et $d_{50} = 0.40$ m

Note : Afin d'être conforme au critère de filtre, une couche de transition épaisse de 400 mm composée de 200 mm de gravier et 200 mm de sable respectivement doit être placée entre le rip-rap et le remblai tout-venant sous-jacent.

En ce qui concerne le talus aval , on utilise l'enrochement de pierre reposant sur un filtre (lit de gravier et sable) d'épaisseur (0,6m).

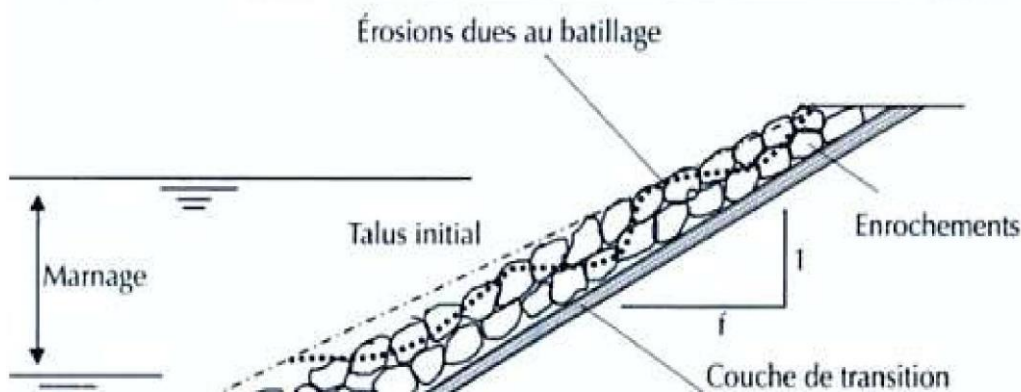


Figure I II.07 : importance du revêtement (Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale)

Tant dit que pour assurer une bonne stabilité de la crête, on doit réaliser un bon revêtement pour permettre la bonne circulation des engins et cela en utilisant une couche de produits asphaltiques épaisse de **1m**.

III.5.7. Etanchéité du barrage:

III.5.7.1. le noyau :

Le noyau en matériaux argileux compacté, disposé verticalement au centre du barrage.

Vers le sommet le noyau doit être monté au-dessus du niveau des plus hautes eaux, compte tenu des remonté capillaires, il est monté de 0.5 m environ.

a) Dimensionnement du noyau :

- **La hauteur :**

La hauteur du noyau est déterminée par la formule suivante :

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

Avec : H_b : hauteur du barrage (m).

H_n : hauteur du noyau (m).

$$H_n = 53.17m$$

- **La largeur en crête du noyau :**

On choisit en général une épaisseur de l'ordre de 1/6 la hauteur de l'ouvrage donc on trouve une largeur en crête du noyau égale à **9 m**.

- **Les fruits des talus du noyau :** Ils doivent être d'une telle sorte à vérifier la condition suivante :

$$\dots\dots\dots (III.18).$$

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

Tableau III.04: classe de l'ouvrage en fonction du type du sol

Type de sol	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1,5	1,5	1,8	1,95
Limon	1,05	1,15	1,25	1,35
Sable moyen	0,7	0,8	0,9	1,00
Limon sableux	0,51	0,65	0,75	0,85
Sable fin	0,45	0,55	0,65	0,75

b_{moy} : largeur moyenne du noyau, donnée par la formule (III.19).

$$b_m = (L_{cn} + L_b) / 2 \dots\dots\dots (III.18) .$$

Avec : L_{cn} : largeur en crête du noyau.

L_b : largeur en base du noyau.

ΔH : la charge d'eau, donnée par la formule (III.20).

$$\dots\dots\dots (III.20).$$

Avec : H_1 : Hauteur d'eau à l'amont correspond au NPHE, ($H_1=52.07$ m)

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

On a un barrage de classe III donc $I_{adm}= 1.8$

A.N : $b_{moy} > (52.07/1.8) == 28.92 \text{ m}$

On aura :

$b_{moy} = 29 \text{ m}$

$$L_b = 2 * b_{moy} - L_{cn} \dots\dots\dots (III.21).$$

AN: $L_b = 49 \text{ m}$

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

$$L_b = 2 * m * H_n + L_{cn} \dots\dots\dots (III.22) .$$

On aura :

$m=0.37$

- **La cote en crête du noyau :**

$$NCN = C_{fond} + H_n = 120 + 53.17 = 173.17 \text{ m NGA}$$

III.5.7.2. Les drains :

Du fait la charge hydraulique à l'amont du barrage, l'eau s'infiltré progressivement dans le massif du barrage, malgré que le choix des matériaux de construction été fait de manière à limiter les infiltrations. Il importe donc d'éviter la nuisance de ces eaux à la stabilité du barrage par création de renard, ou par destructions partielles du pied aval du barrage.

Un drain est un organe destiné à évacuer les eaux provenant d'une filtration à travers un massif ou d'un ressuyage.

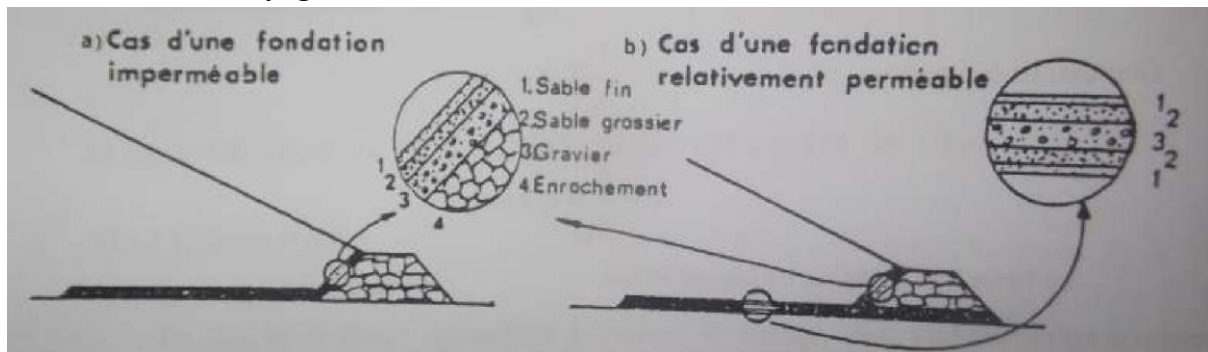


Figure III.08 : disposition des différents drains (technique des barrages en aménagement rural)

a) Dimensionnement du prisme de drainage (drain prisme) :

- **Hauteur :**

$$H_p = (0.15 \div 0.2) H_b \dots\dots\dots (III.2)$$

Avec : H_b : hauteur du barrage (54.17 m).

On prend $H_p = 0.15 H_b$

$H_p = 8.2\text{m}$

- **Largeur en crête :**

$$b_p = \left(1 / 3 \div 1 / 4 \right) H_p \quad (111 . 24) .$$

On trouve environ $b_p=2.8m$

- **fruits de talus**

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

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

Donc on prend : $m_1=1,75$ $m_2=2,5$

b) Dimensionnement du drain tapis :

Pour intercepter les infiltrations dans le massif d'un barrage terre , on dispose habituellement dans la partie aval du massif et au contact de celui -ci avec les fondations, un drain-tapis filtrant destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du massif. Ce drain s'étend sur $1/4$ à $1/3$ de l'emprise du barrage, on trouve environ une valeur de 103 m.

On recommande d'utiliser des épaisseurs minimales de $e = 0.80$ m.

Lorsque la fondation n'est pas complètement perméable, il doit contenir un filtre inverse.

c) Dimensionnement du drain vertical :

Le drain vertical est placé au centre de la digue, d' une largeur minimal de 1 m (on va prendre en compte une largeur de 3m) constitué en matériaux grossier (gravier et sable). Il peut remonter jusqu'à la cote N P H E à raison d'arriver aux points de plus hautes saturations de remblai.

III.5.7.3. Les filtre :

Un filtre est destiné à bloquer la migration des particules fines éventuellement entraînées par la circulation de l'eau dans un massif. Les filtres et drains sont les plus souvent associés, le filtre pouvant jouer lui-même le rôle de drain, surtout dans les petits ouvrages.

Les filtres sont constitués de couches successives de matériaux perméables, de granulométries de plus en plus fines assurant la transition entre le drain et éléments fins des terres drainées. Dans un filtre chaque couche doit jouer le rôle de filtre vis-vis de la précédente dans le sens de l'écoulement de l'eau. Un filtre ne doit ni se dégrader par entraînement de ses éléments, ni se colmater. Il est conseillé pour cela d'utiliser les sables dont le coefficient d'uniformité D_{60}/D_{10} est inférieur à 2.

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 TERZAGHI,

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).

Les matériaux alluviaux (Tout Venant) peuvent être utilisés comme matériau pour le filtre dans les retenues collinaires et petit barrage avec la condition qu'ils remplissent la granulométrie du filtre proposé préalablement vérifié au moyen des calculs correspondants.

Critères de conception :

_____ Condition de l'entraînement de particules fines par le phénomène de renard.

_____ Condition de perméabilité.

_____ Condition de parallélisme des courbes granulométriques.

_____ Condition d'uniformité du filtre.

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

$$K = 0,35 (D_{15})^2 \dots\dots\dots (III.26).$$

Où: D_{15} , en mm

K obtenue en cm/s.

Les épaisseurs minimales recommandées pour les filtres sont:

- › Couches horizontales de sables -----0,15 m
- › Couches horizontales de graviers -----0,30 m
- › Couches verticales ou inclinées ----- 1,00 m

La figure suivante montre la disposition des filtres pour le cas du barrage zoné

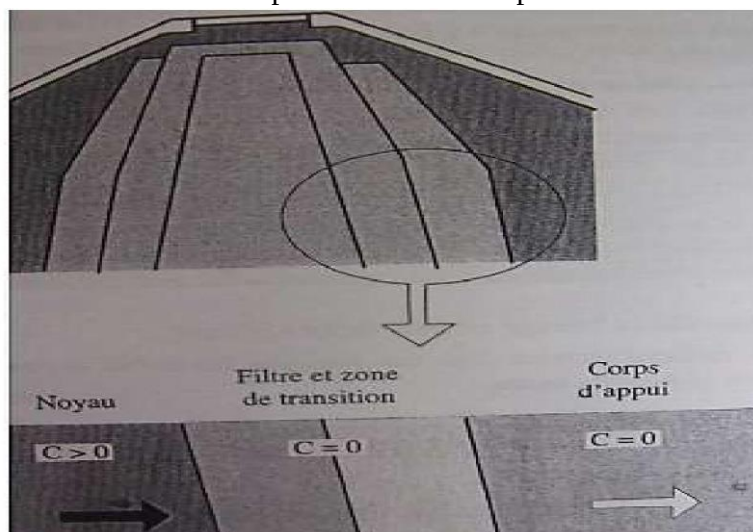


Figure III.09 : disposition du noyau et du filtre (Volume 17 Les barrages du projet à la mise en servie)

III.6. calcul du volume des différents matériaux :

Pour faire le choix décisif de la variante à retenir, on doit procéder aux calculs des volumes des différentes variantes en ayant les prix unitaires des divers éléments.

Note : la méthode de calcul des volumes a déjà été abordée dans le chapitre II (optimisation).

La figure suivante représente la coupe longitudinale du barrage.

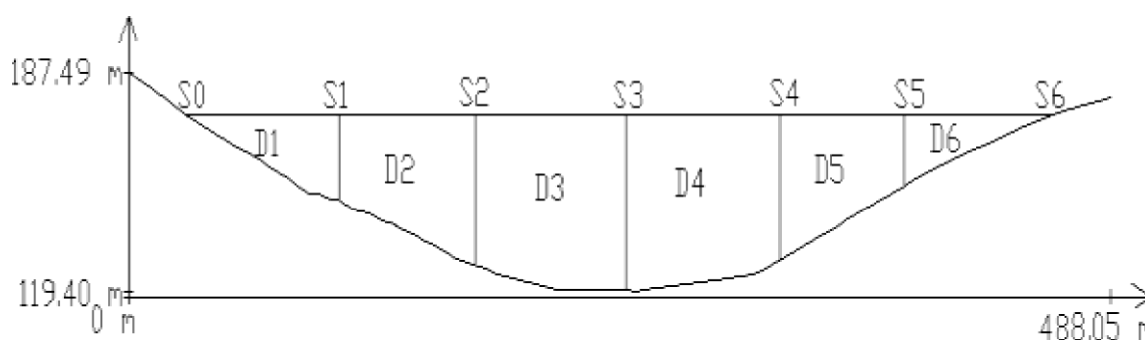


Figure III.10 : coupe longitudinale de l'axe d'un barrage.

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

III.6.1.1. Recharges :

Le tableau ci-après nous donne le volume des recharges nécessaires pour la construction de la digue homogène en argile.

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

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
		1130.21375	75.68	85534.5766
1	2260.4275			
	75.68	4351.8783	67.88	295405.499
221				
	6788	7604.38429	74.87	569340.252
8				
3		7358.26448	76.25	561067.666
38	7487			
4	5951.08948			
	76.25	3808.08969	61.82	235416.104
26				
5				
6	0	832.54495	73.5	61192.0538
volum				
61192.0538				

III.6.1.2. protection rip-rap :

Le tableau III.08 nous résume le volume du rip-rap utilisé pour la protection des talus

Tableau III.06 : calcul des volumes des recharges.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	68.4	34.2	75.68	2588.256
2	121	94.7	67.88	6428.236
3	145	133	74.87	9957.71
4	113.84	129	76.25	9836.25
5	55.20	84.52	61.82	5225.0264
6	0	27.6	73.5	2028.6
volume total				
36064.0784				

III.6.1.3. filtres et drains :

Les tableaux suivants récapitulent les volumes des graviers et des sables utilisés pour les filtres et les drains.

Tableau III.07 : calcul des volumes des graviers.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	95.3	47.65	75.68	3606.152
2	236.75	104.4	67.88	11154.0416
3	285.68	06152	74.87	19583.7459
4	201.29	40416	76.25	18700.3125
5	78.50	37459	61.82	8647.9998
6	5	0312573.5		2884.875
volume total				
64577.1268				

Tableau II I.08 : calcul des volumes des sables.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
		10.34	75.68	782.5312
1	20.684			
		39.54	67.88	2683.9752
2	58.4192			
		65	74.87	4866.55
3	71.0628			
		59.21	76.25	4514.7625
4	47.3612			
		31.93	61.82	1973.9126
5	16.5			
6	0	8.25	73.5	606.375
volume total				
15428.1065				

III.6.2. Barrage zoné à noyau d'argile

III.6.2.1. le Noyau :

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

Tableau III.09 : calcul des volumes du noyau.

N°3	S6	Smoy	di	Volume
0	0			
		4866	75.68	22149.2656
1	585.34			
		Voum	67.88	71889.6716
2	1532.8			
		221492	74.87	132159.775
3	1998.39			
		718896	76.25	129791.988
4	1406.69			
		132159	61.82	57376.9966
5	449.58			
		129791	73.5	16522.065
6	0	224.79		
volume total				
429889.7616				

III.6.2.2. les recharges :

Elles sont constituées des tout-venants, récupérés après les excavations notamment celle de l'évacuateur de crues. Le tableau suivant montre le volume des recharges.

Tableau III.10 : volumes des recharges.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	1375.08	687.54	75.68	52033.0272
2	4810	3092.54	67.88	209921.615
3	6467.04	5638.52	74.87	422155.992
4	4244.39	5355.715	76.25	408373.269
5	917.30	2580.845	61.82	159547.838
6	0	458.65	73.5	33710.775
volume total				
1285742.516				

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.11 : calcul des volumes du revêtement rip-rap

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
0	67	34.2	75.68	2588.256
56	74	V.I	67.88	6428.236
35	76	133	74.87	9957.71
58	61.8	642	76.25	9836.25
545	73.		995761.82	5225.0264
6um	50	983	73.5	2028.6
volume total				
36064.0784				

III.6.2.4. filtres et drains :

Les tableaux ci-après récapitulent les volumes des graviers et des sables utilisés pour les filtres et les drains.

Tableau III.12 : calcul des volumes des graviers.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	96.855	48.42	75.68	3664.4256
2	204.6075	150.72	67.88	10230.8736
3	249.075	226.83	74.87	16982.7621
4	195.75	222.24	76.25	16945.8
5	81.75	138.75	61.82	8577.525
6	0	40.87	73.5	3003.945
volume total				
59405.3313				

Tableau III.13 : calcul des volumes des sables.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	75.6	12.11	75.68	916.4848
2	67.88	37.68	67.88	2557.7184
3	51.151875	67	74.87	4245.129
23	62.26875748	916.	76.25	4238.7375
24	76.2	2557	61.82	2143.9176
15	61.8			
6	7		424573.5	750.435
volume 3003.94				
14852.4223				

III.6.3 Barrage en enrochement avec masque en béton :

Les masques d'étanchéités amont sont généralement posés sur une forme drainante établie sur le parement amont du barrage. L'organe d'étanchéité proprement dit doit être la plus part du temps protégé.

Selon Materon, 2007 la formule pour déterminer l'épaisseur du masque en béton est donnée par :

$$e = 0.3 + 0.002 * H_b \dots\dots\dots (III.31).$$

Avec : H_b : hauteur du barrage

On trouve

$$e = 0.40m$$

III.6.3.1. recharges (enrochements):

Le tableau III.16 donne le volume des enrochements nécessaires à la réalisation de la digue.

Tableau III.14 : calcul des volumes des recharges (enrochements).

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
		1188.23	75.68	89925.2464
1	2376.47025			
		4787.06	67.88	324945.633
2	7197.66201			
		8364.82	74.87	626274.073
3	9531.98342			
		7984.08	76.25	608786.1
4	6436.19842			
			89964	252138.434
5	1721.60			
			323	
6	9	860.80		63268.8
volume total				
1965338.286				

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.15 : calcul des volumes du béton.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	24.45	12.225	75.68	925.188
2	52.35	38.4	67.88	2606.592
3	65.23	58.79	74.87	4401.6073
4	47.5	56.365	76.25	4297.83125
5	19.58	33.54	61.82	2073.4428
6	0	9.79	73.5	719.565
volume total				
15024.22635				

Le tableau ci-après récapitule les volumes des graviers

Tableau III.16 : calcul des volumes des graviers

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0	14.99		
1	29.98		75.68	1134.4432
2	54.26	⁶⁰ 42.12	67.88	2859.1056
3	63	44058.6	74.87	4389.6281
4	51.33	4297	76.25	4358.83125
5	25.59		207361.82	2377.5972
6	0	719	73.5	940.4325
4358831				
237759				

Chapitre III : Etude de variante

Tableau III. 17 : calcul des volumes des sables.

N°	Si	Smoy	di	Volume
0	0			
1	15.64	7.82	75.68	591.8176
2	27	21.32	67.88	1447.2016
3	32	29.5	74.87	2208.665
4	25.11	28.555	76.25	2177.31875
5	13.25	19.18	61.82	1185.7076
6	0	6.625	73.5	486.9375
volume total				
8097.64805				

III.7. Estimation du coût des variantes :

Le tableau suivant donne le coût des différentes variantes étudiées.

Tableau III. 18 : les coûts des différentes variantes étudiées.

Variante	Matériaux	Prix unit (DA)	Quantité (m3)	Coût (DA)	Totale (DA)
Homogene si	Recharge (argile)	400		723182460	848040000.00
	Enrochement (rip-rap)	8 1 7 6	36064.0806	28851264	
	Filtres et drains	1200	80005.23	96006276	
Zoné	Noyau	500	429889.76	214944880	847202448.00
	Recharge (graves)	400		514297004	
	Enrochement (rip-rap)	800	36064.08	28851264	
	volume total Filtres et drain	1200	74257.75	89109300	
masque	Recharge	800	1965338.28	1572270624	1781550612.00
	Masque en béton	12000	15024.23	180290760	
	Filtre et drain	1200	24157.69	28989228	

Conclusion :

On voit bien que les deux premières variantes sont presque identiques du côté cout de construction et beaucoup moins cher que la troisième variante, qui est le barrage en enrochement, donc celui-ci sera exclu d'une part pour son cout élevé et d'autre part la faible disponibilité en matériaux rocheux, car en effet la vallée de l'Oued Zerouala n'offre pas de ressources en alluvions grossiers telle à satisfaire d'une façon adéquates les exigences d'un ouvrage en matériaux meuble.

Le barrage zoné est le plus faisable du côté économique et techniquement. On prévoit de réaliser les recharges en employant du rockfill provenant des carrières environnantes.

Chapitre IV : Conception détaillée de la digue

Introduction :

Une fois la détermination de la variante à retenir, une étude détailler de la digue s'impose et cela pour aborder tous les points essentiels, ainsi confirmer la variante et passer à l'exécution.

IV.1 Récapitulatif :

Les points traités dans le chapitre précédant :

- La revanche
- La hauteur du barrage
- Largeur en crête
- Longueur en crête
- Les bermes
- Classification de l'ouvrage
- Pentes des talus
- Revêtement de la crête et protection des talus de la digue
- Etanchéité du barrage
- Les drains et filtres

IV.2 détail constructif du barrage :

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques de la digue :

Tableau IV.01 : Récapitulatif des résultats de la couche de filtre.

	valeur	
Revanche	1.6 mètres	
Hauteur	54.17 mètres	
Largeur en crête	11 mètres	
Longueur en crête	426 mètres	
Classification de l'ouvrage	III	
Pente des talus	Talus amont	3
	Talus aval	2.5

La figure suivante montre la disposition des bermes

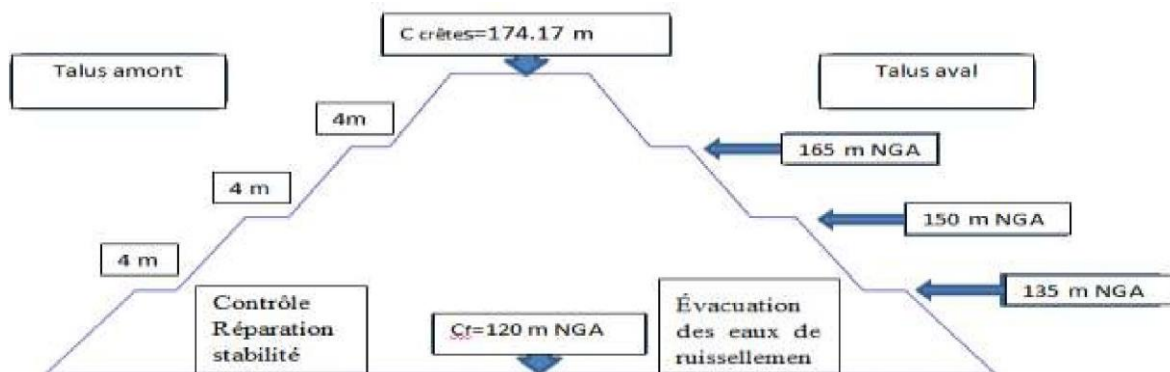


Figure IV.01 : Disposition des bermes ;

IV.2.1.Revêtement de la crête et des talus de la digue :

Le talus aval est généralement recouvert de terre végétale et engazonné, ce qui lui permet de mieux résister à l'érosion due à la pluie. Le talus amont est souvent protégé de l'effet d'érosion des vagues. Cette protection prend la forme d'enrochement. Il ne s'agit en aucune façon d'un masque étanche similaire à celui des barrages en enrochements.

La protection amont est percée de drains permettant l'eau imprégnant le remblai de ne pas être piégée derrière le revêtement pendant les phases de vidange de la retenue

Le rip-rap est souvent préféré en raison de son cout et sa durabilité.

D'après le chapitre précédant on a trouvé $e = 0.60$ m

En ce qui concerne le talus aval on utilise l'enrochement de pierre reposant sur un filtre (lit de gravier et sable) d'épaisseur (0,3 m).

Note : Afin d'être conforme au critère de filtre, une couche de transition épaisse de 400 mm composée de 200 mm de gravier et 200 mm de sable respectivement doit être placée entre le rip-rap et le remblai tout-venant sous-jacent.

Tant dit que pour assurer une bonne stabilité de la crête on doit réaliser un bon revêtement et permettre la bonne circulation des engins et cela en utilisant une couche de produits asphaltiques épaisse de **0.30 m**.

La figure suivante montre les revêtements de talus amont et aval

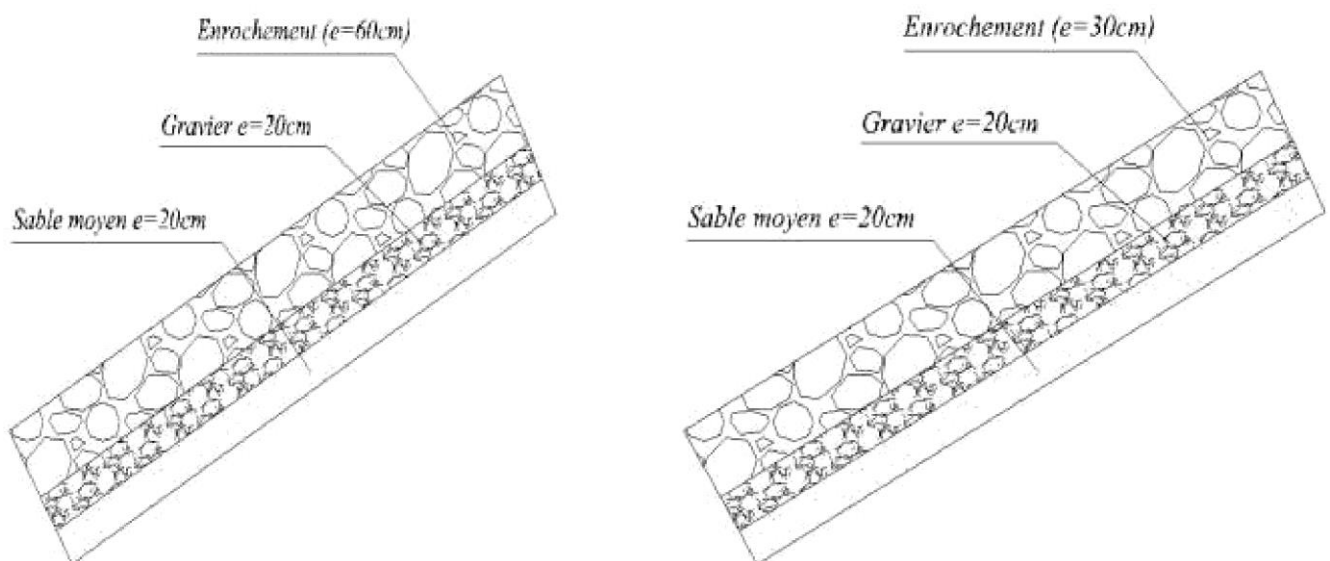


Figure IV .02 : Détails des revêtements de talus (a) talus amont (b) talus aval

IV.2.2 filtres-drains :

Dans un barrage zoné, l'eau s'écoule au travers du noyau vers les recharges. Cet écoulement vers un matériau de granulométrie plus importante peut entraîner des particules fines du noyau. C'est le rôle d'un filtre constitué d'un matériau de granulométrie intermédiaire, d'empêcher cette migration. C'est ce qu'on appelle la fonction de rétention.

A l'amont, on interpose également une couche de matériau de granulométrie intermédiaire de façon à pouvoir colmater les fissures qui pourraient se produire dans le noyau.

Le filtre assure également une fonction de drainage du noyau pour éviter que les eaux d'infiltrations ne transitent dans la recharge. C'est la fonction de drainage

Le noyau consiste en un matériau cohésif et peu perméable, le filtre est non cohésif et relativement perméables.

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 élevée 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.

IV.2.2.1 filtre

a) Vérification du contact noyau recharge :

La prévention de l'utilisation de tel sol comme une couche de transition, peut être effectuée selon les recommandations de TERZAGUI.

..... (IV.01).

D_{15} : Diamètre des particules des recharges.

d_{85} : Diamètre des particules du corps du noyau (argile).

$D_{15} = 0,14 \text{ mm}$ $d_{85} = 0,03 \text{ mm}$

On trouve une valeur de $4.66 > 4$ donc il est nécessaire de prévoir un filtre.

b) Détermination du fuseau granulométrique du filtre :

généralement le choix du filtre doit répondre aux critères de TERZAGHI .

$$\frac{1}{8} \frac{t}{p \cdot t \cdot g} \rightarrow 4 \text{ (IV.02).}$$

Associé à la condition citée en équation ci-dessus, l'US Bureau of réclamation préconise les relations suivantes :

$$\frac{1}{8} \frac{t}{p \cdot t \cdot g} < 5 ; \quad \frac{1}{p \cdot t \cdot g} < 20 ; \quad \frac{1}{p \cdot t \cdot g} < 25 \dots\dots\dots \text{(IV.03).}$$

Cette figure montre la méthode pour tracer le fuseau du filtre

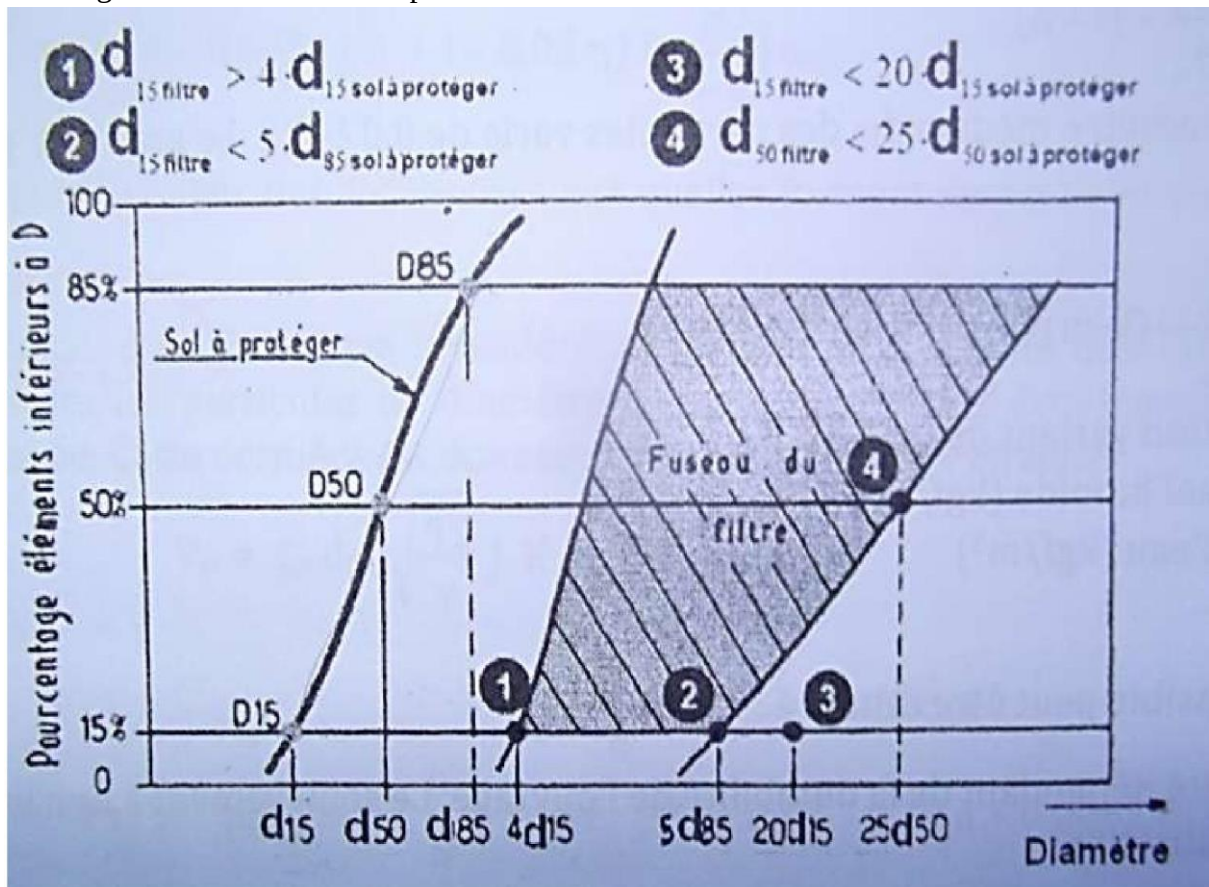


Figure IV.03 : Principe graphique de détermination du fuseau granulométrique d'un filtre.

c) Détermination de la courbe granulométrique des Filtres :

On calcule d'abord le paramètre suivant :

$$\text{(IV.04).} \quad \frac{3 \cdot V_f}{p} \dots\dots\dots$$

nf Coefficient d'homogénéité du sol du filtre $n_f = 12.5$

n : la porosité de filtre. $n = 0,4 - 0,1 \cdot \log(UF) \dots\dots\dots \text{(IV.05).}$

D_{PV} : diamètre des particules soumises à un effet de voûtes.

$$D_{PV} = (3 \text{ à } 4) \cdot d_{15} \dots\dots\dots \text{(IV. 0 6).}$$

d_{15} : Diamètre des particules du sol protéger à 15%;

Et puis on calcule le D_{min} en fonction de D_{17}

$$D_{min} = (D_{17} / (1 + 0.2 * (1.7)^x)) \dots\dots\dots (IV.07).$$

$$\text{Où : } x = 1 + 0.28 * \log(U_f) \dots\dots\dots (IV.08).$$

$U_F = 15$ Coefficient d'hétérogénéité du sol du filtre (D_{f60}/D_{f10}).

Les valeurs de "Di" sont déterminées par la formule suivante :

$$D_i = (1 + 0.2 * (0.1 * i)^x) * D_{min} \dots\dots\dots (IV.09). \text{ On}$$

trouve : $n = 0,29$ et $x = 2.50$

Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.02 : Récapitulatif des résultats de la couche de filtre.

DPV (mm)	0.001
D17 (mm)	0.003
D MIN (mm)	0.0017
D10 (mm)	0.002
D15 (mm)	0.0026
D20 (mm)	0.0036
D50 (mm)	0.021
D60 (mm)	0.031
D80 (mm)	0.063
D100 (mm)	0.11

Le tracé de la courbe granulométrique est représenté dans la figure suivante

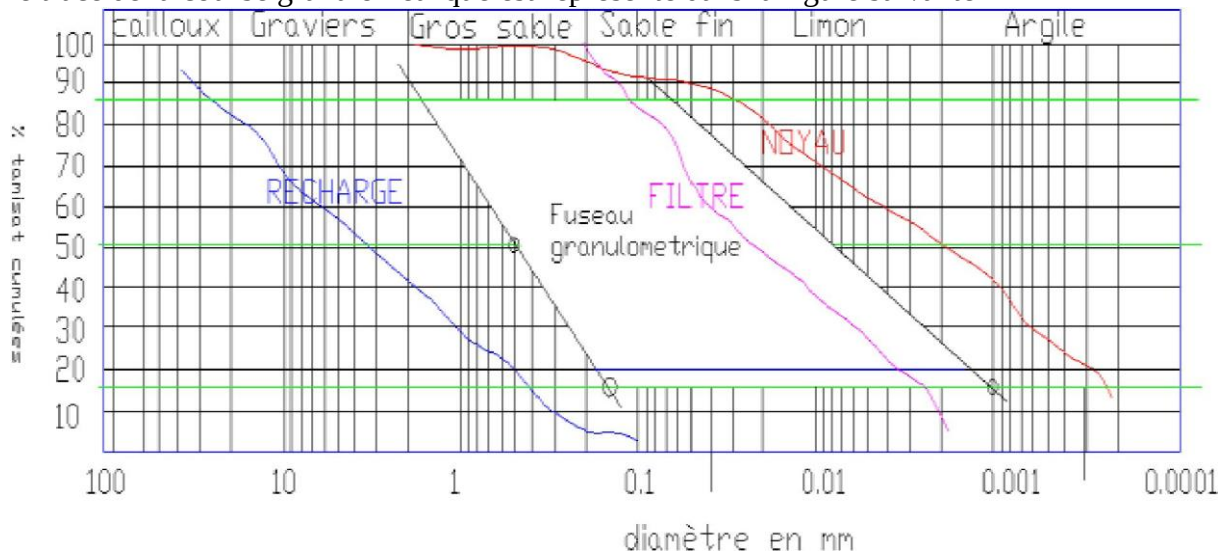


Figure IV.04 : tracé de la courbe granulometrique du filtre

IV.2.2.1 Drain :

Les paramètres des drains déjà estimés dans le chapitre précédant sont résumés comme suit :

Tableau 1 V .03 : paramètres des drains.

Prisme de drainage	
Hauteur	8.2 m
Largeur en crête	2.8 m
Fruit de talus	$m_1=1,75$ $m_2=2,5$
Largeur en base	37.65 m
Drain tapis	
Longueur	103m
Epaisseur	0.8m

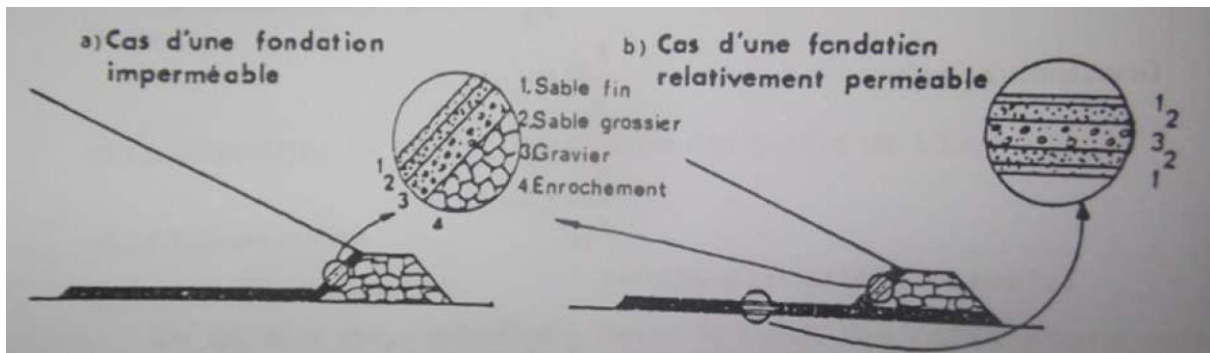


Figure 1 V.05 : disposition des différents drains (techniques des barrages en aménagement rural)

IV.3. Etanchéité du barrage :

IV.3.1. Le noyau :

Constitue l'élément étanche, qui consiste en un matériau cohésif et relativement imperméable.

Les caractéristiques du noyau sont les suivantes :

- La hauteur : $H_n=53.17\text{m}$
- La largeur en crête du noyau : $L_{cn}=9\text{ m}$
- Les fruits des talus du noyau : $m=0.45$
- Largeur de la base du noyau : $L_b=49\text{ m}$
- La cote en crête du noyau : $NCN=173.17\text{ m NGA}$

IV.3.2. fondation :

Etant donné la nature péliitique, marneuse et schisto-quartziteuse, les séries de l'éocène sup. sont en général peu perméables. Il en est de même probablement pour le flysch à petites Nummulites. La formation conglomérato-gréseuse du Cartennien de rive gauche est certainement plus perméable et pourrait produire localement des fuites d'eau du réservoir.

On peut prévoir un écran d'étanchéité qui constitue un prolongement du barrage dans le massif rocheux de la fondation. La profondeur du voile d'injection dépend de la géologie Et la hauteur du barrage, l'USBR propose une profondeur du voile d'étanchéité égale à $H_{\text{voile}} = 1/3H + C$, ou $C = 8 \text{ à } 25 \text{ m}$

AN : $H_{\text{voile}} = 1/3 * (54.17) + 20 = 38 \text{ m}$

Constatation :

Sur la base des résultats des essais d'eau en pression on retient que l'ensemble des Schistes et Grès (rive droite) et des marnes du Flysch à petites Nummulites (rive gauche) sont peu perméables a cet égard, il faudra étudier cette formation d'une façon fouillée pour empêcher tout incident imprévu.

IV.3.3 . La clé d'ancrage :

On prévoit de creuser la fouille à travers les alluvions et les colluvions et de pénétrer au moins 3 m entre le substratum rocheux.

Une clé d'encrage est prévue dans la continuité de la digue afin d'assurer l'étanchéité de la fondation au niveau des alluvions perméables, elle est définie par les paramètres suivants :

- . Profondeur de 8 m environ.
- . La pente des talus de la clé d'encrage est : $m=1,0$.

Cette figure montre la disposition de la clé d'encrage

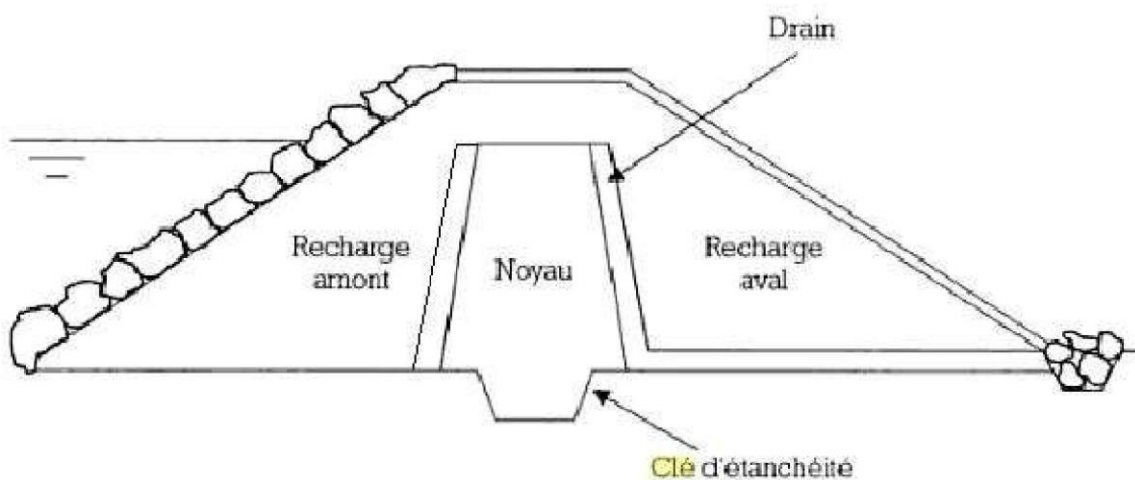


Figure IV.06 : disposition de la clé d'encrage (Technique des petits barrages en Afrique sahéenne et équatoriale)

IV.4 calcul des infiltrations :

Aussi faible que soit la perméabilité d'un barrage en terre, il y a toujours infiltration d'eau.

L'étude des infiltrations doit permettre de déterminer les éléments suivants :

- ✓ La ligne de saturation.
- ✓ La pression d'eau interstitielle.
- ✓ Le débit de fuite.

On appelle ligne phréatique à travers le corps de la digue, la ligne correspondante à la pression hydrostatique nulle. Cette ligne est parfois appelée improprement ligne de saturation située au-dessus de la ligne phréatique à une distance correspondante à l'élévation capillaire de l'eau de saturation.

IV.4.1 causes et solutions : Les problèmes de fuites en général constituent en effet le souci majeur dans les projets de construction de barrages en terre. Les causes peuvent être de différentes origines :

- › nature des matériaux de remblai .
- › méthodes de compactage et de réalisation de ces remblais.
- › méthodes adoptées pour assurer l'étanchéité sous la digue du barrage. ›
- fiabilité des reconnaissances géotechniques.

IV.4.2 Conséquence :

La figure ci-dessous montre les effets des infiltrations sur le corps de la digue, ce qui peut conduire la destruction de la digue d'une part et d'autre part la non satisfaction des besoins.

On doit prévoir l'utilisation des méthodes de surveillance, comme les cellules d'auscultation incorporées dans le corps de la digue au fur et à mesure de la construction et cela pour anticiper toute éventuelle infiltration.

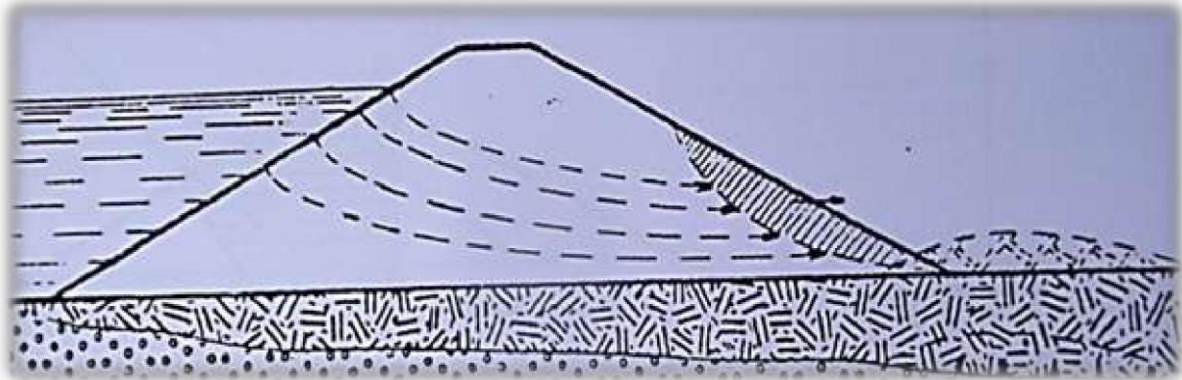


Figure IV.07 : conséquence de l'infiltration à travers la digue. (Techniques des barrages en aménagement rural)

Pour le calcul du debit de fuite, on opte pour la méthode graphique qui est plus utilisée. Elle donne des solutions approchées mais en general suffisantes. Elle est decrite ci-après

IV.4.3 Tracé de le ligne de saturation :

Kozeney a montré que dans un barrage en terre homogène non drainé, la ligne de saturation peut etre assimilée sa partie mediane à une parabole d'axe horizontal dont le foyer o est situé au pied du parement aval du barrage. L'equation de cette parabole s'ecrit :

On aura : (IV.12).

Avec : d : étant la largeur en base du barrage diminuée de $0.7b$ et b étant la projection horizontale de la partie mouillée du parement amont.

Comme le montre la figure suivante :

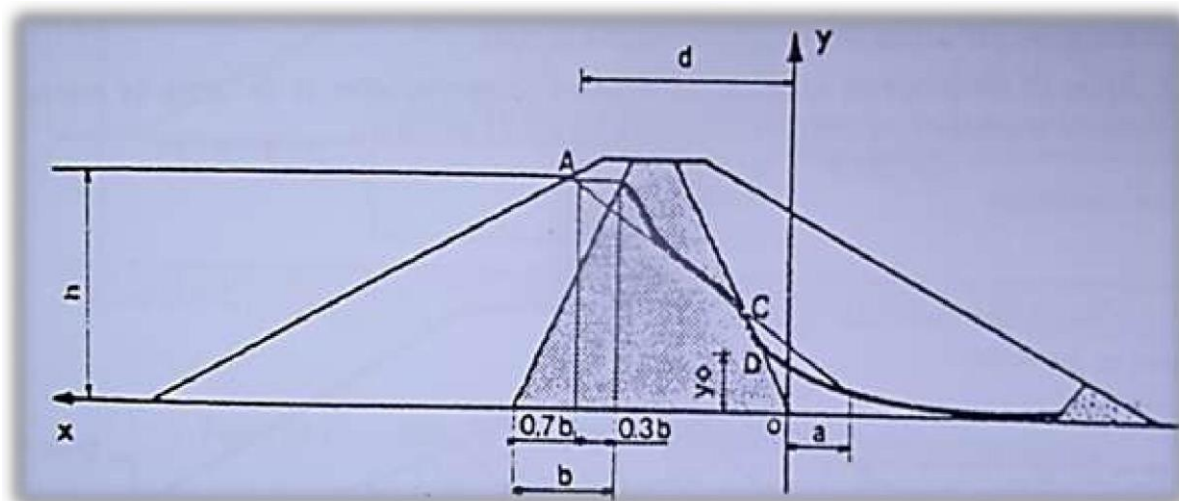


Figure IV.08 : tracé de la ligne de saturation. (Techniques des barrages en aménagement rural)

D'où $b = EB = 19.04m$

L'emprise du noyau : $L_b = 49m$

$d = L_b - 0.7 \cdot b$ d'où $d = 35.65 m$

Donc : $y_0 = 26.26$

Les coordonnées de la courbe de saturation sont données par l'équation suivante :

$$y^2 = 2xy_0 + y_0^2 \text{ on aura } y^2 = 52.52 x + 689.58$$

A partir de cette équation, on peut déterminer les coordonnées de la parabole qui sont données par le tableau ci-après :

Tableau IV .04 : Coordonnées de la parabole de KOZENY

x	y
0	26.2598553
4	29.9943328
8	33.3127603
12	36.329327
16	39.1139361
20	41.7130675
25	44.7501955
30	47.5939072
35	50.2770325
40	52.8240476
45	55.2537782
49	57.1232002

IV.4.4 Détermination de la position de C₁ :

C₁ : point d'intersection de la ligne de saturation avec le talus aval du noyau

L'origine étant au foyer O, ou :

$$\rho = y_0 / (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots (IV. 13).$$

Avec :

ρ : rayon polaire

α : angle polaire avec l'axe de la parabole.

$$\rho = (26.26) / (1 - \cos 69) = 40.92$$

Considérant : OC₁ avec C₁ : point d'intersection de la ligne de saturation avec le talus aval. a = OC₁

α : angle du talus avec l'horizontale, nous aurons alors, un système d'équation :

$$\rho = a + \Delta a = y_0 / (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots (IV.14) .$$

Selon CASAGRANDE l'angle est fonction du rapport : $\Delta a / a + \Delta a$

On a : $\alpha = 69^\circ$ donc :

D'après l'abaque $(\Delta a / (a + \Delta a)) = 0.30$

$$\rho = a + \Delta a = 40.92$$

$$\Delta a = 0,3 * (a + \Delta a)$$

On trouve : $\Delta a = 12.27\text{m}$ et $a = 27.72\text{ m}$

IV.4.5 Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue

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

$$q = K \cdot I \cdot A \quad \text{..... (IV.15)}$$

Avec :

q: Débit d'infiltration en (m³/s/ml).

K: Coefficient de perméabilité en (m/s). (K=6.2.10⁻⁸ m/s)

I: Gradient hydraulique.

A: Section d'infiltration par unité de longueur.

Le gradient hydraulique est déterminé par: $I = \frac{y_0 - y}{L}$ et $A = y \cdot I$

Donc:

$$q = K \cdot y_0 \quad \text{..... (IV.16)}$$

Avec: $y = y_0$

D'où: $q = K \cdot y_0$ [m³/s/ml].

Le débit total à travers le barrage sera donc $Q = q \cdot L$

Tableau IV.05 : Débit de fuite à travers la digue.

$y_0(m)$	$K (m/s)$	$Q (m^3/s/ml)$	$Q (m^3/s)$
26.26	6.2.10 ⁻⁸	1.62.10 ⁻⁶	6.93.10 ⁻⁴

IV.4.6 Calcul du débit de fuite à travers la fondation :

Le débit d'infiltration à travers la fondation est donné par la loi de Darcy

$$q_n = K \cdot I \cdot A \quad \text{(I V . 1 7)}$$

Avec :

K : Coefficient de perméabilité. (K=2.2* 10⁻³m/s)

I : Gradient hydraulique;

H : charge d'eau dans retenue ;

A : Section d'infiltration par unité de longueur $A = T \cdot l_b$;

l_b : L'emprise de barrage $l_b = 335$ [m] ;

T : Profondeur du sol de fondation perméable $T = 20$ [m] ;

Le gradient hydraulique est donné par :

$$I = \frac{H}{T} \quad \text{(I V . 1 8)}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau IV .06 :

Tableau IV.06 : Débit de fuite de la Fondation.

H (m)	I	K (m/s)	Q (m ³ /s/ml)	Q (m ³ /s)
54.17	0,16	$2 \cdot 10^{-5}$	$6.4 \cdot 10^{-5}$	$2.14 \cdot 10^{-2}$

IV.4.7 Calcul du débit de fuite à travers le barrage (digue + fondation) :

Le débit total d'infiltration (en m³/s) à travers le barrage est donné dans le tableau suivant :

Tableau IV.07 : Débit de fuite de barrage.

Digue	Fondation	barrage
$6.93 \cdot 10^{-4}$	$2.14 \cdot 10^{-2}$	$2.21 \cdot 10^{-2}$

IV.4.8 Vérification de la résistance d'infiltration du sol du barrage :

IV.4.8.1 Dispositif d'étanchéité :

La résistance d'infiltration du sol du corps de la digue est donnée par :

$$I = \frac{S}{AH} \quad \left(I \text{ V } . 1 \quad 9 \right)$$

AH : charge d'eau dans la retenue. Sn : épaisseur moyenne du noyau. I_{adm}:

gradient hydraulique admissible ; on le détermine à partir du tableau suivant :

Selon la classification du Tableau IV .08, alors on prend I_{adm}=1,8

Tableau IV.08 : Gradient hydraulique admissible.

Sol du corps du barrage.	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1,5	1,6	1,8	1,95
Limon	1,05	1,15	1,25	1,35
Sable moyen	0,7	0,8	0,9	1,0
Limon sableux	0,55	0,65	0,75	0,85
Sable fin	0,45	0,55	0,65	0,75

Donc : H=54,17 m; Sn= 49 m;

on trouve alors $1,10 < I_{adm}$

On constate que la résistance à l'infiltration à travers le barrage est assurée.

IV.4.8.2.fondation du barrage :

La vérification de la résistance d'infiltration générale est vérifiée si et seulement si la condition suivante est vérifiée :

$$I_f < (I_v \cdot 20)$$

Avec :

I_{cr} : Gradient d'infiltration critique qui est déterminé en fonction du type de sol de la fondation.

Tableau IV.09: Gradient d'infiltration admissible.

Sols de fondation	I_{cr}
Argiles	1,2
Limons	0,65
Sables grossiers	0,45
Sables moyens	0,38
Sables fins	0,29

K_s : Coefficient de sécurité déterminé en fonction de la classe du barrage

Tableau IV.10: Détermination du coefficient de sécurité.

Classe du barrage	I	II	III	IV
K_s	1,25	1,20	1,15	1,10

If : gradient d'infiltration dans la fondation du barrage, on le détermine d'après la formule suivante :

$$\text{.....} \text{ (IV.21).}$$

Avec : T_c : profondeur de calcul de la zone de filtration de la fondation. ($T_c=20m$)

ΔH : charge d'eau ($H=54.17m$).

L : longueur à la base du barrage ($L=335m$).

Notre barrage appartient à la classe III ce qui donne ($K_s=1.15$).

La fondation argileuse marneuse, donc: $I_{cr} = 1.2$.

A.N : $I_f = 0.15 < 1.04$

Donc la résistance d'infiltration à travers les fondations est assurée.

IV.5 Calcul de stabilité :

L'étude de la stabilité d'un barrage en terre est celle de la stabilité de son talus amont et de son talus aval sur sa fondation. Il n'existe pas de méthode globale permettant de calculer la stabilité d'un tel système sans faire d'hypothèse. Pour arriver à un résultat, on est obligé de se donner la forme de la surface de rupture au contact de laquelle il peut y avoir glissement. On prend généralement une surface cylindrique circulaire à axe horizontal, apparaît comme un cercle appelé cercle de glissement dans une coupe vertical de la digue.

Cette hypothèse est bien conforme à ce qu'on a pu observer sur les glissements de talus.

A partir de cette hypothèse, on découpe le terrain en tranches verticales de faibles épaisseurs juxtaposées et on étudie l'équilibre de l'ensemble. Pour notre cas un barrage en terre dont sa résistance au cisaillement sera fonction de la pression interstitielle et des deux caractéristiques, cohésions et angle de frottement interne.

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes de calcul. Nous optons pour la méthode de FELLENIUS.

IV.5.1 Méthode de FELLENIUS :

Pour simplifier les calculs, FELLENIUS admet l'hypothèse suivante :

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

$$Z_{n+1} - Z_1 = 0$$

Ce qui revient à dire qu'il ne y'a pas d'interaction.

La figure ci-dessous montre les différentes forces agissantes sur une tranche

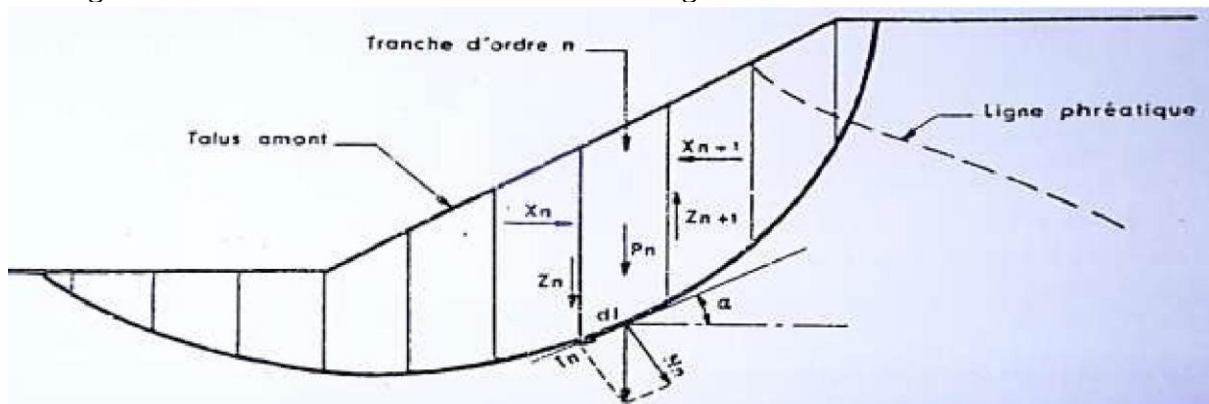


Figure IV .09 : principe du calcul de stabilité (Techniques des barrages en aménagement rural)

IV.5.1.1. Force de pesanteur (poids propre de la tranche) :

La force de pesanteur est appliquée au centre de gravité pour chaque tranche. Elle est donnée par la formule suivante :

$$G_i = b E_{(Y, h_i)} \dots\dots\dots (IV.22).$$

Avec : G_i : poids propre de la tranche.

b : largeur d'une tranche ($b=0.1R$).

h_i : hauteurs des tranches.

Le poids « G_i » étant une force qui présente deux composantes :

Et

N_n : composante normale stabilisatrice.

T_n : composante tangentielle déstabilisatrice et $\sqrt{\quad}$
au cercle de glissement.

Avec : $\sin \alpha = N_n / G_i$

IV.5.1.2. Force de pression interstitielle :

Dans le cas où le barrage est à son niveau normal de la retenue (NNR).

$$\dots\dots\dots (IV.23).$$

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

IV.5.1.3. Forces de cohésion :

$$C = C \cdot dl \dots\dots\dots (IV.24).$$

Avec : θ : angle au centre des tronçons de la courbe de glissement.

C : cohésion du sol considéré.

IV.5.1.4. forces de frottement :

$$\dots\dots\dots (IV.26).$$

Avec : ϕ : angle de frottement interne qui dépend de la nature du sol et de la disposition de la surface de glissement par rapport à la ligne phréatique.

IV.5.1.5. force sismique :

$$\dots\dots\dots (IV.27).$$

Avec : G_i : poids de la tranche.

a : Coefficient d'accélération de zone sismique.

Règle : 1

Un talus est stable lorsque les moments des forces motrices sont inférieurs aux moments des forces résistantes qui sont essentiellement des forces de résistance au cisaillement. La valeur du coefficient de sécurité « FS » est définie par le rapport des moments résistants sur les moments moteurs.

IV.5.2 Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement :

Kss : coefficient de sécurité sans séisme.

Kas: coefficient de sécurité avec séisme.

dni : distance entre le centre de gravité de la tranche et le centre du cercle de glissement.

IV.5.2.2. Retenue vide (fin de construction) :

Tableau VI.11: Caractéristiques géotechniques des sols.

	Angle de frottement(°)	Cohésion C(bar)	Poids volumique(t/m3)	
			Humide	Saturé
Noyau	19	0	1.9	2
Fondation	34	0.4	2.1	2.2
Recharges	34	0	2.2	2.4

Cette valeur de sécurité contre le glissement du terrain doit être supérieur ou égal au coefficient admissible « k_{adm} » défini dans ce tableau ci-dessous.

Tableau IV .12 : Coefficient de stabilité admissible des talus.

Combinaison des charges et des actions	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Fondamentales (sans séisme)	1,20 ÷ 1,30	1,15 ÷ 1,20	1,10 ÷ 1,15	1,05 ÷ 1,10
Spéciales (Avec séisme)	1.05 ÷ 1.10		1,05	

Notre barrage appartient à la classe **III**, le coefficient admissible sera donc :

- sans séisme : $K_{ss\ adm} = 1, 10 - 1, 15$

- avec séisme : $K_{as\ adm} = 1,05$

IV.5.3. Ordre de calcul (Méthode des tranches) :

- Tracer à l'échelle le profil en travers du barrage.
- Tracer deux lignes au milieu du talus moyen (Point B), la première est verticale, la deuxième avec un angle 85° par rapport à la ligne du talus.
- Tracer les arcs des cercles de rayons R_1 et R_2 avec :

$$R_1 = K_1 H_b.$$

$$R_2 = K_2 H_b.$$

H_b : Hauteur totale du barrage ($H_b=54.17m$).

(K_1 - K_2) : sont déterminés en fonction de pentes de talus d'après le tableau suivant :

Tableau IV .13 : Rayons max et min en fonction de la pente du talus.

Pente de talus	1	2	3	4	5	6
$K_1 = R_1/H_b$	0,75	0,75	1,0	1,5	2,2	3
$K_2 = R_2/H_b$	1,5	1,75	2,3	3,75	4,8	5.5

Le tableau suivant montre les valeurs trouvées :

Tableau IV.14 : Rayons max et min de chaque talus.

talus	Pente du talus	K1	K2	R1 (m)	R2 (m)
Amont	3,0	1,0	2,3	54.17	124.6
Aval	2,5	0,875	2,025	47.4	109.7

Les résultats de calcul sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.15 : Coefficients de sécurité pour différents cas de fonctionnement.

Fin de construction			Fonctionnement de la retenue			Vidange rapide		
R (m)	Avec séisme	Sans séisme	R (m)	Avec séisme	Sans séisme	R (m)	Avec séisme	Sans séisme
96.74	1.11	1.94	107.46	1.18	2.05	100.24	1.29	2.40
73.24	1.10	1.91	86.78	1.26	2.25	148.47	1.55	2.61
122.1	1.19	2.10	65.38	1.15	1.97	73.84	1.27	2.36
86.33	1.28	2.27	119.06	1.16	2.01	126.8 3	1.19	2.11
122.6	1.21	2.15	96.56	1.39	2.53	96.81	1.25	2.22

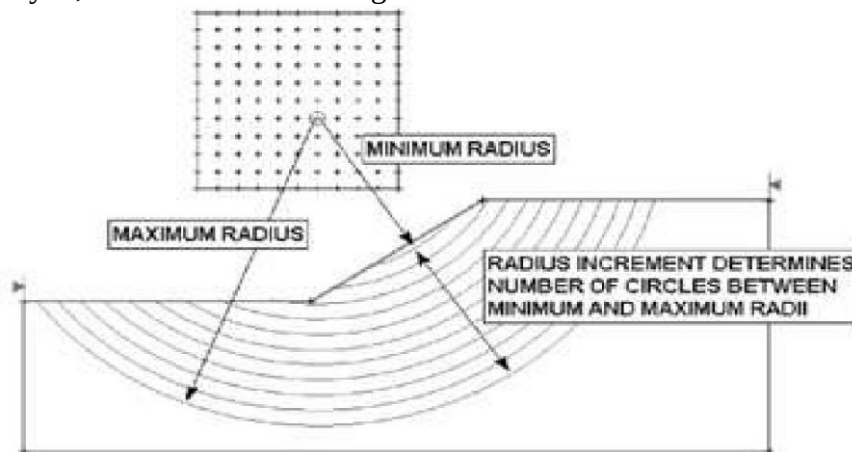
Note : Les résultats de calcul de stabilité sont donnés dans l'annexe III.

IV.6 calcul de la stabilité avec le logiciel SLIDE :

Principe de fonctionnement

En premier lieu, on doit introduire la géométrie de la digue ainsi les différentes propriétés des matériaux qui la constitue, par la suite le logiciel détermine d'une façon automatique la grille des points de glissement.

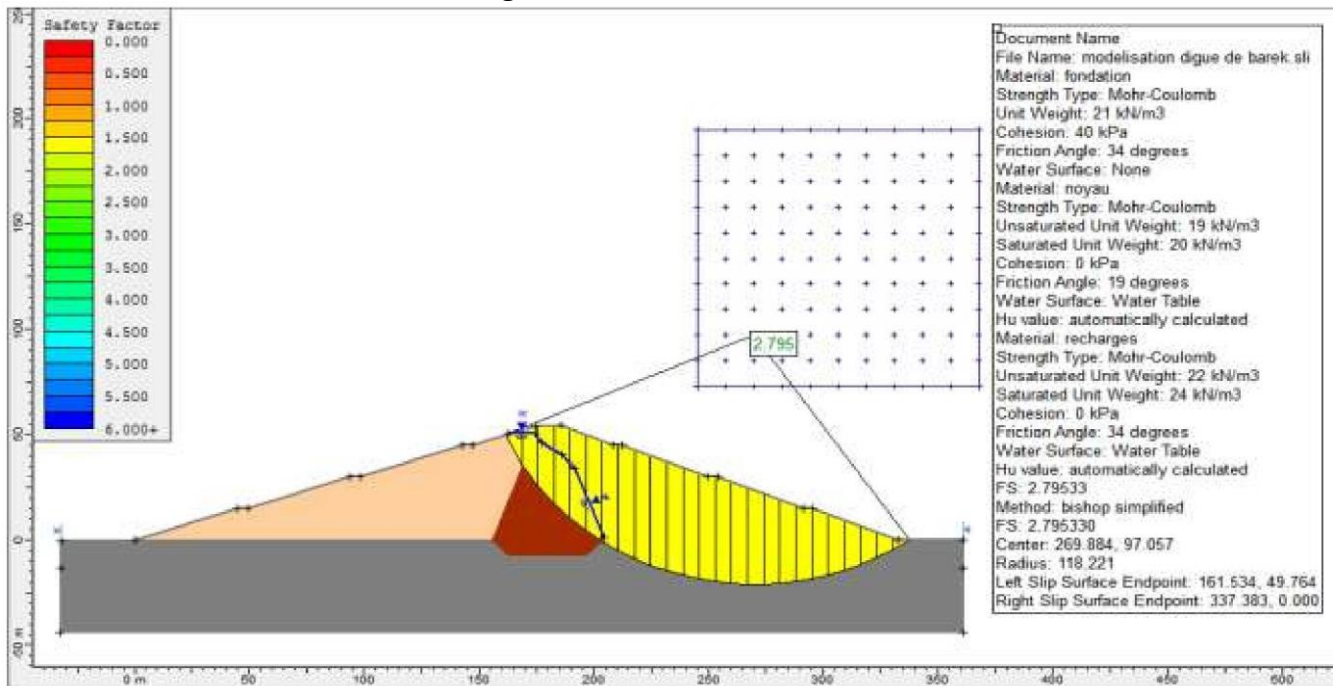
Chaque centre dans une grille, représente le centre de la rotation d'une série de cercles de rupture. SLIDE détermine automatiquement les rayons de cercle à chaque point, et l'incrément de rayon, comme le montre la figure ci-dessous



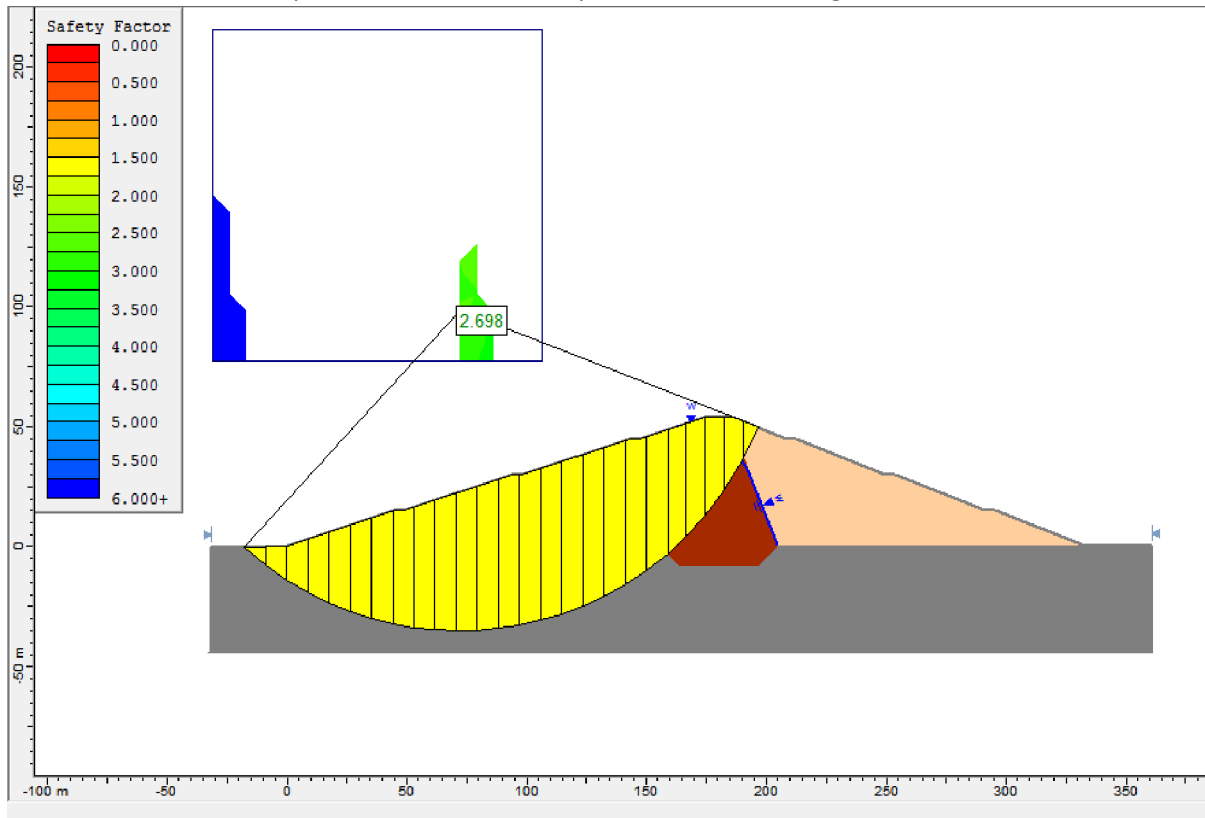
FigureIV. 10 : principe de calcul de SL ID E

Pour une méthode d'analyse donnée, la surface minimum globale de glissement est la surface avec le PLUS BAS facteur de la sûreté, de toutes les surfaces de glissement analysées.

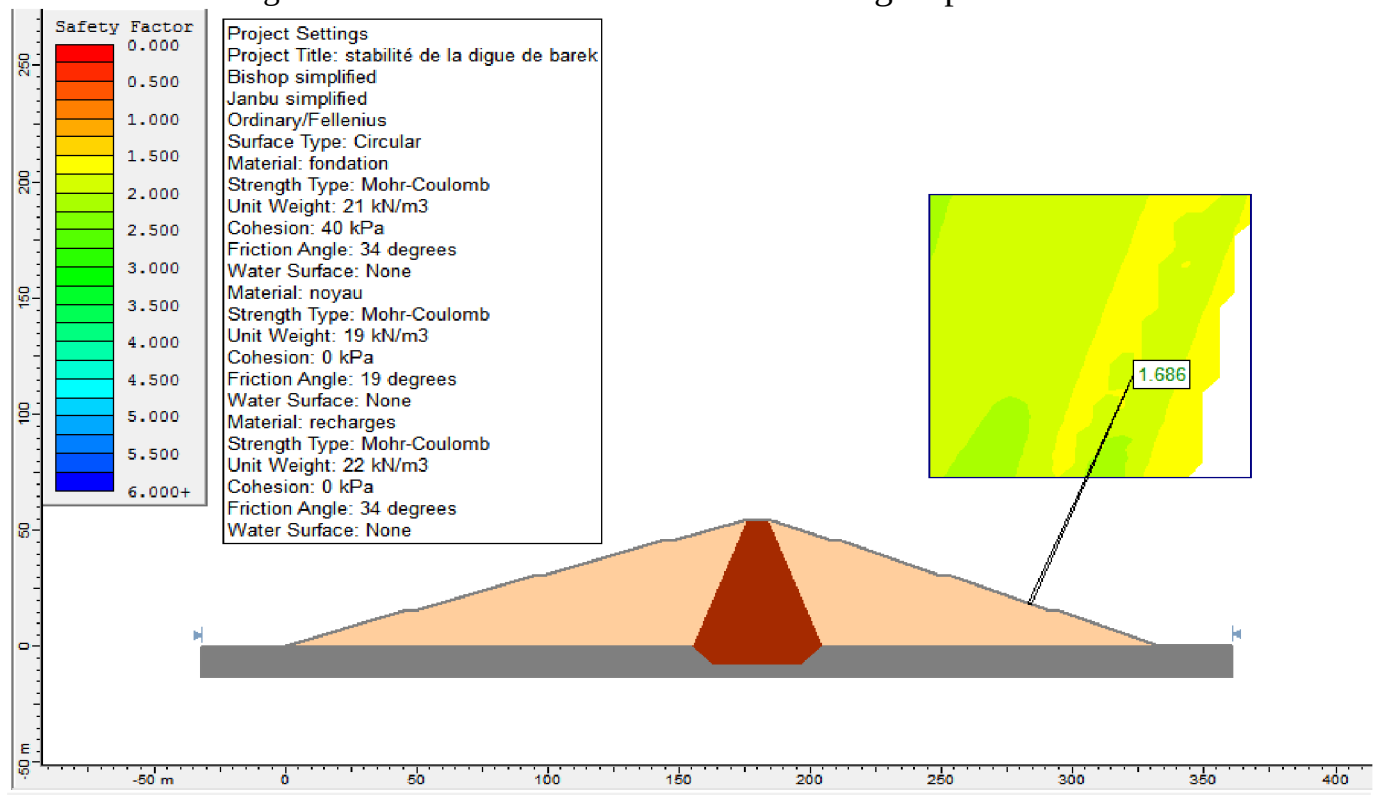
Les résultats sont montrés dans les figures suivantes :



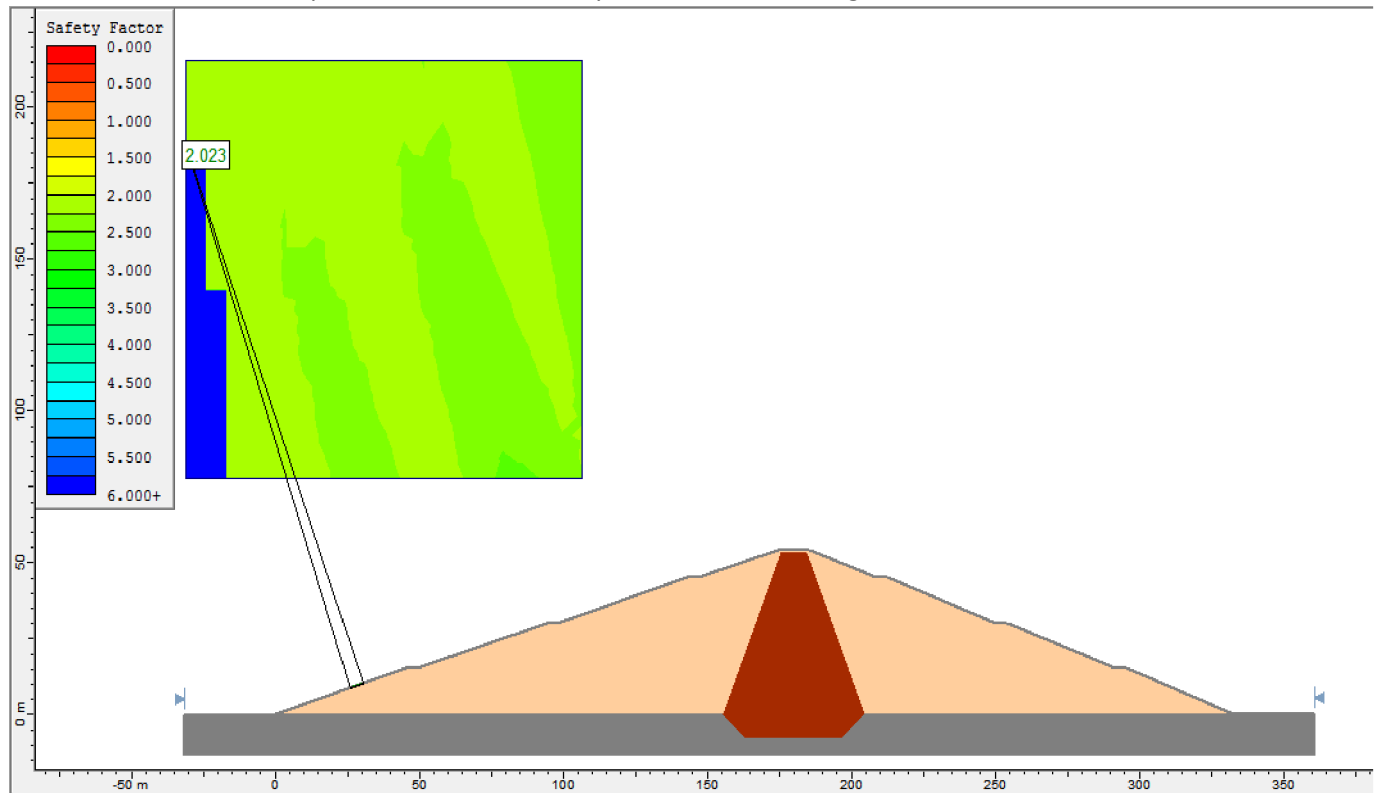
FigureIV.11 : stabilité aval dans le fonctionnement de la retenue



FigureIV.12 : stabilité amont dans le cas vidange rapide.



FigureIV.13 : stabilité aval fin de construction.



FigureIV .14 : stabilité amont fin de construction.

Conclusion :

A la fin de ce chapitre on a pu avoir une appréciation générale du barrage, telle que la stabilité de la digue de Barek, l'étanchéité de la fondation et celle de la digue. Du côté stabilité le coefficient de sécurité minimum calculé pour les différents cas de sollicitation est strictement supérieur aux coefficients de sécurité admissibles avec et sans séisme.

En ce concerne la fondation du barrage, des études plus poussées s'imposent pour compléter l'étude géologique du barrage et de prévoir les moyens adéquats pour assurer l'étanchéité de cette fondation d'une part, d'autres part pour déterminer les zones d'emprunts et de calculer la quantité exploitable de ces matériaux ainsi leurs caractéristiques .

Chapitre V :Organisation du chantier et sécurité de travail

Introduction

L'organisation d'un chantier demande et impose un rythme
bonne utilisation des moyens humains et matériels dans le

- ~ La rapidité.
- ~ La qualité.
- ~ La quantité.
- L'économie.

V.1 Les participants à l'acte de construire

- Maître d'ouvrage (MDO).
- Maître d'œuvre (Architecte ou le bureau d'étude) à l'entrepreneur. ^{TR}

La figure suivante montre les liens contractuels entre les acteurs d'un chantier

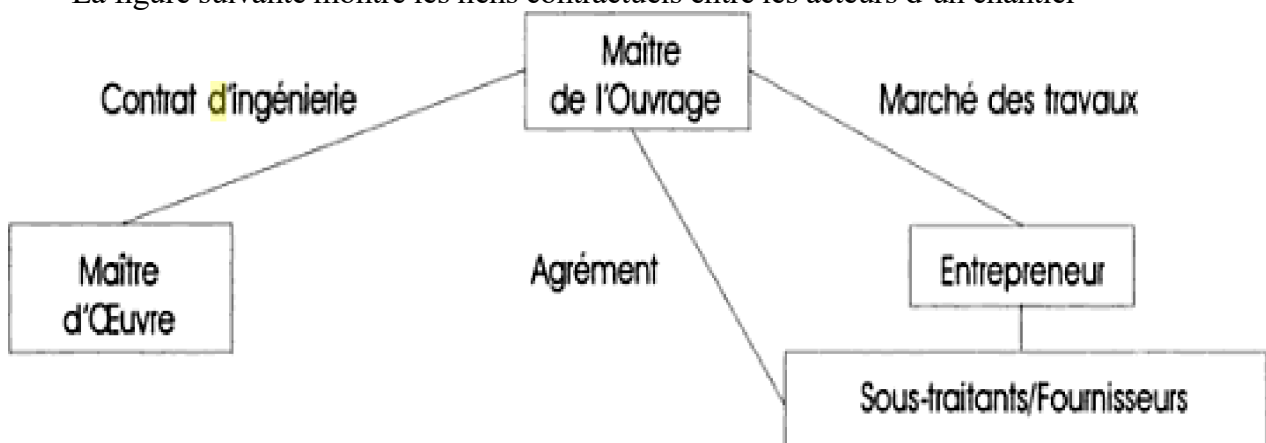


Figure V .01 : les liens contractuels entre les acteurs d'un chantier

V.2 Installation de chantier

V.2.1 Définition d'un chantier

C'est à la fois le lieu où on construit notre ouvrage et dans lequel on s'installe. Un chantier est

~~Intéressant à l'échelle du temps V2 Rôle de l'installation de chantier~~

Organisation et le déroulement des travaux:

- ✓ Ordonner le chantier: Gain de temps, Évite les pertes (matériaux) et double emplois (matériels).
- ✓ Améliore la sécurité : humaine + matériel et Améliore la qualité.

- ✓ Positionner les éléments: Organiser les déplacements des engins et des véhicules dans le chantier et bien positionner les livraisons et Positionner les réseaux en utilisant des grillages avertisseurs et des bandes de couleurs normalisées.

V.2.3 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise : il n'existe pas de modèle typ pour aménager un chantier, une installation rationnel permet de respecter les délais imposés, et d'éviter le gaspillage de l'œuvre.

a) Installations du chantier

- ✓ clôture de terrain avec signalisation extérieure elle comporte
- ✓ Plusieurs accès contrôlés par des loges de gradient et des barrières.
- ✓ Une signalisation routière aux abords des accès pour indiquer l'entrée et sortie des engins.
- ✓ Des voies d'accès et de circulation intérieure.
- ✓ Signalisation intérieure : elle comporte les sens de circulation des engins prévisions de danger éventuel (passage du câble électrique pour les consignes de sécurité individuel, la port de casque, de masque anti poussière, lunette de protection).
- ✓ Emplacement des chemins de roulement de grue.

On peut distinguer les installations suivantes :

b) Installations destinées au personnel

- ✓ les dortoirs.
- ✓ les réfectoires.
- ✓ les installations sanitaires et les bureaux de chantier.

c) Installations destinées au stockage des matériaux

- ✓ Magasin central : c'est un lieu de dépôt de petit matériel.
- ✓ Les matières consommables et les articles sensibles aux intempéries.
- ✓ Aire de stockage protégée.
- ✓ Aire de stockage non protégée.

d) Installations destinées à la réparation des engins

En général, les grosses réparations ne se font 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.

e) Installation destinée pour la préfabrication :

Pour cette installation, elle est constituée des hangars munis de matériel nécessaire permettant la réalisation des éléments de l'ouvrage tels que les poutres, dalles, conduites.

V.3 Travaux de réalisation :

V.3.1 Travaux de terrassements :

Pour la réalisation des travaux de terrassements, il est nécessaire d'établir la balance des masses volumiques de terrassement en adoptant les travaux les plus économiques en ce qui concerne la répartition et le transport des matériaux de construction sur le chantier, ainsi que le choix par les caractéristiques techniques des outils mécaniques.

V.3.2 Travaux d'excavations :

Les différentes opérations d'excavation devront être faites selon les données avancées dans le dossier des plans et le programme général des travaux, ces derniers comprennent le décapage de la terre végétale sur l'assise de la digue et la zone d'emprunt, qui sera transporté vers une décharge dans une zone stable sans influence sur le déroulement et le régime des travaux.

V.3.3 Travaux secondaires :

Cela consiste au travail dont le besoin est de pouvoir exploiter tous les ouvrages dans les meilleures conditions possibles.

- ¸ L'aménagement de la zone d'emprunt.
- ¸ Stabilité des décharges ainsi que leur protection contre l'érosion et leur éloignement des cours d'eau.
- ¸ Reboisement des zones à risque d'érosion aux alentours du barrage.

V.4 Les moyens de chantier :

La construction d'une digue en terre nécessite l'utilisation de nombreux engins mécaniques destiné à scarifier, excaver, transporter, niveler et compacter les matériaux. On peut distinguer le matériel de compactage, la fonction les caractéristiques principales et le rendement des différents engins de terrassement et de compactage susceptible d'être utilisés lors de la réalisation du petit barrage.

A- Les moyens humains :

En ce qui concerne les moyens humains pour la réalisation de l'ouvrage, on doit justifier la mise en œuvre du personnel compétent pour la réalisation des études préalables et pour la construction en précisant leurs titres et leurs compétences

B - Les engins de terrassement :

Le matériel général de terrassement comprend les engins traditionnels mis en œuvre pour la constitution des fouilles d'assise du barrage, l'extraction et le transport des matériaux et la réalisation des finitions, se fait appel aux engins suivants :

- La grue pour soulever et maintenir en suspension des matériaux extrêmement lourds.
- Le bulldozer pour araser une surface non plate.
- La pelle mécanique hydraulique pour creuser des tranchées et charger des matériaux.
- La décapeuse, aussi appelée *scraper*.
- La niveleuse, aussi appelée *grader*.
- Le camion de chantier.
- Chargeur à pneu ou à chenilles.

Le compactage des remblais est une phase très importante parce que cette opération est liée d'une façon directe à l'étanchéité de l'ouvrage. On fait appel aux engins suivants:

- ↳ Les compacteurs à pneus : Ils conviennent pour le compactage de tout type de sol.
- ↳ Les compacteurs à rouleaux vibrant : Ils sont utilisés pour le compactage des matériaux à angle de frottement élevé, tels les enrochements ou les sables à granulométrie serrée.
- ↳ Les compacteurs à pied dameurs (à pied de mouton) : Ils conviennent pour le compactage des sols fins.

C - Le matériel de bétonnage :

On utilise le plus souvent des bétonnières pour la fabrication du béton nécessaire pour la construction des ouvrages en béton (évacuateur, tour de prise, canal de dérivation....)

V.5 Planification :

V.5.1 Définition :

La planification des travaux est une tâche fastidieuse pour les entreprises. Cette dernière a pour but d'assurer que les délais d'approvisionnement et d'exécution des travaux soient respectés, car tout retard peut entraîner des pénalités financières. Cependant, si le chantier est terminé en avance des primes sont versées par le maître d'ouvrage à l'entreprise.

V.5.2 Techniques de la planification :

Il existe deux principales méthodes de planification à savoir :

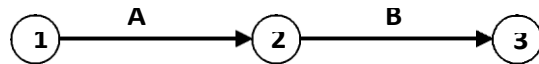
- Méthodes basées sur le réseau.
- Méthodes basées sur le graphique.

V.5.2.1 Méthodes basées sur le réseau :

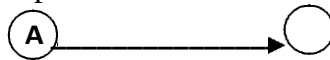
✓ Définition du réseau :

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui sont indispensables pour l'achèvement de l'objectif de la planification. On distingue deux types de réseaux :

- **Réseau à flèches** : L'opération est représentée par une flèche et la liaison entre deux opérations par un cercle appelé "nœud".



- **Réseau à nœuds** : L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

✓ Construction du réseau :

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les cinq opérations suivantes :

- 1)Etablissement d'une liste des tâches.
- 2)Détermination des tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération.
- 3)Construction des graphes partiels.
- 4)Regroupement des graphes partiels.
- 5)Construction du réseau.

Pour cette étude on va utiliser la méthode de calcul d'un réseau à nœud à l'aide de la grille qui est constituée de 06 cellules

DCP	TR
DFP	DCPP

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

a) Le calcul aller : On calcule les dates au plus tôt uniquement, la figure suivante montre le principe de calcul

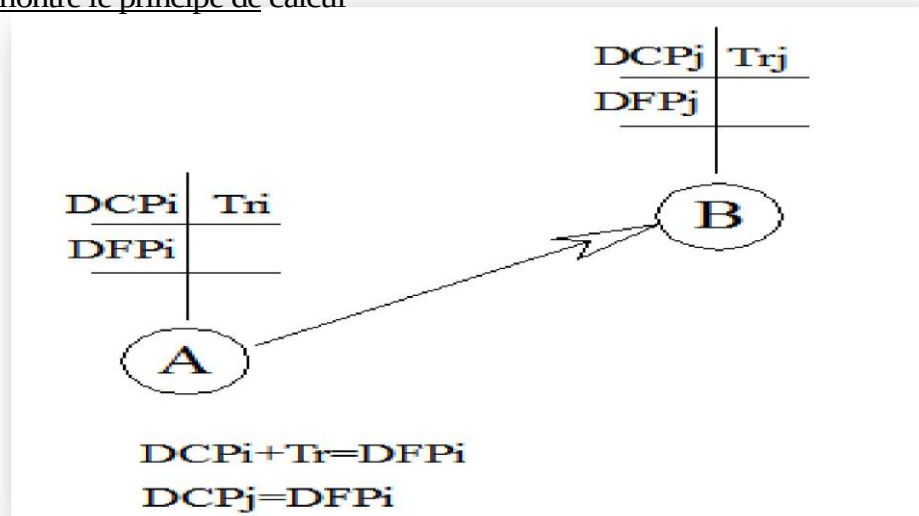


Figure V.02 : principe du calcul aller

b) Le calcul retour :

On calcule les dates au plus tard uniquement, la figure suivante montres le principe du calcul

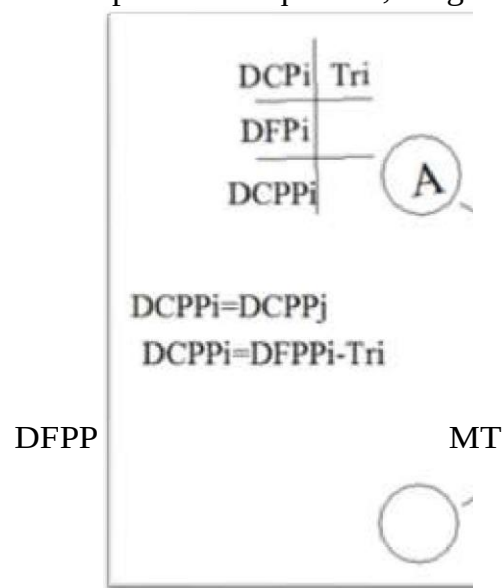


Figure V.03 : principe du calcul retour

V.5.2.2 La marge totale et chemin critique :

$$\left. \begin{array}{l} MT=DCPP-DCP \\ MT=DFPP-DFP \end{array} \right\} DFPP-DFP=DCPP-DCP \text{ moyen de vérification.}$$

Les opérations critiques sont celles qui ont $MT=0$

Donc pour retrouver un chemin critique, il suffit de vérifier la double condition suivante :

$MT=0$ et la somme des Tr sur le C.C est égale à DFP.

○ **Avantage :**

Méthode rationnelle reposant sur un modèle mathématique donc informatisable.

○ **Inconvénients :**

Lecture difficile et peu adaptée à un chantier.

V.5.2.3 Attribution des durées de chaque opération

Pour l'attribution du temps, il est nécessaire de se baser sur deux points

1. Le nombre de ressources (moyens humains et matériels)
2. Dimensions du projet ;

On applique la formule suivante:

V.6 Programme des travaux :

Le programme des travaux pour la construction du réservoir et du transfert, a été établi sur des bases réalistes qui tiennent compte des problèmes qui pourront surgir durant les travaux.

Le tableau ci-dessous montre la durée des différents travaux et leurs symboles :

Tableau V.01 : liste et symbole des opérations

Tavaux	Opérations	Durée (mois)
RESERVOIR		
Installation de chantier	A	3
Dérivation provisoire	B	9
Excavation barrage	C	7
Injection de peau	D	6
Recharge et noyau	E	18
Evacuateur de crues	F	9
Tour des vannes et des prises	G	9
Travaux routiers	H	8
TRANSFERT DE BARAKI		
Installation de chantier	I	9
Station de pompage	j	12
Conduites transfert	K	27
Bassin de compensation pour l'irrigation	L	6

V.6.1 Détermination du chemin critique :

Le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0) est comme suit :

$$D_{TR} \Sigma T_R = 120 + 540 + 210 + 270 + 90 = 1230 \text{ jours.}$$

V.6.2. Le coût des travaux de construction du barrage :

Tableau V.02 : devis estimatif du barrage.

Variante	Matériaux	Prix unit (DA)	Quantité (m3)	Coût (DA)	Totale (DA)
Zoné	Noyau	500	429889.76	214944880	847202448
	Recharge (graves)	400	1285742.51	514297004	
	Enrochement (rip-rap)	800	36064.08	28851264	

V.7 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 ».

V.7.1. Organisation de la prévention des accidents du travail :

L'organisation de la prévention se présente à travers les activités professionnelles comme une immense chaîne de solidarité, composée de multiples maillons, correspondant chacun

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 et de suggestion.

V.7.2. Causes des accidents de travail :

L'analyse des accidents les plus fréquents fait apparaître des causes à la fois humaines et techniques.

V.7.2.1. 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.7.2.2. 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.7.3. 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 réglementation :**

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 :**

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 :**

➤ **La recherche technique :**

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 :**

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 :**

> **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 :**

L'enseignement de la
apprentissage, ... etc.

➤ **La formation**

: L'enseignement
pratique

La persuasion :

L'emploi de diverses méthodes pour créer
«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 :

b

pouvoir législatif et réglementaire, fonctionnaires, ingénieurs et techniciens, médecins, psychologues, statisticiens, enseignants, et celle, bien entendu, des employeurs et des travailleurs eux-mêmes.

Conclusion :

Le transfert de Baraki sera environ prêt dans un délai 27 mois.

Le coût du barrage s'élève à la somme de : **847202448.00DA**

Le coût du barrage est de **huit cent quarante-sept millions deux cent deux milles quatre cent quarante-huit dinars algérien (DA).**

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Ce travail, bien que mené à son terme, est loin d'avoir été sans difficultés car il nous a montré que la réalisation d'un barrage est une tâche complexe, du fait qu'il se trouve dans un point de rencontre de spécialités aussi variées comme la géologie, hydrologie, mécanique des sols etc. Les difficultés rencontrées résident dans l'absence d'une étude Géologique plus poussée concernant les matériaux de construction et leurs caractéristiques. Cela conduit inévitablement à la difficulté d'établir une étude comparative et rationnelle des variantes, pour dégager la plus adéquate. Ainsi le modèle géologique proposé par le bureau d'étude, doit impérativement être vérifié avec une campagne de reconnaissance.

Le barrage de Barek est d'une hauteur de 54.17m avec une capacité de stockage qui est de 24.99Mm³.

L'exécution de ce projet sur l'Oued ZEROUALA va contribuer à la satisfaction des besoins en irrigation du périmètre, mais il faut minimiser les pertes et explorer d'autre réservoir afin de palier au déficit prévu d'ici 2025.

des expériences qu'il a apporté et qui confortent mon désir d'exercer mon futur métier d'ingénieur d'hydraulique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Touaibia, B.** (2004). Manuel pratique d'hydrologie. ENSH Blida, pp 29-89
- [2] Robert, D.** (1991). Introduction à la géotechnique, pp 226-235
- [3] Rolley, R** (1977). Technique des barrages en aménagement rural, pp 125-149
- [4] Le Delliou, P.** (2007). Les barrages : conception et maintenance, pp 159-205
- [5] CIGB** (1992). Choix de la crue de projet, pp : 168-178
- [6] Sari, A** (2002). Hydrologie de surface. Initiation A, pp: 19-77
- [7] Hoang, V. D.** (2005).Hydrologie, pp: 167-213
- [8] Schleiss, A.J.** (2011). Les barrages du projet à la mise en service, pp: 481-574
- [9] Robitaille, V.** (1997). Mécanique des sols, pp 261-381
- [10] Touaibia, B. Benlaoukli, B.** (2004). Introduction au dimensionnement des retenues collinaires, pp 1-53

ANNEXE

I

Tableau 01 : caractéristiques du sol et roche de fondation

[illegible]

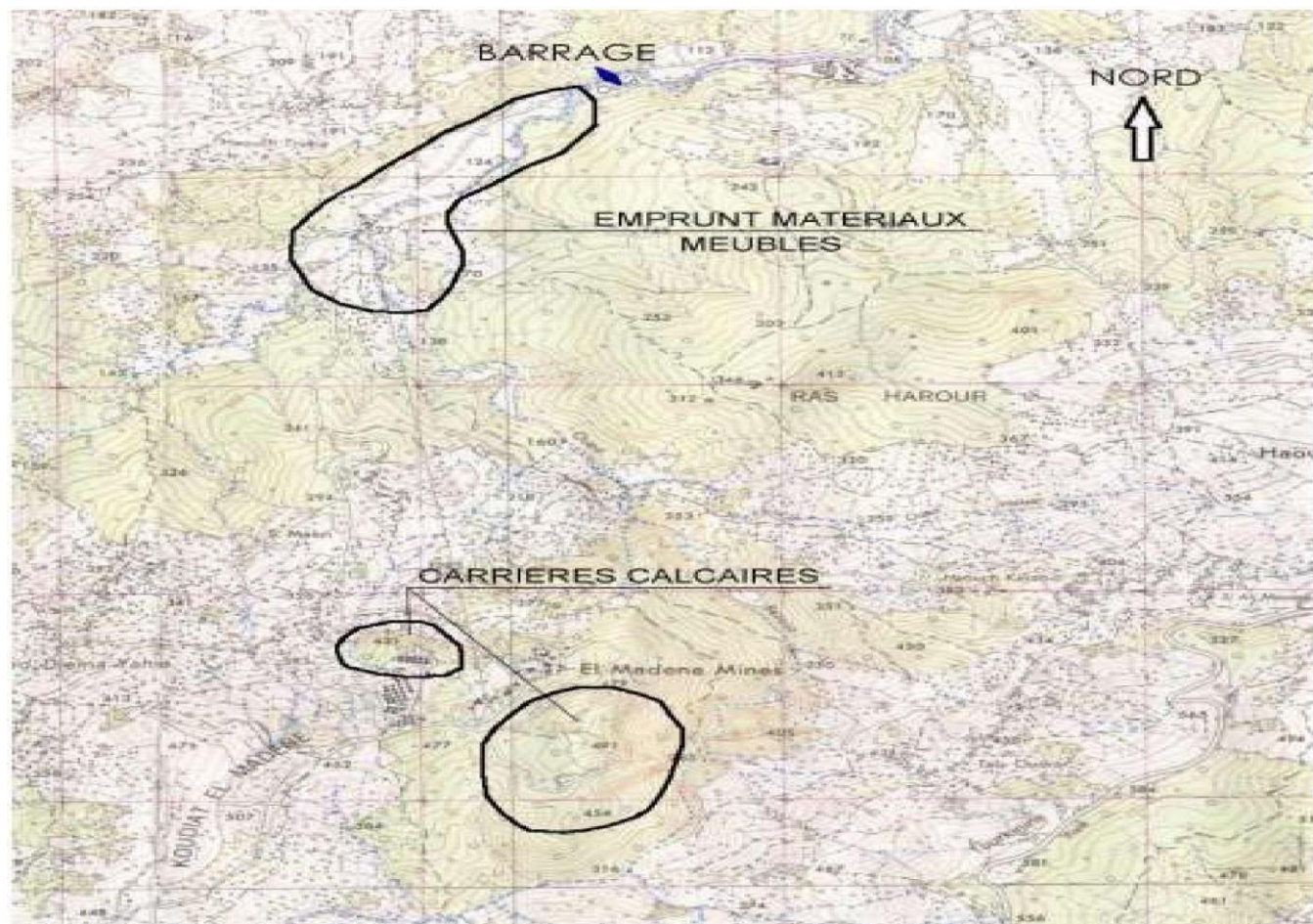


Figure 01 : Zones d'emprunts potentiel

ANNEXE

II

Tableau 01 : Test de Wilcoxon

X	Y	RANG	XUY	ORIGINE	XUY	ORIGINE	RANG
93	26 ₅ 2	1	26 ₅ 2	Y	52 ₅ 8	x	21
75,5	29 ₅ 1	2	29 ₅ 1	Y	53 ₅ 2	Y	22
42	63 ₅ 8	3	29 ₅ 9	Y	55 ₅ 2	Y	23
36,5	75 ₅ 2	4	31 ₅ 7	x	56 ₅ 1	x	24
46,6	58,1	5	35 ₅ 9	Y	57 ₅ 1	Y	25
43,5	57 ₅ 1	6	36 ₅ 1	Y	57 ₅ 2	Y	26
50	44 ₅ 6	7	36 ₅ 5	x	57 ₅ 3	x	27
57,3	55 ₅ 2	8	38 ₅ 7	Y	58	x	28
31 J	42 ₅ 3	9	40	Y	58,1	Y	29
45,5	38 ₅ 7	10	41 ₅ 2	x	59 ₅ 5	x	30
56,1	ANG	11	NE42	X	NE	Y	31
2 59,5	29 ₅ 1	12	42 ₅ 3	Y	63 ₅ 8	Y	32
2 52,8	49 ₅ 5	13	42 ₅ 5	Y	75 ₅ 2	Y	33
6 41,2	42 ₅ 7	14	42 ₅ 7	Y	75 ₅ 5	x	34
58	57 ₅ 2	15	43 ₅ 5	x	93	x	35
	53 ₅ 2	16	44 ₅ 6	Y			
	35 ₅ 9	17	45 ₅ 5	x			
	62 ₅ 5	18	46 ₅ 6	x			
	40	19	49 ₅ 5	Y			
	42 ₅ 5	20	50	x			

Tableau 02: La répartition mensuelle des pluies moyennes interannuelles (mm)

Année	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	Annuel
1973	126,5	27	87,65	172	58,3	161,1	203,8	72	0,5	15,6	0	3,27	927,72
o	n	d	ja	f	32,1m	a	104,8m	j	j	a	0	3,27	616,47
6,5	27	65	172	8,3	1	03,8	72	0,5	5,6	0	6	72	752,4
3,3	3,2	31,5	1,3	32,1	1,7	4,8	8,2	0,2	6,9	0	1	47	544,9
2,6	1	4	57,1	6	92,5	334	7,2	86,1	21,6	6	452,64	2,4	618,01
5,5	7	3,2	5,6	1	8	17,3	5102	935	8	2	252,64	9	589,94
7,5	7,7	2,3	3,2	1,6	34	9,5	4,7	01,4	0,2	1	0	01	647,1
8,2	9	9,4	38	95	4,7	2	35	7,6	2	0	0	419	666,6
1,5	2	4,9	3	2,9	24,5	65,6	230	5,9	1	9	0	0	514,7
0,6	0	2,1	9,1	1	74	4,1	5,6	6,1	0	0	0	0	488
0,9	6,4	3	5	,3	8,5	30	29,5	6	9	0	0	0	803,2
0	8,4	9,9	73114	4,5	9,5	3,6	35,8	7,9	4	018	0	0	651,8
9,1	538	46	141	90,2	6,6	03,3	7,4	2	1,8	0	0	2	679
2,9	519	14	6	5,2	6,7	5,1	6,5	0,5	18	838	0	0	447,8
38	1,7	2,3	76	80,7	6,9	0,7	2	2,2	6,1	0	0	0	552,2
19	3,1	84	1,9	0,8	1,6	0	1,3	1,4	38	012	0	0	314,6
4,2	4	6,5	6,4	,6	1,3	24,3	6,7	0,4	433	0	0	2	465,9
4,2	6,9	23,3	8,8	4	0	1,7	47,3	53,8	12	2	0	0	748,2
1,5	2	3,1	107	95	224	86	7,3	33	4,2	0	1	0	476,5
5,8	8,9	3	7,1	44,7	9,6	7,8	0	3,5	0	7	0	823,27	506,57
2	4,8	0,9	0,8	24	2,7	18,9	3,1	38,3	0	1	0	5	790,8
6,6	73	32	1,6	8,8	3,2	023	711	0	1,2	0	7	57	320,7
5,1	9,3	5,1	90,3	87,5	0,6	5,3	9,4	6,8	362	8	0	8	820,4
4,9	0,9	1,4	34,9	5,2	23	11	1,9	6,5	1	7	0	7	601,6
6,5	1,5	4,4	,6	27,4	3,8	4	3,9	3,5	4,9	0	0	0	517,6
2,5	2	6,3	2,3	0,9	92,9	7,7	7	1	5	0	0	0	412,9
1,5	1	0	8,8	1,8	2,1	2,5	9,3	9,5	014	0	0	7,6	309,7
9,2	3,9	2,1	51,9	40,4	57,9	0,2	4,4	2,9	0	2	0	0	845
6,8	1,1	4,1	7,9	,6119	23,8	3,3	6,4	14	0	0	6	0	683,4
0,5	2	2,4	7,3	25,1	26,9	0,5	7,6	4,5	2	0	0	0	519,8
3,2	9,1	6,9	119	4,9	52,5	48,6	9,5	6	0	0	0	4	567
5,4	3	3,6	9,2	,6	6	8,5	24,1	1,5	0	0	0	0	540,9
4,8	9,1	79,3	80,8	,4	3,8	8,6	3,3	79	0	0	9	0	651,2
7,6	6,5	6,4	173	3,5	52,8	7,7	9,1	4,7	8,4	0	0	0	605,8
7,6	34,9	9,5	102	13,6	1,2	0,6	8,3	8,2	0,8	4,5	0	1,2	570,2
	2 2 , 4 5 , 5	36,6	915	47,5	38	53,2	60,7	14,6	44,27 0	8,38 0	2,64 0	5,83,27	593,39

Tableau 03 : Pluie maximales journalières

P J Max (mm)	sept	Oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1973	93	18,7	33,19	43,5	44,3	32,5	66,3	16,3	0,5	11	0	3,4	93
1974	9,3	25,2	75,5	10,3	17,4	25,1	32	11,6	26,9	20,4	0	3,4	75,5
1975	18,6	16,6	33,2	24,1	42	41,5	11	9,4	24,9	14,5	4,5	4,5	42
sep	c	nov	ec	anv	fev	mars	avr	mai	uin	3,8	1a	nu	36,5
1977	7,5	7,7	37,6	1,7	24	13	18	46,6	41,2	4,6	2,06	3,4	46,6
93	87	3,19	435	443	325	663	163	0,5	11	2	2,06	3	43,5
93	252	755	103	174	51	32	116	69	204	1	0	5,8	50
186	66	32	241	42	15	11	9,4	249	145	0	0	42	57,3
8 1981	211	20	73	115	103	131	365	59	38	6	0	60	31,7
82	8,0	333	66	298	356	435	105	3,9	2	2	0	3,0	45,5
83	151	302	361	28	186	357	50	0,3	1	1	0	0	56,1
06	11	446	573	25	10	191	168	46	0	18	16,8	17,0	59,5
09	195	3	317	265	279	125	93	52	6	24,6	0	17	52,8
1987	15,6	20,6	31	20,2	10,1	14,1	41,2	11,1	17,6	16,3	0	0	41,2
1988	17	51	387	55	221	114	152	33	47	3,2	0	50	58
13,7	61	198	346	261	193	5,0	3	17	1	12	19,7	6,0	26,2
314	04	8,8	251	126	263	95	14	0,5	18	4,2	0	95	29,1
314	195	299	528	64	226	3,9	2	47	246	2,2	5	2,0	63,8
156	02	31	202	101	141	412	111	76	63	0	1	1 ⁰	75,2
29	6,2	567	58	153	123	182	3	73	2	1,2	0	58	58,1
15	8	135	282	291	26	191	132	26	42	33,2	2,52	91	57,1
511	375	207	29	38	06	296	324	335	22	5,9	2,7	63,8	44,6
2 1997	378	752	128	135	222	126	19	23	0	4,9	0	52	55,2
18,1	412	56	377	81	196	0	226	0	12	2,5	0	81	42,3
1999	18,3	22,5	24,9	38,7	11,8	2,1	21,5	12	27,5	0	0	0	38,7
2000	43	217	242	259	571	225	567	11	32	0	0	70	36,1
1 2 9 4 4 6		58	11	15	66	92	323	97	9	0	2,1	44,6	29,9
226	457	552	322	173	361	151	445	52	49	2	0	50	49,5
97	14	374	38	423	384	154	5,1	1	25	0	5,1	2,0	42,7
183	225	249	387	18	2,1	15	12	275	0	0	0	8 ⁰	57,2
92	335	203	257	361	147	0,2	145	15	0	0	0	61	53,2
27	06	215	221	18	89	172	299	9	0	8,4	1,2	9 ⁰	35,9
105	205	375	495	408	325	45	21	138	2	0,8	4,5	90	62,5
242	171	42	222	372	254	62	238	427	0	0	0	20	40
51	265	572	30	32	22	143	103	1	0	10	0	57,2	42,5

Tableau 04 : calcul des pluies à court de courte durée.

periode de retour	10		20		50		100		200		1000		2000		10000	
Frequence	10		5		2		1		0.5		0.1		0.05		0.01	
Pmax,p(%)	67.92		75.98		86.4		94.21		102.001		120.031		129		147	
T (h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)	Pmax,p% (mm)	I(mm/h)
0.5	7.89	15.79	8.83	17.66	10.04	20.08	10.95	21.90	11.85	23.71	13.95	27.90	14.99	29.98	17.08	34.16
1	11.60	11.60	12.98	12.98	14.76	14.76	16.10	16.10	17.43	17.43	20.51	20.51	22.04	22.04	25.11	25.11
2	17.06	8.53	19.08	9.54	21.70	10.85	23.66	11.83	25.62	12.81	30.15	15.07	32.40	16.20	36.92	18.46
3	21.37	7.12	23.91	7.97	27.19	9.06	29.65	9.88	32.10	10.70	37.77	12.59	40.59	13.53	46.26	15.42
4	25.08	6.27	28.06	7.01	31.91	7.98	34.79	8.70	37.67	9.42	44.32	11.08	47.64	11.91	54.28	13.57
5	28.39	5.68	31.76	6.35	36.12	7.22	39.38	7.88	42.64	8.53	50.18	10.04	53.93	10.79	61.45	12.29
6	31.42	5.24	35.15	5.86	39.97	6.66	43.59	7.26	47.19	7.87	55.53	9.26	59.68	9.95	68.01	11.33
7	34.24	4.89	38.30	5.47	43.55	6.22	47.49	6.78	51.41	7.34	60.50	8.64	65.02	9.29	74.10	10.59
8	36.87	4.61	41.25	5.16	46.91	5.86	51.15	6.39	55.38	6.92	65.16	8.15	70.03	8.75	79.81	9.98
9	39.37	4.37	44.04	4.89	50.08	5.56	54.61	6.07	59.12	6.57	69.58	7.73	74.77	8.31	85.21	9.47
10	41.74	4.17	46.70	4.67	53.10	5.31	57.90	5.79	62.69	6.27	73.77	7.38	79.29	7.93	90.35	9.03
11	44.02	4.00	49.24	4.48	55.99	5.09	61.05	5.55	66.10	6.01	77.79	7.07	83.60	7.60	95.27	8.66
12	46.20	3.85	51.68	4.31	58.77	4.90	64.08	5.34	69.38	5.78	81.64	6.80	87.74	7.31	99.99	8.33
13	48.30	3.72	54.03	4.16	61.44	4.73	67.00	5.15	72.54	5.58	85.36	6.57	91.74	7.06	104.54	8.04
14	50.33	3.60	56.31	4.02	64.03	4.57	69.81	4.99	75.59	5.40	88.95	6.35	95.60	6.83	108.93	7.78
15	52.30	3.49	58.51	3.90	66.53	4.44	72.54	4.84	78.54	5.24	92.43	6.16	99.33	6.62	113.19	7.55
16	54.21	3.39	60.64	3.79	68.96	4.31	75.20	4.70	81.41	5.09	95.80	5.99	102.96	6.44	117.33	7.33
17	56.07	3.30	62.72	3.69	71.33	4.20	77.77	4.57	84.20	4.95	99.09	5.83	106.49	6.26	121.35	7.14
18	57.88	3.22	64.75	3.60	73.63	4.09	80.28	4.46	86.92	4.83	102.29	5.68	109.93	6.11	125.27	6.96
19	59.65	3.14	66.73	3.51	75.88	3.99	82.73	4.35	89.58	4.71	105.41	5.55	113.29	5.96	129.09	6.79
20	61.37	3.07	68.66	3.43	78.07	3.90	85.13	4.26	92.17	4.61	108.46	5.42	116.56	5.83	132.83	6.64
21	63.06	3.00	70.54	3.36	80.22	3.82	87.47	4.17	94.70	4.51	111.44	5.31	119.77	5.70	136.48	6.50
22	64.71	2.94	72.39	3.29	82.32	3.74	89.76	4.08	97.18	4.42	114.36	5.20	122.91	5.59	140.06	6.37
23	66.33	2.88	74.20	3.23	84.38	3.67	92.01	4.00	99.62	4.33	117.22	5.10	125.98	5.48	143.56	6.24
24	67.92	2.83	75.98	3.17	86.40	3.60	94.21	3.93	102.00	4.25	120.03	5.00	129.00	5.38	147.00	6.13

Tableau 05 : Série des débits max journalier en m³/s

ANNEE	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel	anuel transposé
1976 -1977	0,00	0,78	0,47	4,39	1,05	2,63	0,25	1,80	0,17	0,11	0,00	0,00	4,39	3,20
1979 -1980	0,14	0,80	2,45	3,58	6,85	0,36	2,39	6,46	6,03	0,01	0,00	0,00	6,85	5,00
1980 -1981	0,00	0,00	0,00	29,63	81,72	1,88	2,41	0,84	8,52	0,00	0,00	0,00	81,72	59,66
1981 -1982	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52	4,22	0,00	0,00	1,65	0,00	0,00	0,00	4,22	3,08
1982 -1983	0,00	1,13	4,67	6,51	0,00	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,51	4,75
sept -1986o	0,03	0,35d	j	1,83	1,32m	2,59a	11,91m	0,18 j	0,07	0,02a	an	a		transp8,69
0,00 0	0,000	0,274	0,251	0,21	0,480	0,191	4,820	0,000	0,020	0,000	0,004	0,00	20	3,52
0,14 0	0,102	0,003	0,056	0	0,812	0,206	0,186	5,350	0,150	0,000	0,006	0,00	5,00	10,59
0,00 0	0,000	2	8	0,001	0,002	0,000	0,008	0,000	1,430	0,000	8	0,00	9,66	1,04
0,00 0	0,000	0,000	0,331	0,71	0,870	0,190	1,81	0,390	0,420	0,000	0,004	0,00	08	1,32
0,00 1	0,004	0,006	0,580	0,71	0	0,580	0,070	0,130	0,000	0,000	0,006	0,00	4,75	9,16
0,03 0	0,004	0,001	0,721	2	1	0,01	0,01	0,21	0,000	0,000	1	0,00	8,69	13,34
0,00 0	0,000	0,000	0,270	0,180	6,904	0,540	0,420	0,000	0,000	0,000	0,004	0,00	52	5,04
0,10 0	0,000	1	0,000	0,000	0,040	0,005	0,050	0,700	0,000	0,000	1	0,00	0,59	0,51
0,00 0	0,000	0,000	1,41	0	0	9,720	0,991	0	0,390	0,000	0,001	0,00	1,04	11,05
0,00 0	0,000	0,000	0,000	0,960	4,091	0,060	4,81	0,960	0	0,550	0,001	0,00	1,32	11,90
0,00 0	0,000	0,000	1	4,470	4,890	7,680	1,570	0,530	0,100	0,000	1	0,00	16	5,61
0,00 0	0,000	1	0,000	1,460	6,380	8,020	1,900	0,01	5,01	0,01	1	0,00	3,34	5,85
0,00 0	0,000	8,080	6	1,720	0,760	0,170	4,680	6,880	0,320	0,040	0,006	0,00	5,04	9,82
0,00 0	0,000	0,350	4,81	8,120	5,31	0,400	0,290	2,31	0,31	0,000	0,000	0,00	51	5,93

Tableau 06: Série des Apport mensuelle (Mm3)

ANNEE	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1976.1977	0,00	0,08	0,20	0,75	0,37	0,23	0,06	0,63	0,16	0,16	0,00	0,00	2,62
1979.1980	0,04	0,18	1,42	0,90	1,73	0,23	0,55	0,86	0,64	0,01	0,00	0,00	6,57
1980.1981	0,00	0,00	0,00	5,22	7,75	0,80	0,74	0,46	0,90	0,00	0,00	0,00	15,86
1981.1982	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	1,50	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	2,19
1982.1983	0,00	0,34	2,60	2,00	0,00	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,66
1985.1986	0,00	0,03	0,74	0,22	0,23	0,65	3,54	0,22	0,07	0,02	00,00	0,00	5,73
1987.1988	0,00	0,04	0,05	0,04	0,09	0,04	0,55	0,00	0,00	0,00	00,00	0,00	0,82
1988.1989	0,01	0,00	0,01	2,15	0,24	0,06	0,02	0,79	0,05	0,00	00,00	0,00	3,33
1989.1990	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	00,00	0,00	0,24
1992.1993	0,00	0,00	0,07	0,38	0,30	0,17	1,05	0,24	0,17	0,00	00,00	0,00	2,38
1993.1994	0,00	0,00	0,14	0,61	1,69	0,29	2,10	0,07	0,00	0,00	00,00	0,00	2,90
1998.2000	0,00	0,00	0,09	5,54	0,07	0,01	0,00	0,07	0,00	0,00	00,00	0,00	5,79
001	0,00	0,00	0,16	4,09	1,72	2,17	9,07	5,00	0,00	0,00	00,00	0,00	2,21
000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	4,10	0,00	0,00	00,00	0,00	0,12
000 2002.2003	0,00	0,00	0,36	0,34	7,12	5,02	4,84	7,59	0,20	0,00	00,00	0,00	13,47
000 2003.2004	0,00	0,00	0,00	9,19	1,05	0,02	1,12	0,51	2,67	0,30	00,00	0,00	5,87
000 2004.2005	0,00	0,00	0,34	1,34	1,67	1,77	1,01	0,36	0,03	0,00	00,00	0,00	6,51
000 2005.2006	0,00	0,00	0,00	2,24	1,50	7,33	0,64	0,00	0,85	0,00	00,00	1,00	5,56
000 2007.2008	0,00	1,12	3,11	1,83	0,41	1,12	1,49	1,05	0,19	0,02	00,00	0,00	8,33
000 2008.2009	0,00	0,06	0,89	1,33	1,99	4,35	9,22	0,67	0,11	0,00	00,00	0,00	5,62
000 Somme mensuelle 0	0,06	1,84	10,16	5,25,18	2,24,36	2,12,49	1,12,03	7,8,61	0,6,53	0,0,51	00,00	0,00	101,78
000 MOYENNE MENSUELLE 00	0,09	0,51	0,51	1,26	1,22	1,0,62	6,0,60	3,0,43	0,0,33	0,0,03	00,00	1,0,00	5,09
MOYENNS000TRANSPOSEE 000	0,068	0,068	0,376	00,932	30,901	40,462	00,445	50,319	00,242	00,019	00,000	0,000	3,766
000 POURCENTAGE (%)	0,059	1,812	9,987	41,24,738	23,935 2	49,12,273	11,817 5	9,8,462	2,6,416	0,0,501	00,001	0,000	100,000

Tableau 07 : hydrogramme de crue

periode de retour	2	5	10	20	50	100	500	1000	10000
frequence	50	20	10	5	2	1	0,2	0,1	0,01
Qmax, p‰ (m3/s)	5,43	12,9	20,3	29,5	44,9	59,5	105	131	249
Temps (h)	Q monté								
0,5	0,07	0,17	0,27	0,39	0,59	0,78	1,38	1,72	3,27
1	0,29	0,68	1,07	1,55	2,36	3,13	5,52	6,89	13,10
1,5	0,64	1,53	2,40	3,49	5,31	7,04	12,43	15,51	29,47
2	1,14	2,71	4,27	t,	9,45	12,52	22,09	27,57	52,39
2,5	0,17	0,27	0,39	0,59	0,78	1,38	1,72	3,27	81,87
3	0,68	1,07	1,55	2,36	3,13	5,52	6,89	13,10	117,89
3,5	1,53	2,40	3,49	5,31	7,04	12,43	15,51	29,47	160,46
4	2,71	4,27	6,21	9,45	12,52	22,09	27,57	52,39	209,58
4,36	4,24	667	970	476	9,56	452	07	87	249
5	6,11	9,61	13,97	21,26	28,17	49,71	62,02	117,89	198,10
5,5	8,31	3,08	19,01	28,93	38,34	67,66	84,42	60,46	163,55
6	0,86	7,09	24,83	37,79	50,08	88,38	10,26	09,58	133,28
6,5	12,9	20,3	29,5	44,9	59,5	105	131	249	106,99
7	0,26	6,15	3,47	35,72	47,34	83,54	04,22	98,10	84,40
7,5	8,47	3,33	9,38	9,49	39,08	68,97	86,05	63,55	65,25
8	6,90	0,87	5,79	4,03	1,85	56,20	70,12	33,28	49,23
8,5	5,54	8,72	2,68	9,29	5,56	5,11	56,29	06,99	36,08
9	4,37	6,88	0,00	5,22	0,17	5,59	44,41	84,40	25,51
9,5	3,38	5,32	7,73	1,77	5,59	7,51	4,33	5,25	17,23
10	2,55	4,01	5,83	8,88	1,76	0,76	5,90	9,23	10,97
10,5	1,87	2,94	4,27	6,51	8,62	5,21	8,98	6,08	6,45
11	1,32	2,08	3,02	4,60	6,09	0,76	3,42	5,51	3,38
11,5	0,89	1,40	2,04	3,11	4,12	7,27	9,07	7,23	1,48
12	0,57	0,89	1,30	1,98	2,62	4,63	5,77	0,97	0,47
12,5	0,33	0,53	0,76	1,16	1,54	2,72	3,39	6,45	0,07
13,08	0,18	0,28	0,40	0,61	0,81	1,43	1,78	3,38	0,00

Tableau 08 : calcul des courbes caractéristiques.

COURBE	SUR m²	vol m3	SURF Km2	vol hm3
120	8166,7287	27222,429	Q00816673	0,02722243
125	45701,3218	161892,555	0,04570132	0,16189256
130	108861,337	548299,203	0,10886134	0,5482992
243 135	187502,968	1289209,97	0,18750297	1,28920997
256 140	290824,469	2485028,56	0,29082447	2,48502856
992 145	449139,618	4334938,78	0,44913962	4,33493878
997 150	568234,882	6878375,03	0,56823488	6,87837503
856 155	726239,552	10114561,1	0,72623955	10,1145611
878 160	859627,058	14079227,6	0,85962706	14,0792276
503 165	1016770,91	18770222,6	1,01677091	18,7702226
611 170	1162058,26	24217295,5	1,16205826	24,2172955
276 175	1320809,33	30424464,5	1,32080933	30,4244645
226 180	1535735,93	37565827,6	1,53573593	37,5658276
955 185	1734087,32	45740385,8	1,73408732	45,7403858
645 190	1940173,74	54926038,4	1,94017374	54,9260384
276 195	2125233,11	65089555,6	2,12523311	65,0895556
858 200	2316130,71	76192965,1	2,31613071	76,1929651
205 205	2671308,83	88661563,9	2,67130883	88,6615639
218 210	2982824,59	102796897	2,98282459	102,796897
215 215	3271730,72	118433286	3,27173072	118,433286
639 220	3558081,62	135507817	3,55808162	135,507817
225 225	3825358,55	153966417	3,82535855	153,966417
238 230	4382649,51	174486437	4,38264951	174,486437
235 235	4519367,88	196741481	4,51936788	196,741481
417 240	4704149,91	219800275	4,70414991	219,800275
245 245	5362613,64	244967184	5,36261364	244,967184
405 250	5885060,14	273086368	5,88506014	273,086368

Tableau 09 : régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes

mois	A 80%	U80%	A80%-U80%	Vsi Vdi		1 ere consigne			2 eme consigne		
						Vrf	Vri	S	Vrf	Vri	S
octobre	4,66	1,6	3,06	Vs1	Vrf,99	4,65	1,59		-6,56		8,15
							4,65	0	-3,5	-3,5	
novembre	5	0,08	4,92			9,57	9,57	0	1,42	1,42	
décembre	6,01	0,08	5,93			15,5	15,5	0	7,35	7,35	
janvier	5,96	0,08	5,88			21,38	21,38	0	13,23	8,153	
février	4,83	0,10	4,76			26,14	23,43	2,71	17,99	17,99	
mars	5,25	1,49	3,65			27,08	23,43	3,65	21,64	21,64	
avril	4,91	3,13	1,79			25,22	23,43	1,79	23,43	23,43	
mai	4,93	5,8	-0,22			23,21	23,21	0	23,21	23,21	
juin	4,44	7,17	-3,25			19,96	19,96	0	19,96	19,96	
juillet	4,55	11,75	-7,2	Vd1	21,84	12,76	12,76	0	12,76	12,76	
août	4,55	12,79	-8,21			4,55	4,55	0	4,55	4,55	
septembre	4,41	7,02	-2,96			1,59	1,59	0	1,59	1,59	

Tableau 10 : Pertes par évaporation et infiltration (1ere approximation)

	Vmoy (Mm3)	S _{moy} (km2)	Ev (m)	Vev (Mm3)	Vinf (Mm3)	TI =Vinf +Vev (Mm3)	V80%+TI (Mm3)
octobre	3,12	0,34	0,103	0,03502	0,0312	0,06622	1,67
Mois novembre	7,11	0,58	0,06	0,0348	0,0711	0,1059	0,19
décembre	12,535	0,81	0,044	0,03564	0,12535	0,16099	0,24
Janvier	13,12	0,81	0,044	0,03564	0,12535	0,16099	0,24
Février	11,12	0,58	0,06	0,0348	0,0711	0,1059	0,19
Mars	5,35	0,34	0,103	0,03502	0,0312	0,06622	1,67
Avril	4,11	0,34	0,103	0,03502	0,0312	0,06622	1,67
Mai	4,05	1,11	0,064	0,03564	0,21585	0,4284	8,12
Juin	3,43	0,14	0,101	0,020646	0,1636	0,37006	12,12
Juillet	3,14	0,14	0,129	0,11256	0,08655	0,19911	12,96
Août	23,32	13	166	0,04998	0,0307	0,08068	7,45

Tableau 11 : Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes (1ère approximation)

mois	A 80%	U80%	A80%-U80%	Vsi Vdi		1 ere consigne			2 eme consigne		
						Vrf	Vri	S	Vrf	Vri	S
octobre	4,66	1,67	2,99	Vs	28,40	4,58	1,59			-3,47	5,06
novembre	5	0,19	4,81				4,58		-0,48	-0,47679	
decembre	0,01	80%	5,77			9,40	9,40		4,34	4,33731	
janvier	6,96	0,3 ²	5,65			59	15,17		i	S	
février	1,83	0,34'	4,46			58	20,82		47	5,06	
mars	2,25	1,95	3,30								
avril	3,19	3,55	1,41			4 0	24,93	4	731	20,21983	
mai	3,93	5,54'	-0,64			1 7	24,93	1	0632	23,52039	
juin	9,44	8,1 ³	-3,68								
juillet	5,55	12,17	-7,57			82	24,93	5	5492	24,92903	
août	5,55	12,90	-8,41	Vd	23,34	93	35		1983	24,28825	
septembre	1,41	7,43	-3,04			93	30		2039	20,60985	
						93	4 1		2903	13,03979	
						29	4,63		8825	4,63068	
						61	1,59		985	1,59	

Tableau 12 : Pertes par évaporation et infiltration (2eme approximation)

	Vmoy (Mm3)	\$moy (km2)	Ev (m)	Vev (Mm3)	Vinf (Mm3)	TI =Vinf +Vev (Mm3)	V80%+TI (Mm3)
octobre	3,085	0,3422	0,103	0,0352466	0,03085	0,0660966	1,67
Mois novembre	6,98894	0,57	0,06	0,0342	0,0698894	0,1040894	0,18
décembre	12,282385	0,8	0,044	0,0352	0,12282385	0,15802385	0,24
γ (Mm3)	moy (km2)	m1	Vev		π	γU	0,31
085	0,3422	103	0,0	0,07168	0,22872745	0,30040745	0,37
8894	,57	06	0	0,11918	0,2493	0,36848	1,97
8238	0,8	044	0	0,15222	0,2493	0,40152	3,52
ma	24,60961 1	047	0,166 0	0,19422	0,2460961	0,4403161	5,59
274	1,12,45002	064	0,	0,21645	0,2245002	0,4409502	8,13
4,93	1,18	101	0,	0,2109	0,1682579	0,3791579	12,13
9août	1,18	129	0,	0,13266	0,08836205	0,22102205	12,98
4,60961	1,17	166	0,	0,04998	0,0311131	0,0810931	7,45

Tableau 13 : Régularisation saisonnière en tenant compte des pertes (2ème approximation)

mois	A 80%	U80%	A80%-U80%	Vsi	Vd
octobre	4,66	1,67	2,99	Vs	Vf
novembre	5	0,18	4,82		
décembre	6,01	0,24	5,77		
janvier	5,96	0,31	5,65		
fevrier	7,83	0,39	4,46		
mars	8,25	1,98	3,28		
avril	4,91	3,57	1,39		
mai	1,93	5,56	-0,66	Vd	23
juin	7,44	8,14	-3,69		
juillet	7,55	12,32	-7,58		
août	2,55	12,13	-8,43		
septembre	9,41	7,10	-3,04		

1 ere consigne			2 eme consigne		
Vrf	Vri	S	Vrf	Vri	S
4,58	1159			-3,37	4,96
	4,58		-0,38	-0,38	
9,40	9,40		4,44	4,44	
15,17	15,17		10,21	10,21	
20,82	20,82		37	6	
25,28	24,99	8	38	20,32	
28,27	24,99	3,28	4	23,60	
26,38	24,99	1	21	24,99	
24,33	24,33		86	24,33	
20,64	20,64		32	20,64	
13,06	13,06		60	13,06	
4,63	4,63		9	4,63	
3	1,59		3	1,59	

Tableau 14 : calcul des débits déversant pour b = 30 m

cote	Hd	q m3/s	0,5q*dt	v(h)	v+0,5*q*dt
170,62	0	0,00	0,00	24980000	24980000,00
170,82	0,2	5,82	5241,48	25230000	25235241,48
171,02	0,4	16,47	14825,16	25480000	25494825,16
171,22	0,6	30,26	27235,55	25730000	25757235,55
171,42	0,8	46,59	41931,88	25980000	26021931,88
171,62	1	65,11	58601,58	26220000	26278601,58
171,82	1,2	85,59	77033,78	26470000	26547033,78
172,02	1,4	107,86	97073,66	26720000	26817073,66
172,22	1,6	131,78	80000,00	26970000	27088601,26
172,42	1,8	157,80	35241,48	27220000	27361520,09
172,62	2	184,80	94825,16	27460000	27625750,31
172,82	2,2	214,30	57235,55	27710000	27901224,43
173,02	2,4	249,80	21931,88	27960000	28177884,44
173,22	2,6	278,00	78601,58	28210000	28455679,75

Algorithme de calcul avec MATLAB

```

dt=1800;
z=[24980000.00
25231747.16
25484941.72
25739078.52
25993977.29
26239533.86
26495677.93
26752357.89
27009533.75
27267173.36
27515250.10
27773741.48
28032628.15
28291893.25];
q=[0.00
1.94
5.49
10.09
15.53
21.70
28.53
35.95
43.93
52.41
61.39
70.82
80.70
90.99];
M=zeros (200, 6);
M(1:27,1)=[
0.00
3.27
13.10
29.47
52.39
81.87
117.89
160.46
209.58
249.00
198.10
163.55
133.28
106.99
84.40
65.25
49.23
36.08
25.51
17.23
10.97
6.45
3.38
1.48
0.47
0.07
0.00
];
M(1:26,2)=[1.64
8.19

```

```

21.29
40.93
67.13
99.88
139.17
185.02
229.29
223.55
180.83
148.41
120.13
95.69
74.82
57.24
42.65
30.79
21.37
14.10
8.71
4.91
2.43
0.98
0.27
0.04
];
M(1,5)=24980000;
M(1,6)=0;
M(1,3)=M(1,2)-M(1,6);
M(1,4)=dt*M(1,3);
for i=2:200
M(i,5)=M(i-1,5)+M(i-1,4);
M(i,6)=interp1(z,q,M(i,5));
M(i,3)=M(i,2)-M(i,6);
M(i,4)=dt*M(i,3);
if M(i,6)*10000<1
k=i;
break;
end
end

A=M(1:k,:);

```


**Résultat de calcul de laminage
par la méthode de
HILDENBLAT**

Q	Qbar	Qbar-q	(Qbar-q)*dt	v+0.5d*dt	q(m ³ /s)
0	1.64	1.64	2952	2.498e+007	0
3.27	8.19	8.1227	14621	2.4983e+007	0.067311
13.1	21.29	20.889	37601	2.4998e+007	0.40069
29.47	40.93	39.672	71409	2.5035e+007	1.2581
52.39	67.13	64.244	1.1564e+005	2.5107e+007	2.8863
81.87	99.88	94.357	1.6984e+005	2.5222e+007	5.5231
117.89	139.17	126.92	2.2845e+005	2.5392e+007	12.254
160.46	185.02	161.94	2.915e+005	2.5621e+007	23.075
209.58	229.29	189.48	3.4107e+005	2.5912e+007	39.809
249	223.55	160.28	2.8851e+005	2.6253e+007	63.268
198.1	180.83	95.656	1.7218e+005	2.6542e+007	85.174
163.55	148.41	49.07	88325	2.6714e+007	99.34
133.28	120.13	13.506	24310	2.6802e+007	106.62
106.99	95.69	-12.992	-23385	2.6826e+007	108.68
84.4	74.82	-31.881	-57385	2.6803e+007	106.7
65.25	57.24	-44.728	-80511	2.6746e+007	101.97
49.23	42.65	-52.679	-94821	2.6665e+007	95.329
36.08	30.79	-56.719	-1.0209e+005	2.657e+007	87.509
25.51	21.37	-58.206	-1.0477e+005	2.6468e+007	79.576
17.23	14.1	-57.482	-1.0347e+005	2.6363e+007	71.582
10.97	8.71	-55.055	-99100	2.626e+007	63.765
6.45	4.91	-51.705	-93069	2.6161e+007	56.615
3.38	2.43	-47.469	-85445	2.6068e+007	49.899
1.48	0.98	-43.168	-77703	2.5982e+007	44.148
0.47	0.27	-39.085	-70352	2.5905e+007	39.355
0.07	0.04	-34.974	-62954	2.5834e+007	35.014
0	0	-31.13	-56035	2.5771e+007	31.13
0	0	-28.057	-50502	2.5715e+007	28.057
0	0	-25.403	-45725	2.5665e+007	25.403
0	0	-23	-41400	2.5619e+007	23
0	0	-20.824	-37484	2.5578e+007	20.824
0	0	-18.854	-33938	2.554e+007	18.854
0	0	-17.071	-30728	2.5506e+007	17.071

Q	Qbar	Qbar-q	(Qbar-q)*dt	v+0.5d*dt	q(m3/s)
0	0	-15.679	-28221	2.5476e+007	15.679
0	0	-14.521	-26137	2.5447e+007	14.521
0	0	-13.448	-24207	2.5421e+007	13.448
0	0	-12.455	-22419	2.5397e+007	12.455
0	0	-11.535	-20764	2.5375e+007	11.535
0	0	-10.684	-19230	2.5354e+007	10.684
0	0	-9.8945	-17810	2.5335e+007	9.8945
0	0	-9.1638	-16495	2.5317e+007	9.1638
0	0	-8.4871	-15277	2.53e+007	8.4871
0	0	-7.8603	-14149	2.5285e+007	7.8603
0	0	-7.2799	-13104	2.5271e+007	7.2799
0	0	-6.7422	-12136	2.5258e+007	6.7422
0	0	-6.2443	-11240	2.5246e+007	6.2443
0	0	-5.7995	-10439	2.5234e+007	5.7995
0	0	-5.5615	-10011	2.5224e+007	5.5615
0	0	-5.3332	-9599.8	2.5214e+007	5.3332
0	0	-5.1144	-9205.8	2.5204e+007	5.1144
0	0	-4.9044	-8828	2.5195e+007	4.9044
0	0	-4.7031	-8465.7	2.5186e+007	4.7031
0	0	-4.5101	-8118.2	2.5178e+007	4.5101
0	0	-4.325	-7785	2.517e+007	4.325
0	0	-4.1475	-7465.5	2.5162e+007	4.1475
0	0	-3.9773	-7159.1	2.5154e+007	3.9773
0	0	-3.814	-6865.2	2.5147e+007	3.814
0	0	-3.6575	-6583.5	2.514e+007	3.6575
0	0	-3.5074	-6313.3	2.5134e+007	3.5074
0	0	-3.3634	-6054.1	2.5128e+007	3.3634
0	0	-3.2254	-5805.7	2.5121e+007	3.2254
0	0	-3.093	-5567.4	2.5116e+007	3.093
0	0	-2.966	-5338.9	2.511e+007	2.966
0	0	-2.8443	-5119.7	2.5105e+007	2.8443
0	0	-2.7276	-4909.6	2.51 e+007	2.7276
0	0	-2.6156	-4708.1	2.5095e+007	2.6156

Q	Qbar	Qbar-q	(Qbar-q)*dt	v+0.5d*dt	q(m3/s)
0	0	-2.5083	-4514.9	2.509e+007	2.5083
0	0	-2.4053	-4329.6	2.5085e+007	2.4053
0	0	-2.3066	-4151.9	2.5081e+007	2.3066
0	0	-2.2119	-3981.5	2.5077e+007	2.2119
0	0	-2.1211	-3818	2.5073e+007	2.1211
0	0	-2.0341	-3661.3	2.5069e+007	2.0341
0	0	-1.9506	-3511.1	2.5066e+007	1.9506
0	0	-1.8705	-3367	2.5062e+007	1.8705
0	0	-1.7938	-3228.8	2.5059e+007	1.7938
0	0	-1.7201	-3096.2	2.5055e+007	1.7201
0	0	-1.6495	-2969.2	2.5052e+007	1.6495
0	0	-1.5818	-2847.3	2.5049e+007	1.5818
0	0	-1.5169	-2730.4	2.5047e+007	1.5169
0	0	-1.4546	-2618.4	2.5044e+007	1.4546
0	0	-1.3949	-2510.9	2.5041e+007	1.3949
0	0	-1.3377	-2407.8	2.5039e+007	1.3377
0	0	-1.2828	-2309	2.5036e+007	1.2828
0	0	-1.2301	-2214.2	2.5034e+007	1.2301
0	0	-1.1796	-2123.4	2.5032e+007	1.1796
0	0	-1.1312	-2036.2	2.503e+007	1.1312
0	0	-1.0848	-1952.6	2.5028e+007	1.0848
0	0	-1.0403	-1872.5	2.5026e+007	1.0403
0	0	-0.99758	-1795.6	2.5024e+007	0.99758
0	0	-0.95664	-1721.9	2.5022e+007	0.95664
0	0	-0.91737	-1651.3	2.502e+007	0.91737
0	0	-0.87972	-1583.5	2.5019e+007	0.87972
0	0	-0.84361	-1518.5	2.5017e+007	0.84361
0	0	-0.80899	-1456.2	2.5015e+007	0.80899
0	0	-0.77579	-1396.4	2.5014e+007	0.77579
0	0	-0.74394	-1339.1	2.5013e+007	0.74394
0	0	-0.71341	-1284.1	2.5011e+007	0.71341
0	0	-0.68413	-1231.4	2.501e+007	0.68413
0	0	-0.65605	-1180.9	2.5009e+007	0.65605

Q	Qbar	Qbar-q	(Qbar-q)*dt	v+0.5d*dt	q(m3/s)
0	0	-0.62912	-1132.4	2.5008e+007	0.62912
0	0	-0.6033	-1085.9	2.5006e+007	0.6033
0	0	-0.57854	-1041.4	2.5005e+007	0.57854
0	0	-0.5548	-998.63	2.5004e+007	0.5548
0	0	-0.53203	-957.65	2.5003e+007	0.53203
0	0	-0.51019	-918.34	2.5002e+007	0.51019
0	0	-0.48925	-880.65	2.5001e+007	0.48925
0	0	-0.46917	-844.5	2.5001 e+007	0.46917
0	0	-0.44991	-809.84	2.5e+007	0.44991
0	0	-0.43145	-776.6	2.4999e+007	0.43145
0	0	-0.41374	-744.73	2.4998e+007	0.41374
0	0	-0.39676	-714.16	2.4997e+007	0.39676
0	0	-0.38047	-684.85	2.4997e+007	0.38047
0	0	-0.36486	-656.74	2.4996e+007	0.36486
0	0	-0.34988	-629.79	2.4995e+007	0.34988
0	0	-0.33552	-603.94	2.4995e+007	0.33552
0	0	-0.32175	-579.15	2.4994e+007	0.32175
0	0	-0.30854	-555.38	2.4994e+007	0.30854
0	0	-0.29588	-532.59	2.4993e+007	0.29588
0	0	-0.28374	-510.73	2.4992e+007	0.28374
0	0	-0.27209	-489.76	2.4992e+007	0.27209
0	0	-0.26092	-469.66	2.4991 e+007	0.26092
0	0	-0.25021	-450.39	2.4991e+007	0.25021
0	0	-0.23994	-431.9	2.4991e+007	0.23994
0	0	-0.2301	-414.17	2.499e+007	0.2301
0	0	-0.22065	-397.17	2.499e+007	0.22065
0	0	-0.2116	-380.87	2.4989e+007	0.2116
0	0	-0.20291	-365.24	2.4989e+007	0.20291
0	0	-0.19458	-350.25	2.4989e+007	0.19458
0	0	-0.1866	-335.87	2.4988e+007	0.1866
0	0	-0.17894	-322.09	2.4988e+007	0.17894
0	0	-0.17159	-308.87	2.4988e+007	0.17159
0	0	-0.16455	-296.19	2.4987e+007	0.16455

Q	Qbar	Qbar-q	(Qbar-q)*dt	v+0.5d*dt	q(m3/s)
0	0	-0.1578	-284.04	2.4987e+007	0.1578
0	0	-0.15132	-272.38	2.4987e+007	0.15132
0	0	-0.14511	-261.2	2.4986e+007	0.14511
0	0	-0.13915	-250.48	2.4986e+007	0.13915
0	0	-0.13344	-240.2	2.4986e+007	0.13344
0	0	-0.12797	-230.34	2.4986e+007	0.12797
0	0	-0.12271	-220.89	2.4985e+007	0.12271
0	0	-0.11768	-211.82	2.4985e+007	0.11768
0	0	-0.11285	-203.13	2.4985e+007	0.11285
0	0	-0.10822	-194.79	2.4985e+007	0.10822
0	0	-0.10377	-186.79	2.4985e+007	0.10377
0	0	-0.099515	-179.13	2.4984e+007	0.099515
0	0	-0.095431	-171.78	2.4984e+007	0.095431
0	0	-0.091514	-164.72	2.4984e+007	0.091514
0	0	-0.087758	-157.96	2.4984e+007	0.087758
0	0	-0.084156	-151.48	2.4984e+007	0.084156
0	0	-0.080702	-145.26	2.4984e+007	0.080702
0	0	-0.07739	-139.3	2.4983e+007	0.07739
0	0	-0.074213	-133.58	2.4983e+007	0.074213
0	0	-0.071167	-128.1	2.4983e+007	0.071167
0	0	-0.068246	-122.84	2.4983e+007	0.068246
0	0	-0.065445	-117.8	2.4983e+007	0.065445
0	0	-0.062759	-112.97	2.4983e+007	0.062759
0	0	-0.060183	-108.33	2.4983e+007	0.060183
0	0	-0.057713	-103.88	2.4983e+007	0.057713
0	0	-0.055344	-99.62	2.4982e+007	0.055344

Remarque : chaque pas représente 0.5 heure

ANNEXE

III



Stabilité pour le cas fin de construction talus aval (R=96.94m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	dli	C*dli	tango	N*tango	dn	a*Gn*dn
-2	9,67	7,94	0	-0,2	0,9798	168,92	-33,78311	165, 50277	9,86940242	0	0	0	93,03	3771,41
-1	9,67	12,15	0	-0,1	0,99499	258,48	-25,84791	257,18346	9,71871567	0	0,67	172, 3129	89,68	5563,3
0	9,67	17,99	0	0	1	382,72	0	382, 71926	9,67	0	0,67	256, 4219	88,69	8146,41
1	9,67	19,86	0	0,1	0,99499	422,5	42, 250164	420, 38382	9,71871567	0	0,67	281, 6572	86,51	8772,15
2	9,67	21,96	0	0,2	0,9798	467,18	93, 435408	457, 73815	9,86940242	0	0,67	306, 6846	86,8	9732,23
3	9,67	23,83	0	0,3	0,95394	506,96	152, 08783	483, 60846	10,1369144	0	0,67	324, 0177	84,44	10273,8
4	9,67	22,19	0	0,4	0,91652	472,07	188, 82802	432, 65936	10, 550835	0	0,67	289, 8818	86,78	9831,9
5	9,67	22,43	0	0,5	0,86603	477,18	238, 58791	413, 24638	11,1659542	0	0,67	276, 8751	86,54	9910,75
6	9,67	17,99	0	0,6	0,8	382,72	229, 63156	306,17541	12,0875	0	0,67	205,1375	89,56	8226,32
7	9,67	11,21	0	0,7	0,71414	238,48	166, 93708	170, 30988	13, 5407084	0	0,67	114,1076	92,43	5290,28
8	9,67	5,37	0	0,8	0,6	114,24	91, 393104	68, 544828	16,1166667	0	0	0	95,21	2610,46
15	15						69,718			012			227,55,8212	

Stabilité pour le cas fin de construction talus aval (R=73.24m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sina	N=Gn*Cosa	dli	C*dli	tango	N*tango	dn	a*Gn*dn
-1	7,32	5,03	0	-0,1	0,99499	81,003	-8,100312	80,597087	7,35687681	0	0	0	69,41	1349,38
0	7,32	9,61	0	0	1	154,76	0	154,75944	7,32	0	0,67	103,6888	66,93	2485,93
1	7,32	11,38	0	0,1	0,99499	183,26	18,326352	182,3449	7,35687681	0	0,67	122,1711	68,56	3015,49
2	7,32	14,04	0	0,2	0,9798	226,1	45,220032	221,53201	7,47094372	0	0,67	148,4264	65,78	3569,49
3	7,32	12,42	0	0,3	0,95394	200,01	60,003504	190,79898	7,673445	0	0,67	127,8353	67,77	3253,15
4	7,32	13,16	0	0,4	0,91652	211,93	84,771456	194,23581	7,98677478	0	0,67	130,138	68	3458,68
5	7,32	11,23	0	0,5	0,86603	180,85	90,42396	156,61889	8,45240794	0	0,67	104,9347	68,14	2957,51
6	7,32	10,49	0	0,6	0,8	168,93	101,35858	135,14477	9,15	0	0,67	90,54699	69,29	2809,25
7	7,32	5,62	0	0,7	0,71414	90,504	63,353136	64,633127	10,2500502	0	0,67	43,30419	70,89	1539,81
242							98987			08		773253		24438,7

71049
79054

Stabilité pour le cas fin de construction talus aval (R=122.1m)

N°Tr	bi	h1	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Si	N=Gn*Cos c	di	C*dli	tango	N*tango	dn	a*Gn*dn
-1	12,21	3,01	-0,1	0,995	80,8546	-8,085	80,449331	12,271512	0	0,67	53,90105	117,37	2277,578
0	12,21	9,06	0	1	243,37	0	243,36972	12,21	0	0,67	163,0577	114,58	6692,473
1	12,21	14,27	0,1	0,995	383,321	38,332	381,39932	12,271512	0	0,67	255,5375	112,81	10378,18
2	12,21	16,78	0,2	0,9798	450,744	90,149	441,63747	12,461779	0	0,67	295,8971	113,32	12258,8
3	12,21	17,45	0,3	0,9539	468,742	140,62	447,15127	12,799558	0	0,67	299,5914	113,95	12819,15
4	12,21	17,45	0,4	0,9165	468,742	187,5	429,60905	13,322202	0	0,67	287,8381	115,34	12975,53
5	12,21	15,7	0,5	0,866	421,733	210,87	365,23184	14,098894	0	0,67	244,7053	114,67	11606,44
6	12,21	10,8	0,6	0,8	290,11	174,07	232,08768	15,2625	0	0,67	155,4987	115,41	8035,572
7	12,21	5,57	0,7	0,7141								117,97	
somme						d			g	kas	aGn027	1,199199	77043,73

Stabilité pour le cas fin de construction talus aval (R=86.33m)

N°Tr	bi	h	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	dli	C*dli	tango	N*tango	dn	a*Gn*dn
-5	8,63	4,14	0	-0,5	0,86603	78,602	-39,30102	68,071363	9,96506565	0	0,67	45,60781	85,07	1604,8
-4	8,63	6,96	4,92	-0,4	0,91652	221,31	-88,52309	202,83188	9,41610196	0	0,67	135,8974	83,85	4453,6
-3	8,63	10,31	7,92	-0,3	0,95394	339,28	-101,7839	323,65232	9,04669814	0	0,67	216,8471	81,58	6642,83
-2	8,63	14,58	10,01	-0,2	0,9798	458,23	-91,64542	448,96904	8,80795687	0	0,67	300,8093	73,68	8102,92
-1	8,63	18,08	11,2	-0,1	0,99499	546,24	-54,62445	543,5064	8,67347635	0	0,67	364,1493	70,48	9239,83
0	8,63	20,85	11,47	0	1	603,73	0	603,72891	8,63	0	0,67	404,4984	70,24	10177,4
1	8,63	24,58	11,61	0,1	0,99499	677,08	67,708391	673,68998	8,67347635	0	0,67	451,3723	73,05	11870,6
2	2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dl	41569	*ditang	0	dn	438, a*	G 6 6 , 5 7	10671,1
4	8,63	-0	0,86	78		0		96506565	0		6 7 1 0 , 6 7	85,07	69,9	11854,3
96	4,9	-0	0,91	22		3		41610196375	0	67	40,67		83,85470,6	13437,4
31	7,9	-	95	33	9 2 8 -	839660,9	323,65232	0668148849	0		6 7 1 0 , 6 7		81,58663	11238
58	10,0	-0	,9	45		8		80795687	10,7875	67	30,67	73,688	2	11410,9
08	11	-0	99		54624-54,	6 2 4 4 5	54350648831	67347635965	12,00844171	67	30,67	70,489	3	10279,9
85	11,4	21,55	0	60	3	0,6	409,150	603,72891	245,8,63	14,03833333	67	40,67	70,24104	7836,99
58	11,6	11,6	99		6770867,7		08916736898	67347635984	19,07985778	67	30,67	73 051	6	4488,62

37,57							26,83795			4		70,61		133309
-------	--	--	--	--	--	--	----------	--	--	---	--	-------	--	--------

0,20 74,911
8,53 76,321

Stabilité pour le cas fin de construction talus aval (R=122.6m)

NOTÉ	bi	hi	h2	h3	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*cos a	dli	C*dli	tango	N*tango	dn	a*Gn*dn
-3	12,6	4,47	0	0	-0,3	0,9539	123,9084	-37,17252	118,20108	13,2084	0	0,67	79,19472	120,07	3570,64358
-2	12,6	11,1	0	0	-0,2	0,9798	307,692	-61,5384	301,475359	12,8598	0	0,67	201,9885	118,12	8722,69897
-1	12,6	14,57	0	1,67	-0,1	0,995	448,0686	-44,80686	445,822628	12,6635	0	0,67	298,7012	115,15	12382,8238
0	12,6	19,76	0	2,68	0	1	618,66	0	618,66	12,6	0	0,67	414,5022	111,18	16507,8285
1	12,6	23,78	0	1,67	0,1	0,995	703,3698	70,33698	699,844115	12,6635	0	0,67	468,8956	112	18906,5802
2	12,6	28,97	0	0	0,2	0,9798	803,0484	160,60968	786,823528	12,8598	0	0,67	527,1718	108,58	20926,7989
3	12,6	28,47	0	0	0,3	0,9539	789,1884	236,75652	752,837752	13,2084	0	0,67	504,4013	107,94	20444,399
4	12,6	29,64	0	0	0,4	0,9165	821,6208	328,64832	753,027902	13,7477	0	0,67	504,5287	108,59	21412,7526
5	12,6	27,63	0	0	0,5	0,866	765,9036	382,9518	663,291974	14,5492	0	0,67	444,4056	110,41	20295,22
6	12,6	22,44	0	0	0,6	0,8	622,0368	373,22208	497,62944	15,75	0	0,67	333,4117	112,58	16806,9367
7	12,6	17,75	0	0	0,7	0,7141	492,03	344,421	351,379703	17,6435	0	0,67	235,4244	115,97	13694,5726
8	12,6	1,17	5,82	0	0,8	0,6	171,7632	137,41056	103,05792	21	0	0,67	69,04881	120,56	4969,86513

<u>4,47</u>	<u>18,20108</u>	<u>9</u>	<u>0,07357</u>
		8,70	5,15 123
		4,502118	165

Stabilité pour le cas fonctionnement normal talus aval (R=107.46m)

[illegible]

summe	18						1267 146			0		2603 352			78	100755
,	20054501															
,as 067	4															

Stabilité pour le cas fonctionnement normal talus aval (R=86.78m)

N°Tr	bi	hi	h3	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	di	C*dli	tango	N*tango	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tango	dn	a*Gn*dn
-4	8,67	7,92	0	-0,4	0,91652	144,2	-57,67978	132,16097	9,4597	0	0,67	88,54785	0	0	0	83,03	2873,49
-3	8,67	11,46	3,27	-0,3	0,95394	271,02	-81,30726	258,54061	9,0886	0	0,67	173,2222	0	0	0	80,24	5219,28
-2	8,67	14,19	5,32	-0,2	0,9798	359,83	-71,9662	352, 56095	8,8488	0	0,67	236, 2158	0	0	0	75,62	6530,5
-1	8,67	15,55	7,23	-0,1	0,99499	421,02	-42,10239	418,91346	8,7137	0	0,67	280,672	0	0	0	75,65	7644,11
0	8,67	20,32	7,37	0	1	510,54	0	510,54162	8,67	0	0,67	342,0629	0	0	0	75,57	9259,59
1	8,67	23,21	7,86	0,1	0,99499	572,51	57,250611	569,63639	8,7137	0	0,67	381,6564	0	0	0	71,76	9859,93
2	8,67	27,06	4,99	0,2	0,9798	587,86	117, 57214	575, 98348	8,8488	0	0,67	385, 9089	0	0	0	73,32	10344,5
3	8,67	29,33	4,23	0,3	0,95394	614,69	184, 4083	586, 38102	9,0886	0	0,67	392, 8753	0	0	0	71,87	10602,7
4	8,67	32,92	0	0,4	0,91652	599,37	239, 74978	549, 33575	9,4597	0	0,67	368,055	0	0	0	69,95	10062,3
5	8,67	30,19	0	0,5	0,86603	549,67	274,83467	476,0276	10,011	0	0,67	318,9385	0	0	0	74,89	9879,54
6	8,67	29,12	0	0,6	0,8	530,19	318,1127	424,15027	10,838	0	0,67	284,1807	0	0	0	77,12	9813,14
7	8,67	24,24	0	0,7	0,71414	441,34	308,93638	315,17815	12,14	0	0,67	211,1694	0	0	0	79,4	8410,13
8	8,67	17,71	0	0,8	0,6	322,45	257,95678	193,46758	14,45	0	0,67	129,6233	0	0	0	82,68	6398,36
9	8,67	6,3	0	0,9	0,43589	114,7	103,23369	49,998358	19,89	0	0,67	33,4989	0	0	0	85,44	2352,08

somme							1608 9994			0		3626 627				Q	109250
-------	--	--	--	--	--	--	-----------	--	--	---	--	----------	--	--	--	---	--------

K	

Stabilité pour le cas fonctionnement normal talus aval (R=65.38m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	dli	C*dli	tango	N*tango	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tango	dn	a*Gn*dn
-2	6,53	4,05	0	-0,2	0,9798	55,538	-11,10753	54,415562	6,6647	0	0,67	36,45843	0	0	0	63,3	843,728
-1	6,53	8,58	0	-0,1	0,99499	117,66	-11,76575	117,06777	6,5629	0	0,67	78,43541	0	0	0	61,58	1738,88
0	6,53	11,07	0	0	1	151,8	0	151,80291	6,53	0	0,67	101,7079	0	0	0	59,12	2153,9
1	6,53	14,03	0	0,1	0,99499	192,39	19,239339	191,42901	6,5629	0	0,67	128,2574	0	0	0	59,1	2728,91
2	6,53	14,97	0	0,2	0,9798	205,28	41,056722	201,13604	6,6647	0	0,67	134,7611	0	0	0	57,01	2808,77
3	6,53	15,91	0	0,3	0,95394	218,17	65,452149	208,12457	6,8453	0	0,67	139,4435	0	0	0	58,21	3047,98
4	6,53	14,22	0	0,4	0,91652	195	77,999544	178,71941	7,1248	0	0,67	119,742	0	0	0	59,85	2800,96
5	6,53	14,72	0	0,5	0,86603	201,86	100,92768	174,81187	7,5402	0	0,67	117,124	0	0	0	58,59	2838,41
6	6,53	12,22	0	0,6	0,8	167,57	100,54372	134,05829	8,1625	0	0,67	89,81905	0	0	0	60,67	2439,99
7	6,53	9,73	0	0,7	0,71414	133,43	93,399243	95,286287	9,1438	0	0,67	63,84181	0	0	0	62,02	1986,04
8	6,53	4,46	0	0,8	0,6	61,16	48,927984	36,695988	10,883	0	0,67	24,58631	0	0	0	63,85	937,216
somme							524,0291			4		1034,177				0	24324,8

Stabilité pour le cas fonctionnement normal talus aval (R=119.06m)

N°Tr	bi	hi	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sina	N=Gn*Cosa	dl!	C*dli	tango	N*tango	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tango	dn	a*Gn*dn
-1	11,9	6,57	0	-0,1	0,99499	148,55	-14,85477	147,8031	11,96	0	0,67	99,02807	0	0	0	114,26	4073,53
0	11,9	11,02	0	0	1	249,16	0	249,1622	11,9	0	0,67	166,9387	0	0	0	112,59	6732,76
1	11,9	15,26	0	0,1	0,99499	345,03	34,50286	343,29912	11,96	0	0,67	230,0104	0	0	0	110,59	9157,61
2	11,9	16,95	0	0,2	0,9798	383,24	76,6479	375,49649	12,145	0	0,67	251,5826	0	0	0	110,23	10138,7
3	11,9	17,16	0	0,3	0,95394	387,99	116,39628	370,11658	12,475	0	0,67	247,9781	0	0	0	110,61	10299,7
4	11,9	19,07	0	0,4	0,91652	431,17	172,46908	395,17631	12,984	0	0,67	264,7681	0	0	0	107,82	11157,4
5	11,9	15,05	0	0,5	0,86603	340,28	170,14025	294,69156	13,741	0	0,67	197,4433	0	0	0	109,62	8952,37
6	2	n α		n0,6	n*Si	α N=	Cos α d	C * d li	tangø	α	U i	Ui*dli	i*	n	n*	113,79	7588,71
75	11,9	-01	9949	485			- 4780311	9 6	16,663	00	0,67	77,16320	0	0	73	115,4	4466,5
150							915613			7		1683,8550			52		72567,2

06	632
Kas	1,165768

Stabilité pour le cas fonctionnement normal talus aval (R=96.65m)

N°Tr	bi	hi	h2	h3	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn°Sin a	N=Gn°Cos a	dl!	C°dli	tango	N°tango	Ui	Ui°dli	Ui°dli°tanç	dn	a°Gn°dn	
-4	9,65	11,05	0	0	-0,4	0,9165	213,265	-85,306	195,4606011	10,529	42,11605	0,67	130,9586	0	0	0	92,3	4724,24628	
-3	9,65	14,74	0	4,67	-0,3	0,9539	379,11955	-113,735865	361,6570008	10,1159	40,46379	0,67	242,3102	0	0	0	88,85	8084,34528	
-2	9,65	15,72	0	7,86	-0,2	0,9798	462,6789	-92,53578	453,3308879	9,84899	39,39596	0,67	303,7317	0	0	0	85,73	9519,7109	
-1	9,65	20,14	0	8,84	-0,1	0,995	567,8446	-56,78446	564,9982432	9,69861	38,79446	0,67	378,5488	0	0	0	83,47	11375,5173	
0	9,65	23,82	0	8,84	0	1	638,8686	0	638,8686	9,65	38,6	0,67	428,042	0	0	0	79,99	12264,7438	
1	9,65	27,01	0	8,1	0,1	0,995	685,4395	68,54395	682,0036914	9,69861	38,79446	0,67	456,9425	0	0	0	78,45	12905,4549	
2	9,65	29,23	0	7,61	0,2	0,9798	718,35565	143,67113	703,8419185	9,84899	39,39596	0,67	471,5741	0	0	0	80,42	13864,8387	
3	9,65	34,14	0	3,68	0,3	0,9539	733,4772	220,04316	699,6926544	10,1159	40,46379	0,67	468,7941	0	0	0	80,6	14188,383	
4	9,65	37,82	0	0	0,4	0,9165	729,926	291,9704	668,9882293	10,529	0	0,67	448,2221	0	0	0	79,6	13944,5063	
5	9,65	38,31	0	0	0,5	0,866	739,383	369,6915	640,3244611	11,1429	0	0,67	429,0174	0	0	0	79,95	14187,281	
6	9,65	26,77	0	0	0,6	0,8	516,661	309,9966	413,3288	12,0625	0	0,67	276,9303	0	0	0	82,78	10264,6074	
7	9,65	20,33	0	0	0,7	0,7141	392,369	274,6583	280,2075131	13,5127	0	0,67	187,739	0	0	0	82,86	7802,80688	
8	9,65	17,09	4,57	0	0,8	0,6	426,8581	341,48648	256,11486	16,0833	0	0,34	87,07905	4,57	73,5008333	24,9903	88,84	9101,29766	
9	9,65	9			6 0 4 3 5 ~ ~			15	1 5 d	C°dli	tangø	gø	U°dli	dl		0	n	93,8	3888,61032
11,05								460601110			7130,95		4335,49				4244,6163		

K	
67	
67	

Stabilité pour le cas vidange rapide talus amont (R=100,24m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	dli	C*dli	tango	N*tango	d	a*Gn*dn	
-3	10,24	7,01	0	-0,3	0,95394	100,5	-30,148608	95, 866463	10,734	0	0,67	64, 23053	99,58	2401,76	
-2	10,24	10,39	0	-0,2	0,9798	148,95	-29,790208	145, 94162	10,451	0	0,67	97, 78088	95,08	3398,94	
-1	10,24	15,84	0	-0,1	0,99499	227,08	-22,708224	225, 94398	10,292	0	0,67	151, 3825	93,42	5091,37	
0	10,24	20,52	0	0	1	294,17	0	294,17472	10,24	0	0,67	197, 0971	92,47	6528,56	
1	10,24	23,11	0	0,1	0,99499	331,3	33,130496	329, 64427	10,292	0	0,67	220, 8617	89,62	7125,97	
2	10,24	24,15	0	0,2	0,9798	346,21	69, 24288	339, 21945	10,451	0	0,67	227,277	91,09	7568,8	
3	10,24	24,15	0	0,3	0,95394	346,21	103, 86432	330, 26749	10,734	0	0,67	221, 2792	88,41	7346,12	
4	10,24	23,89	0	0,4	0,91652	342,49	136, 99482	313, 89456	11,173	0	0,67	210, 3094	91,02	7481,56	
5	10,24	21,56	0	0,5	0,86603	309,08	154, 54208	267, 67473	11,824	0	0,67	179, 3421	91,46	6784,52	
6	10,24	19,22	0	0,6	0,8	275,54	165, 32275	220, 43034	12,8	0	0,67	147, 6883	95,2	6295,49	
7	10,24	14,28	0	0,7	0,71414	204,72	143, 30266	146,19795	14,339	0	0,67	97, 95263	96,2	4726,53	
1	h 2	Sn α	α	Gn	Gn*Sin	αN	Gn*Cos α	d	C*dli		t a n g N *	dn	19, a	97,2	1130,37
0,2410							594162			97		95,08		65880	

7,09 92,47
0,86 89,62

Stabilité pour le cas vidange rapide talus amont (R=148.47m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	dl!	C*dli	tango	N*tango	d	a*Gn*dn
-2	14,84	11,55	1,9	-0,2	0,9798	273,8	-54,7596	268,26616	15,146	60,584	0,67	179,7383	119,496	7852,26
-1	14,84	15,68	3,8	-0,1	0,99499	325,77	-32,576768	324,13475	14,915	59,659	0,67	217,1703	114,096	8920,51
0	14,84	19,34	4,53	0	1	401,81	0	401,80784	14,84	59,36	0,67	269,2113	112,104	10810,E
1	14,84	26,24	3,94	0,1	0,99499	545,16	54,516224	542,42958	14,915	59,659	0,67	363,4278	110,964	14518,4
2	14,84	30,06	2,04	0,2	0,9798	624,53	124,90531	611,90856	15,146	60,584	0,67	409,9787	107,544	16119,4
3	14,84	30,18	0	0,3	0,95394	627,02	188,1059	598,13865	15,557	0	0,67	400,7529	109,308	16449,2
4	14,84	26,89	0	0,4	0,91652	558,67	223,46666	512,02643	16,192	0	0,67	343,0577	106,092	14224,8
5	14,84	21,95	0	0,5	0,86603	456,03	228,0166	394,93634	17,136	0	0,67	264,6073	109,224	11954,3
6	14,84	13,72	0	0,6	0,8	285,05	171,02803	228,03738	18,55	0	0,67	152,785	109,752	7508,27
7	14,84	19,22	0	0,7	0,71414	399,31	279, 5203	285,16775	20,78	0	0,67	191, 0624	114,24	10948,3
484	11						6826616227			067 17		119496792		119306

Stabilité pour le cas vidange rapide talus amont (R=73.84m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	di	C*dli	tango	N*tango	d	a*Gn*dn
-2	14,84	4,01	0	-0,2	0,9798	83,312	-16,662352	81, 628521	15,146	0	0,67	54,69111	71,06	1420,83
-1	14,84	8,27	0	-0,1	0,99499	171,82	-17,181752	170,95627	14,915	0	0,67	114,5407	69,34	2859,32
0	14,84	10,77	0	0	1	223,76	0	223,75752	14,84	0	0,67	149,9175	68,99	3704,89
1	14,84	13,15	0	0,1	0,99499	273,2	27,32044	271,83495	14,915	0	0,67	182,1294	68,67	4502,63
2	14,84	14,15	0	0,2	0,9798	293,98	58,79608	288,04079	15,146	0	0,67	192,9873	68,97	4866,2
3	14,84	13,65	0	0,3	0,95394	283,59	85,07772	270,52991	15,557	0	0,67	181,255	68,93	4691,53
4	14,84	13,39	0	0,4	0,91652	278,19	111,27626	254,96593	16,192	0	0,67	170,8272	68,99	4606,17
5	14,84	11,65	0	0,5	0,86603	242,04	121,0202	209,61314	17,136	0	0,67	140,4408	67,52	3922,22
6	14,84	9,61	0	0,6	0,8	199,66	119,79442	159,72589	18,55	0	0,67	107,0163	70,68	3386,83
7	14,84	5,67	0	0,7	0,71414	117,8	82,459944	84,12597	20,78	0	0,67	56,3644	72,22	2041,8
4,84	4						1,628521			540		71,06		36002,4

9,91 68,99
2,12 68,67

Stabilité pour le cas vidange rapide talus amont (R=126.83m)

N°Tr	b	hi	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sina	N=Gn*Cosa	di	C*dli	tango	N*tango	dn	a*Gn*dn
-1	12,68	3,82	0	-0,1	0,99499	67,813	-6,781264	67,472725	12,744	0	0,67	45,20673	123,87	2015,99
0	12,68	8,51	0	0	1	151,07	0	151,06952	12,68	0	0,67	101,2166	121,22	4395,04
1	12,68	13,21	0	0,1	0,99499	234,5	23,450392	233,32845	12,744	0	0,67	156,3301	121,93	6862,34
2	12,68	13,21	0	0,2	0,9798	234,5	46,900784	229,76598	12,941	0	0,67	153,9432	118,87	6690,12
3	12,68	14,15	0	0,3	0,95394	251,19	75,35724	239,62075	13,292	0	0,67	160,5459	118,17	7123,97
4	12,68	14,09	0	0,4	0,91652	250,13	100,05027	229,24397	13,835	0	0,67	153,5935	122,34	7344,09
5	12,68	14,68	0	0,5	0,86603	260,E	130,29968	225,68567	14,642	0	0,67	151,2094	120,3	7524,02
6	12,68	10,86	0	0,6	0,8	192,79	115,67203	154,22938	15,85	0	0,67	103,3337	124,55	5762,78
somme							484,94914			0		1025,379		47718,3

Stabilité pour le cas vidange rapide talus amont (R=96.81m)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin a	Cos a	Gn	T=Gn*Sin a	N=Gn*Cos a	di	C*dli	tango	N*tango	d	a*Gn*dn
-2	9,68	7,27	0	-0,2	0,9798	98,523	-19,704608	96,53247	9,8796	0	0,67	64,67676	93,54	2211,8
-1	9,68	11,36	0	-0,1	0,99499	153,95	-15,395072	153,17903	9,7288	0	0,67	102,63	90,91	3358,96
0	9,68	14,54	0	0	1	197,05	0	197,04608	9,68	0	0,67	132,0209	87,38	4132,29
1	9,68	16,59	0	0,1	0,99499	224,83	22,482768	223,70072	9,7288	0	0,67	149,8795	87,33	4712,21
2	9,68	19,09	0	0,2	0,9798	258,71	51,741536	253,48072	9,8796	0	0,67	169,8321	86,42	5365,8
3	9,68	17,27	0	0,3	0,95394	234,04	70,212912	223,26283	10,147	0	0,67	149,5861	87,76	4929,51
4	9,68	17,95	0	0,4	0,91652	243,26	97,30336	222,95001	10,562	0	0,67	149,3765	86,78	5066,39
5	9,68	19,95	0	0,5	0,86603	270,36	135,1812	234,14071	11,178	0	0,67	156,8743	89,95	5836,58
6	9,68	13,86	0	0,6	0,8	187,83	112,69843	150,26458	12,1	0	0,67	100,6773	90,64	4085,99
7	9,68	7,27	0	0,7	0,714	137,73	96,04221	100,6773	12,1	0	0,67	100,6773	90,64	4085,99
9,68	7						6,53247			64		93,54		39699,5