

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université
Aboubekr Belkaïd
Tlemcen



جامعة
أبو بكر بلقايد

Faculté de technologie
Département De Génie Civil

Mémoire de Master
Spécialité : Géotechnique

Présenté par

Boutchiche Ibrahim § Chenouf Med Anisse

**CONCEPTUALISATION ET CONCEPTION D'UN SYSTEME DE
PETIT BARRAGE EN REMBLAIS**

Soutenu publiquement le 04/07/2019

Composition du Jury

A. ZADJAOUI	Professeur	Université de Tlemcen	Président
A. BEKKOUCHE	Professeur	Université de Tlemcen	Promoteur
Y. HOUMADI	Maître de conférences A	C.U Ain-Temouchent	Examineur



REMERCIEMENTS

Louange à ALLAH, le miséricordieux, sans Lui rien de tout cela n'aurait pu être.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus vifs à notre encadreur

monsieur Bekkouché Abdelmalek, professeur de l'université Abou Bekr

Belkaid de Tlemcen pour ses précieux conseils et pour toutes les heures qu'il

a consacrées à diriger ce travail.

Nos remerciements iront également vers tous ceux qui ont accepté avec

bienveillance de participer au jury de ce mémoire : Mr ZADJAOUI .

Mr HOUMADI

DEDICACES

*Je dédie ce mémoire à A mes parents, et à toute ma famille A tous mes amis
et mes collègues en particulier à mon binôme spécial en témoignage de ma
sincère amitié.*

CHENOUF MOHAMMED ANISSE

*A mes très chers parents, mes très chers frères, toute ma famille, auxquels je
dédie ce travail. A toutes les personnes qui m'ont aidé dans mon travail, en
particulier, mon binôme CHENOUF.M.A. Je ne saurais oublier tous mes
collègues et amis, qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère gratitude.*

BOUTCHICHE IBRAHIM

RESUME

Les barrages servent à améliorer la qualité de la vie humaine dans plusieurs domaines (l'agriculture, l'industrie, navigation...), c'est pour ses 60% des rivières du monde sont endiguées, et il y a environ 50 000 grands barrages (> 15 m de hauteur) et plus de 1500 en construction, et il y a aussi des milliers des petits barrages.

Notre présente étude consiste à conceptualiser un petit barrage en remblai afin d'atteindre certains besoins d'irrigation surtout, et le concevoir en suivant les règles de la géotechnique acquise dans les années précédentes. Pour ce faire, nous allons prendre en compte les règles de la stabilité et les infiltrations de l'eau dans le sol et même Les propriétés de résistance des matériaux sont prises en compte dans les calculs tout en utilisant des lois et des techniques pour assurer le bon choix de profil et la sécurité de l'ouvrage.

La réalisation et la conception des petits barrages en terre a connu un grand développement grâce aux améliorations réalisées dans le domaine de la géotechnique.

Mots clés : barrage en terre, barrage homogène, barrage à noyau central, modélisation, GEO-STUDIO.

ملخص

تعمل السدود على تحسين نوعية الحياة البشرية في العديد من المجالات (الزراعة ، الصناعة ، الملاحة ...) ، حيث أن 60٪ من أنهار العالم مزودة بالسدود، وهناك حوالي 50.000 سد كبير (< ارتفاع 15 مترا) وأكثر من 1500 في طور الإنشاء ، وهناك أيضا الآلاف من السدود الصغيرة.

تتمثل دراستنا الحالية في وضع تصور لسد صغير لتلبية احتياجات الري خاصة ، وتصميمه وفقاً لقواعد الهندسة الجيوتقنية المكتسبة في السنوات السابقة. للقيام بذلك ، سنأخذ بالاعتبار قواعد الاستقرار وتسرب المياه في التربة وحتى خصائص المقاومة للمواد تؤخذ بعين الاعتبار في الحسابات أثناء استخدام القوانين والتقنيات لضمان حسن اختيار شكل المنشأ وسلامته.

شهد بناء وتصميم السدود الترابية الصغيرة تطور كبير من خلال التقدم العلمي في مجال الهندسة الجيوتقنية.

الكلمات الرئيسية : السد الترابي، السد المتجانس، السد المحدد، النمذجة GEO-STUDIO

ABSTRACT

Dams serve to improve the quality of human life in several areas (agriculture, industry, navigation ...), it is for its 60% of the world's rivers are dammed, and there are about 50 000 large dams (> 15 m high) and more than 1500 under construction, and there are also thousands of small dams.

Our present study is to conceptualize a small embankment dam to meet particular irrigation needs, and design it following the rules of geotechnical engineering acquired in previous years. To do this, we will take into account the rules of stability and infiltration of water in the soil and even the resistance properties of materials are taken into account in the calculations while using laws and techniques to ensure the good choice of profile and the safety of the work.

The construction and design of small earth dams has been greatly enhanced by improvements in the field of geotechnical engineering.

Key words: earth dam, homogeneous dam, core dam, modeling, GEO-STUDIO.

SOMMAIRE

RESUME.....	5
ملخص.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTE DES FIGURES	14
LISTE DES TABLEAUX	17
LISTE DES NOTATIONS.....	18

PROPOSITION DE SUJET DU PROJET FIN D'ETUDES (PROPOSAL)

1. Le titre :	21
2. Résumé :	21
3. Introduction :	21
4. La problématique :	22
5. Questions sur la thématique :	23
6. Les hypothèses de travail :	23
7. Le but :	23
8. La méthodologie :	23
9. Revue de la littérature :	26
10. Aperçu des chapitres :	27

REVUE DE LITTERATURE

1. Historique et chiffres des petits barrages :	29
1.1 Les Açudes au Nordeste brésilien :	29
1.2 Réussite de l'expérience italienne :	29
1.3 L'expérience Algérienne dans le domaine des études des petits barrages :	30
2. DEFINITION GENERALE D'UN BARRAGE :	30
3. DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE.....	31
3.1 Barrages rigides :	31
3.1.1 Barrages à contreforts	31
3.1.2 Barrages voûtes	31
3.2 Barrages en remblai	31
3.2.1 Barrages en terre	32
3.2.2 Barrages en terre homogène	32
3.2.3 Barrage à profil zoné ou à noyau	32
3.2.4 Barrages en enrochement à masque amont	33
4. Facteurs influençant sur le choix d'un type de barrage :	34

5.	Classification des barrages :	34
6.	Objectif et but des petits barrages :	35
7.	Ouvrages annexes :	36
7.1	Evacuateur de crue :	36
7.1.1	Le coursier :	37
7.2	Vidange de fond :	37
7.3	Ouvrage de prise	38
8.	Cycle de vie d'un barrage :	38
8.1	Les besoins agricoles :	38
8.2	Étude préliminaire :	39
8.2.1	Choix du site :	39
8.2.2	Étude Topographique :	40
8.2.3	Étude hydrologique	40
8.2.4	Étude géotechnique	41
8.2.5	Estimation des coûts	41
9.	Etude d'avant-projet détaillé :	41
9.1	Levés et études topographiques :	42
9.2	Étude hydrologique :	43
9.3	Dimensionnement hydraulique des ouvrages :	43
9.4	Dimensionnement du remblai	43

Chapitre I : Conceptualisation d'un système d'un petit barrage

1.	Introduction :	46
2.	Définition d'un système :	46
3.	Système d'un barrage :	47
3.1	Le bassin versant :	47
3.2	La cuvette :	47
3.3	La digue :	47
4.	Ouvrages annexes et leur fonction :	47
4.1	Evacuateur de crue :	47
4.2	Le coursier :	48
4.3	Vidange de fond :	48
4.4	Ouvrage de prise :	49
4.5	Station de pompage :	49
5.	L'interaction entre les composants d'un système d'un barrage :	50

5.1	L'aménagement fonctionnel :	51
5.2	Stockage des eaux.....	53
5.3	Evacuation des eaux.....	54
5.4	Prélèvement des eaux :	55
5.5	Pompage des eaux :	56
Conclusion.....		57

CHAPITRE II : Morphométrie du bassin versant

1.	Introduction :	59
2.	Le bassin versant :	60
2.1	Surface :	60
2.2	Périmètre du bassin versant :	61
2.3	Forme :	61
2.4	Coefficient d'allongement :	61
2.5	Le rectangle équivalent :	62
3.	La courbe hypsométrique :	64
3.1	Indice de pente global du bassin :	65
3.2	Altitude médiane :	65
3.3	La dénivelée spécifique :	65
3.4	La densité de drainage :	66
3.5	Le temps de concentration :	66
3.5.1	Définition :	66
3.5.2	Calcul de temps de concentration :	66
3.6	Vitesse de propagation de la crue (km/heure) :	68
4.	Conclusion:	70

Chapitre III : Conception de la digue

1.	Introduction :	72
2.	Courbe caractéristique de remplissage :	73
3.	Le volume mort :	75
3.1	Estimation de l'apport moyen annuel A0 :	76
3.2	Apport des solides :	76
4.	Variabilité de l'apport :	79
5.	Volume total :	80
6.	Le volume utile :	80
7.	Détermination tranches des réservoirs au-dessus de la retenue normale :	81

7.1	Côte PHE :.....	81
7.2	Revanche CR :.....	81
7.2.1	Estimation de fetch :	82
7.2.2	Calcul de la revanche :.....	82
7.3	La hauteur de la digue :.....	83
7.4	Largeur de la crête :	83
7.5	Pentes des talus :	84
7.6	Dispositifs de drainage :.....	85
7.7	Les filtres :	86
7.8	Utilisation des géotextiles comme filtre ou drain dans un barrage en terre :.....	87
7.9	Différences entre les filtres de géotextiles et les filtres granulaires.....	89
7.9.1	Uniformité.....	89
7.9.2	Maintien de la continuité	89
7.9.3	Épaisseur.....	89
7.10	Protection du talus amont contre l'effet de batillage :.....	90
7.11	Profil type de la digue :	91
8.	Conclusion :.....	93

CHAPITRE IV : ETUDE DES INFILTRATIONS ET DE LA STABILITE DE LA DIGUE

1.	Etude des infiltrations :	95
1.1	Introduction	95
1.2	Détermination de l'équation de la ligne de saturation :.....	96
1.2.1	Le calcul numérique :	96
1.2.2	Le modèle électrique :.....	97
1.2.3	Le modèle graphique :	97
1.2.4	Modélisation des profils choisis en Géo-studio 2012 :	97
2.	Etude de la stabilité :.....	101
2.1	Introduction :	101
2.2	SLOPE :	101
2.3	Méthode de Bishop (1955)	102
2.4	Coefficient de sécurité admissible :	103
2.4.1	Détermination du coefficient de sécurité :	104
3.	Rapport géotechnique :.....	105
4.	Etude de cas (profil homogène) :.....	106

4.1	Stabilité en fin de construction :	106
4.1.1	Profil de barrage Homogène $U=0$:	106
4.1.2	Profil de barrage Homogène ($RU=0.14$) :	107
4.2	Le cas d'une retenue pleine :	109
4.2.1	ETUDE DES INFILTRATIONS :	109
4.2.2	Etude stabilité en fonction normal :	114
4.3	Le cas de vidange rapide :	115
4.3.1	Etude des infiltrations :	115
4.3.2	Etude stabilité en cas de vidange rapide :	117
5.	Etude de cas (profil zoné à noyau) :	119
5.1	Stabilité en fin de construction :	119
5.1.1	Profil de barrage zoné $U=0$:	119
5.1.2	Profil de barrage zoné à noyau ($RU=0.1$)	120
5.2	Le cas d'une retenue pleine :	121
5.2.1	ETUDE DES INFILTRATIONS :	121
5.2.2	Stabilité en fonction normal :	124
5.3	Le cas de vidange rapide :	125
5.3.1	Etudes des infiltrations :	125
5.3.2	Etude stabilité en cas de vidange rapide :	126
6.	L'ANISOTROPIE DE PERMÉABILITÉ DU REMBLAI :	127
6.1	Profil homogène :	128
6.2	Le profil zoné :	130
7.	Conclusion :	131

CHAPITRE V : LES OUVRAGES ANNEXES

1.	Introduction :	133
2.	ETUDE DES CRUES	133
2.1	Apports moyens annuels.....	133
2.2	Etude des pluies journalières de différentes fréquences	133
2.3	Pluies de courte durée	134
2.4	Débits maximums des crues :	135
2.5	HYDROGRAMME DES CRUES :	136
3.	Les ouvrages annexes.....	139
3.1	DERIVATION PROVISOIRE :	139
3.2	VIDANGE DE FOND :	139
3.2.1	Temps de vidange :	139

3.2.2	Contact béton-sol :	140
3.3	EVACUATEUR DE CRUES :	141
3.3.1	DEVERSOIR :	142
3.3.2	CANAL D'ENTREE	142
3.3.3	COURSIER :	143
3.3.4	BASSIN D'AMORTISSEMENT :	147
4.	Autre solution pour remplacer l'évacuateur des crues :	152
4.1	Les puits de fond :	152
4.2	Digues résistantes à la surverse	154
5.	Conclusion :	155
	CONCLUSION GENERALE	156
	Sites web	158
	Références	159

LISTE DES FIGURES

Figure 1: de la retenus collinaire de ZOUIA avant le remplissage	24
Figure 2: la retenus collinaire de ZOUIA après le remplissage	25
Figure 3: Barrage en terre homogène (Google)	32
Figure 4: Barrage zone (Google)	33
Figure 5: Types de barrages dans le monde (7).....	34
Figure 6: Les barrages à fonction unique (7)	35
Figure 7: Les éléments physiques d'un barrage	50
Figure 8: représentation de système d'un barrage	50
Figure 9: Diagramme fonctionnel basique niveau 1.....	52
Figure 10: Diagramme fonctionnel basique niveau 2.....	52
Figure 11: L'analyse fonctionnelle de stockage des eaux.....	53
Figure 12: L'analyse fonctionnelle d'EVC.....	54
Figure 13: L'analyse fonctionnelle de la tour de prise.....	55
Figure 14: L'analyse fonctionnelle de pompage des eaux.....	56
Figure 15: Démarche d'une étude morphométrique	60
Figure 16: HYDROGRAPHIE DE BASSIN VERSANT	63
Figure 17: La courbe hypsométrique f (pourcentages cumulés) = altitude.....	64
Figure 18: Vue en plan de la retenue.....	74
Figure 19 courbe caractéristique de remplissage.....	75
Figure 20: CR Projection de volume mort.....	78
Figure 21: CR projection de la cote morte.....	78
Figure 22: estimation de fetch.....	82
Figure 23: Système de drainage dans un barrage en terre (google)	86
Figure 24: Drain granulaire incliné entouré par un géotextile. (Google)	89
Figure 25 : fonction de pente du talus et du poids spécifique de l'enrochement et des talus (27)	90
Figure 26 : profil type du barrage homogène.....	92
Figure 27 : profil type du barrage zoné, à noyau central	92
Figure 28: UNE DIGUE D'UN BARRAGE (GOOGLE).....	95
Figure 29: GEOSTUDIO 2012.....	98
Figure 30: REPRESENTATION DU MODELE GEOMETRIQUE DU PROJET (CAS N°1).	99
Figure 31: REPRESENTATION DU MODELE GEOMETRIQUE DU PROJET (CAS N°2).	99
Figure 32: SCHEMA REPRESENTATIF DU MAILLAGE DE BARRAGE ZONE, A NOYAU CENTRAL.....	100
Figure 33: SCHEMA REPRESENTATIF DU MAILLAGE DE BARRAGE HOMOGENE	100
Figure 34: Représentation des forces inter-tranches sur une tranche	103
Figure 35: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AMONT(U=0)	106
Figure 36: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AVAL(U=0).	106
Figure 37: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AMONT RU=0,14.....	108
Figure 38: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AVAL RU=0,14	109
Figure 39: POSITION DE LA LIGNE DE SATURATION POUR LE PROFIL HOMOGENE	109
Figure 40: LES PRESSIONS INTERSTITIELLES.....	110

Figure 41: LA CHARGE HYDRAULIQUE	110
Figure 42: DEBIT DE FUITE DANS LA DIGUE	110
Figure 43: GRADIENT HYDRAULIQUE.....	111
Figure 44: coupe AA dans la digue.....	112
Figure 45: F(DISTANCE)= U COUPE AA	112
Figure 46: DIAGRAMME DE VITESSE DE LA COUPE AA.....	112
Figure 47: COUPE BB DANS LA DIGUE	113
Figure 48: DIAGRAMME DE VITESSE DE LA COUPE BB	113
Figure 49: F(DISTANCE)= U COUPE BB	113
Figure 50 : RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AMONT.....	114
Figure 51 : RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AVAL.....	114
Figure 52: changement des pressions pendant la vidange rapide	116
Figure 53: changement de la position de la ligne de saturation pendant la vidange rapide	116
Figure 54: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE AU 7EME JOUR, TALUS AMONT	117
Figure 55: $f(t)=FC$, TALUS AMONT	117
Figure 56: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE, TALUS AVAL	118
Figure 57: $f(t)=FC$, TALUS AVAL.....	118
Figure 58: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AMONT, $U=0$	119
Figure 59: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AVAL, $U=0$	119
Figure 60: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AMONT, $RU=0,1$	120
Figure 61: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AVAL, $RU=0,1$	120
Figure 62: Position de la ligne de saturation de profil zoné	121
Figure 63: Position de la ligne de saturation de profil zoné	121
Figure 64: DEBIT DANS LA DIGUE (NOYAU)	122
Figure 65: LA CHARGE HYDRAULIQUE	122
Figure 66: LE GRADIENT HYDRAULIQUE	122
Figure 67: COUPE DANS LA DIGUE (NOYAU)	123
Figure 68: $F(D)= U$	123
Figure 69: DIAGRAMME DE VITESSE	124
Figure 70: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AMONT (NOYAU)	124
Figure 71: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AVAL (NOYAU)	125
Figure 72: changement des pressions pendant la vidange rapide	125
Figure 73: changement de la position de la ligne de saturation pendant la vidange rapide	126
Figure 74: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE AU 7EME JOUR, TALUS AMONT	126
Figure 75: $f(t)=FC$, TALUS AMONT	126

Figure 76: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE AU 7EME JOUR, TALUS AVAL.....	127
Figure 77: $f(t)=FC$, TALUS AVAL.....	127
Figure 78: ENTRE DES DONNEES.....	128
Figure 79: pour $k_x/k_y=3$	129
Figure 80: pour $k_x/k_y=9$	129
Figure 81: POSITION LA LIGNE DE SATURATION DE PROFIL HOMOGENE POUR KX/KY=15.....	129
Figure 82: POSITION LA LIGNE DE SATURATION DE PROFIL HOMOGENE POUR KX/KY=20.....	130
Figure 83: pour $k_x/k_y=9$	130
Figure 84: pour $k_x/k_y=3$	130
Figure 85: Hydro gramme des crues	139
Figure 86 : vidange de fond dans une digue.....	140
Figure 87: phénomène d'érosion à cause de mauvais contact béton-sol	140
Figure 88: des anti-renard	141
Figure 89 : schéma des anti-renard	141
Figure 90: Placement des Filters Diaphragms	141
Figure 91: plan d'évacuateur des crues en AUTOCAD.....	149
Figure 92: coupe longitudinale de bassin de dissipation et canal de restitution	
Figure 93: coupe transversale de bassin de dissipation	
Figure 94: les ralentisseurs de vitesse	150
Figure 95: vue en plan d'EVC	151
Figure 96: la coupe C1-C1	151
Figure 97: la coupe C3-C3	151
Figure 98: la coupe C2-C2 et ces détails	151
Figure 99: Plan final de la retenue collinaire	152
Figure 100: MONOLITHIC OUTLET WORKS.....	153
Figure 101: CMP OUTLET WITH STOP LOGS	154
Figure 102: Les anti-renard	154
Figure 103 : SCHÉMA DE PRINCIPE DES DIGUES RÉSISTANTES À LA SURVERSE ENTRE BEUCAIRE ET FOURQUES (France) (34)	155
Figure 104 : autre modèle d'une digue anti-submersion (google).....	155

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: les surfaces élémentaires.....	62
Tableau 2: classification de l'ORSTOM	65
Tableau 3: Classification du relief selon Ds	66
Tableau 4: Calcul de temps de concentration	68
Tableau 5: Les caractéristiques morphométriques de bassin versant	69
Tableau 6: hauteur/surface/volume.....	75
Tableau 7: Calcul de la variabilité de l'apport	79
Tableau 8: CR Projection de volume utile.....	81
Tableau 9: Valeurs des pentes des talus en fonction de la hauteur et le type de la digue	84
Tableau 10 : Paramètres mécaniques et hydrauliques du barrage.....	105
Tableau 11: Valeurs de \bar{B} en fonction de deux types de matériaux.....	108
Tableau 12: VALEURS DU COEFFICIENT DE SECURITE DANS LE PROFILS HOMOGENE, CAS DE FIN DE CONSTRUCTION	109
Tableau 13: VALEURS DU COEFFICIENT DE SECURITE DANS LE PROFILS ZONE, CAS DE FIN DE CONSTRUCTION.....	121
Tableau 14: PJ max fréquentielle.....	134
Tableau 15: pluies de courte durée	135
Tableau 16: résultats de debit	136
Tableau 17: Valeurs de δ	137
Tableau 18: Hydro gramme des crues	138
Tableau 19: Résultat de canal d'entrée	143
Tableau 20: Calcul des coefficients.....	145
Tableau 21: Calcul de la ligne d'eau dans le coursier	146
Tableau 22: Résultat de la hauteur conjuguée.....	148

LISTE DES NOTATIONS

- P_0 : Pluviométrie moyenne annuelle.
 M : température moyenne du mois plus chaud [kelvin].
 m : température moyenne du mois plus froid [kelvin].
 P : périmètre du bassin.
 A : surface du bassin.
 K_c : indice de compacité.
 I_g : indice global de Roche
 D : dénivelée [m].
 I_g : Indice de pente global [m/Km].
 L : longueur de rectangle équivalent.
 S_i : surface partielle entre courbes de niveau.
 l : largeur du rectangle équivalent.
 B_i : la fraction de la surface totale du bassin comprise entre a_{i-1} et a_i (courbe hypsométrique).
 A_i : courbe de niveau de rang compté à partir du sommet.
 b : Exposant climatique régional, cartographier par BODY.
 $P_{j_{\max}}$ (%) : Pluie fréquentielle [mm].
 T_c : Temps de concentration en heures.
 C_v : Coefficient de variation.
 $P_{j_{\max}}$: Pluie moyenne maximale journalière.
 μ : Variable réduite de GAUSS.
 L : longueur du talweg principal [Km].
 H : différence entre l'altitude moyenne et celle de l'exutoire.
 l : pente moyenne du talweg principal.
 M_0 : Le module spécifique moyen [l/s.km²].
 P_0 : Pluviométrie moyenne annuelle [m].
 A_0 : Apport moyen annuel [m³].
 A : Superficie du bassin versant [km²].
 Y : Lamme de ruisselée [mm].
 $A\%$: L'apport annuel pour une fréquence 80 %.
 μ : Variable réduite de Gauss.
 P : Précipitation annuelle moyenne [m].
 M_0 : Débit unitaire en l/s.km²
 K_s : Coefficient de réduction égal à 1 ($K_s=1$) pour les cours d'eau temporaire.
 P_{T_c} : Pluie de durée égale au temps de concentration.
 α : Coefficient de ruissellement.
 F : Coefficient de forme de l'hydrogramme égale à 1,2 pour les bassins de faible superficie.
 P : Précipitation moyennes annuelles [m].
 T : Période de retour, dans notre cas 100ans.
 A : Apport solide spécifique [T/km².an].
 ρ : Densité spécifique de dépôt solide ($\rho=1.6$ T/km³)
 n : Nombre d'année d'exploitation.
 $A_{80\%}$: Apport fréquentiel de 80%
 V_m : Volume mort.

Vt : Volume total du réservoir.

Ce : Coefficient d'écoulement tiré de la courbe $C_e = F(P_0)$

H_v : La hauteur des vagues [m].

V : Vitesse de propagation des vagues [m/s]

F : Fetch [Km].

V_v : Vitesse du vent [Km/h]

m₁ et m₂ : Pentes amont et aval du barrage

e : épaisseur de l'enrochement [m].

v : vitesse de propagation des vagues [m/s].

c : fonction de pente du talus et du poids spécifique de l'enrochement et des talus

PROPOSITION DE SUJET DU PROJET FIN D'ETUDES (PROPOSAL)

1.	Le titre :	21
2.	Résumé :	21
3.	Introduction :	21
4.	La problématique :	22
5.	Questions sur la thématique :	23
6.	Les hypothèses de travail :	23
7.	Le but :	23
8.	La méthodologie :	23
9.	Revue de la littérature :	26
10.	Aperçu des chapitres :	27

1. Le titre :

Conceptualisation et conception d'un système de petit barrage en remblais.

2. Résumé :

Les barrages servent à améliorer la qualité de la vie humaine dans plusieurs domaines (l'agriculture, l'industrie, navigation...), c'est pour ses 60% des rivières du monde sont endiguées, et Il y a environ 50 000 grands barrages (> 15 m de hauteur) et plus de 1500 en construction, et il y a aussi des milliers des petits barrages. (1)

Notre présente étude consiste à conceptualiser un petit barrage en remblai afin d'atteindre certains besoins d'irrigation surtout, et le concevoir en suivant les règles de la géotechnique acquise dans les années précédentes. Pour ce faire, nous allons prendre en compte les règles de la stabilité et les infiltrations de l'eau dans le sol et même les propriétés de résistance des matériaux sont prises en compte dans les calculs tout en utilisant des lois et des techniques pour assurer le bon choix de profil et la sécurité de l'ouvrage.

La réalisation et la conception des petits barrages en terre ont connu un grand développement grâce aux améliorations réalisées dans le domaine de la géotechnique.

3. Introduction :

La gestion durable des ressources en eau face aux demandes pressantes d'une population toujours croissante est sans aucun doute l'un des défis majeurs auquel l'humanité sera confrontée au cours de cette nouvelle époque. Les besoins sont multiples et la ressource limitée.

Dans les pays arides et semi-arides comme l'Algérie (dont 84% de la surface du pays représente le Sahara) (2), cette situation est encore plus préoccupante compte tenu des aléas climatiques. Dans ces régions, il est vital de maîtriser plus particulièrement les eaux de surface qui conditionnent bien souvent la réussite des projets agricoles, et pour l'alimentation en eaux potables.

L'Algérie compte actuellement 80 grands barrages d'une capacité totale dépassant les 8 milliards de mètres cubes ; 1,2 Md m³ pour l'AEP et plus de 600 millions de m³ pour l'irrigation (3). C'est une capacité très faible par rapport l'augmentation de la population, et même pour les projets agricoles. Et pour la petite hydraulique l'Algérie

compte environ 718 retenus collinaires d'une capacité totale de (89,7 Hm³) (4), et des petits barrages ces derniers visent à la fois l'irrigation agricole, les prélèvements des industries et la protection contre incendie.

L'Algérie a un projet de développement des infrastructures hydrauliques du pays, c'est de faire construire plusieurs grands barrages et des dizaines de petits barrages d'ici à 2030 (il y a 90 projets de barrages en cours d'études) (3), pour atteindre une capacité de stockage largement suffisante pour la couverture les besoins.

Les barrages en terre et en béton sont les plus utilisés dans le monde. Les barrages en terre sont plus utilisés en Algérie, car ils peuvent être construits avec du sable, de l'argile, du gravier, des cailloux ou une combinaison de ces matériaux qui sont fortement disponibles dans ces régions (5).

4. La problématique :

La facture d'importation des produits alimentaires a connu une hausse pendant l'année 2018, avec une valeur ayant atteint 3,936 Mds USD (6), c'est une proportion très élevée pour un pays d'une superficie agricole totale estimée à 42,4 millions d'hectares, soit 18% de la superficie totale du pays, mais la superficie cultivée est de 8,458 millions d'hectares, soit 20% de la superficie agricole totale (7) ; cette surface est négligée à cause de la mauvaise gestion et le manque de ressources en eaux.

D'autre part, le taux de chômage en l'Algérie était de 11,1% environ de 1,378 million personnes en 2018 (a appris l'APS auprès de l'Office nationale des statistiques ONS) (8), sachant qu'un hectare peut assurer la création de plusieurs postes d'emplois permanents entre autres, les transports et les industries alimentaires.

Pour les ressources en eaux, l'Algérie a un potentiel des eaux en surface d'environ 12410 hm³, la quantité mobilisée s'élève la moitié de ces ressources (9).

Pour développer le secteur agricole il est nécessaire de le rentabiliser en récupérant toutes les parcelles délaissées et pour cela, la première initiative est d'assurer l'apport des ressources en eaux est la meilleure solution c'est de profiter de la petite hydraulique et la réalisation de petits barrages dans des sites apte à cet effet.

Notre travail d'études entreprises dans le cadre de cette problématique vise un peu fort à dimensionner et choisir le type de profil le plus adapté avec le site choisi et à améliorer les connaissances à étudier les infiltrations et assurer la stabilité de l'ouvrage.

5. Questions sur la thématique :

Suivant quel standard et quelles sont les normes qu'on va utiliser pour construire notre petit barrage ?

6. Les hypothèses de travail :

En Algérie il n'y a pas un standard pour la construction des barrages, donc on va suivre les normes américaines et allemandes.

7. Le but :

Le but de notre étude c'est de satisfaire quelques besoins spéciaux à savoir : l'irrigation des petits périmètres en construisant des petits barrages.

8. La méthodologie :

La méthodologie qu'on va suivre, elle a un rapport direct avec le cycle de vie d'un barrage qui se diffuse lui-même en 7 phases essentielles. La surface agricole totale est d'environ 42,4 millions Hectares, 8,458 millions Hectares utilisables (7), donc il faut une stratégie pour réformer la surface qui reste pour assurer une autosuffisance des produits alimentaires. D'autre part, il faut mobiliser le maximum de potentiel des eaux en surface qui est de 12410 hm³ (9). Puisqu'on a les ressources en eau et les terres agricoles proviennent l'idée de construire les petits barrages en terre et les retenues collinaires.

Pour irriguer une surface de 300 hectares de terre agricole il faut conceptualiser un petit barrage d'une capacité d'environ 2 millions m³, comme le barrage de Zouia c'est une retenue collinaire de hauteur de 23,6m et de capacité environ 2 millions m³ destinée pour l'irrigation. (10)

- Quelques photos de la retenus collinaire de ZOUIA avant le remplissage :



Figure 1: de la retenus collinaire de ZOUIA avant le remplissage

- Quelques photos de la retenus collinaire de ZOUIA après le remplissage :



Figure 2: la retenus collinaire de ZOUIA après le remplissage

Après on passe à la phase de la conception qui se diffuse elle-même en deux parties, l'étude d'avant-projet qui englobe une étude topographique, géologique, géotechnique et hydraulique, en passe après à la partie d'exécution qui contient le dimensionnement de la digue et les ouvrages annexes.

La région contient des argiles et des graviers de différents diamètres donc on va caractériser le profil le plus adapté qui est un barrage en remblais homogène avec noyau en argile.

En termine par un appel d'offre générale nationale et internationale ouvert avec des exigences de capacité minimales. Après on choisit l'offre jugée la plus favorable proposée par les soumissionnaires. Après on passe aux phases suivantes qui sont la réalisation, fonctionnement et retrait.

9. Revue de la littérature :

Les petits barrages actuellement, très fréquent dans plusieurs régions, sont inspirés de principes précurseurs vieux de plusieurs millénaires. Dès le premier siècle après J. C., les Yéménites avaient construit un grand nombre de petits ouvrages dans les vallées et en avaient même creusé le long des pentes. (11)

Au Brésil et en particulier dans la région du Nordeste, la construction des premiers petits barrages du type retenus collinaires dits "açudes" remonte à 1830. Ce sont les progrès enregistrés après la Seconde Guerre mondiale dans la technique des petits barrages en terre, qui ont permis la multiplication rapide de réserves destinées entre autres à l'irrigation et qu'il est convenu d'appeler, notamment en Algérie, lac collinaire. (11)

Ces infrastructures se sont développées en Italie et en France dans les années 1951, en revanche les pays du Maghreb ont connu un développement de cette technique grâce à la réussite de l'expérience italienne. (11)

La France a connu un début timide en 1962, elle a réalisé 24 retenus collinaires de 3000 à 18000 M³ avec une capacité totale de 142000m³, de 1976 à 1992 elle a connu un essor important d'où elle a construit 257 retenus collinaires d'une capacité totale de 1782700m³. (12)

La petite hydraulique au Maroc a connu une révolution grâce à l'expérience italienne, en 1953 ils ont atteint un nombre de 200 petits barrages (11). Grâce à la nouvelle politique des barrages intitulés par le roi Mohammed VI dispose un rythme de réalisation de 2 à 3 grands barrages par an et des dizaines de petits barrages, cette technique a mené le Maroc à atteindre un nombre de 140 grands barrages en 2015 avec une capacité de 17,6 md m³. (13)

En Algérie la réalisation de la première retenue collinaire suivie rapidement par plusieurs autres dates seulement de 1976 à Béni-Slimane (Bouira). Malgré ces conclusions et les particularités du climat et du relief algérien, l'Etat a relancé en 1985 un grand programme comprenant 700 retenues et 300 barrages collinaires. Dans la pratique, il s'agit d'ouvrages Collinaires de taille très variable (11). L'Algérie compte actuellement environ de 718 retenus collinaires de capacité totale (89,7 Hm³) (4).

10. Aperçu des chapitres :

Proposal

Revue de la littérature

CHAPITRE I : Conceptualisation d'un système d'un petit barrage

CHAPITRE II : Morphométrie du bassin versant

CHAPITRE III : conception de la digue

CHAPITRE IV : ETUDES DES INFILTRATIONS ET DE LA STABILITE DE LA DIGUE

CHAPITRE V : LES OUVRAGES ANNEXES

CONCLUSION

REVUE DE LITTERATURE

1.	Historique et chiffres des petits barrages :	29
2.	DEFINITION GENERALE D'UN BARRAGE :	30
3.	DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE	31
4.	Facteurs influençant sur le choix d'un type de barrage :	34
5.	Classification des barrages :	34
6.	Objectif et but des petits barrages :	35
7.	Ouvrages annexes :	36
8.	Cycle de vie d'un barrage :	38
9.	Etude d'avant-projet détaillé :	41

1. Historique et chiffres des petits barrages :

1.1 Les Açudes au Nordeste brésilien :

Le manque de techniques et les moyens de réservation des eaux de ruissèlement et des mois pluvieux de l'année ont causé une sécheresse dans la décennie 1820-1830, c'est la première cause au démarrage des açudes.

Le premier grand açudes est achevé en 1906, Actuellement, on compte 450 açudes de capacité supérieure à 1 million de mètres cubes construits par L'Etat brésilien et plus de 70 000 petits réservoirs privés. Dans certaines régions, à l'intérieur du Rio Grande de Norte par exemple, la densité est de l'ordre d'un açude par kilomètre carré et le volume emmagasiné est alors faible de l'ordre de quelques milliers de mètres cubes par açude.

Les açudes sont devenus un élément du paysage du Nordeste brésilien à cause de leur nombre important et l'agriculture irriguée c'est développée grâce à ces açudes. Mais il y a un grand risque qui les menace c'est le risque de sécheresse, surtout pour les plus petits réservoirs au cours des mois où la demande en eau est la plus importante, pour cela il est nécessaire de construire des réserves en eau capables de résister à plusieurs années de sécheresse, en évitant la prolifération de petits barrages et en veillant à ce que l'eau soit rapidement utilisée. (11)

1.2 Réussite de l'expérience italienne :

En Italie, l'histoire de la construction des petits barrages et retenues collinaires, est très particulière et repose sur la nécessité de trouver une utilisation à l'important matériel de terrassement de grosses capacités laissé par les années américaines après la fin de la guerre, jointe à l'obligation de trouver une solution pour améliorer l'agriculture. Les ingénieurs italiens ont ainsi été amené à construire des petits barrages en terre de quelques dizaines de milliers de mètres cubes de capacité pour favoriser l'irrigation des terres immédiatement dominées. (11)

Les premières entreprises ont connu un succès rapide ce qui a amené le gouvernement Italien à créer dès 1953 un Office des lacs collinaires, pour le développement de ces ouvrages. Les conditions naturelles favorables à la construction des petits barrages de différentes tailles, depuis la petite digue de 4 ou 5 mètres de

hauteur retenant quelques milliers de mètres cubes d'eau, destinée à l'irrigation de quelques hectares jusqu'à la digue de 20 mètres de hauteur pour les grands périmètres d'irrigation. (11)

Les pays européens et africains ils ont inspiré leur développement dans le domaine de la construction de ces ouvrages grâce à la réussite des entreprises Italiennes. (11)

1.3 L'expérience Algérienne dans le domaine des études des petits barrages :

Avec une demande en eau croissante, l'Algérie s'est vue contrainte de mobiliser au maximum ses ressources en eau superficielles par la réalisation de petits barrages.

La réalisation de la première retenue collinaire suivie rapidement par plusieurs autres dates seulement de 1976 à Béni-Slimane (Bouira). Malgré ces conclusions et les particularités du climat et du relief algérien, l'Etat a relancé en 1985 un grand programme comprenant 700 retenues et 300 barrages collinaires (11). Les ingénieurs ayant en charge ont effectué des études sur quelques retenues collinaires et petits barrages et mis au point un ensemble de manuels pour aider à la réalisation du reste du programme national. Le manuel relatif au calcul et au dimensionnement hydrologique (14).

Après les échecs enregistrés dans la réalisation de tels ouvrages du fait de la négligence d'études préalables, l'administration publique concernée prit en charge sérieusement la conception des retenues collinaires sur la base d'un dossier d'études répondant à des normes techniques établies. Le manque d'expérience dans de telles études a engendré un investissement colossal dans les travaux de conception. Pour remédier à cette situation, les bureaux d'études algériens ont développé leur propre méthodologie d'étude (15).

L'Algérie compte actuellement environ de 718 retenues collinaires de capacité total (89,7 Hm³) (4).

2. DEFINITION GENERALE D'UN BARRAGE :

Un barrage est un ouvrage hydraulique à travers un cours d'eau, pour stocker une part plus ou moins importante du débit mais sert aussi à la régulation des débits

réclamée par l'agriculture, à la production d'électricité et à la protection contre les crues, la navigation, l'alimentation en eau potable, les usages industriels, le tourisme. (16)

3. DIFFERENTS TYPES DE BARRAGE

On peut distinguer plusieurs types de barrages en fonction de la géométrie des sites et des objectifs qui leur sont assignés :

3.1 Barrages rigides :

Le barrage-poids résiste à la poussée de l'eau et aux sous-pressions grâce à son propre poids. La surface en contact avec le réservoir (face amont) est généralement verticale, alors que la face aval s'incline graduellement en se rapprochant du sol. Etant donné que les pressions sont plus importantes près de la fondation, il est généralement de profil triangulaire. Son poids doit être suffisant pour qu'il ne glisse pas sur sa fondation et ne bascule pas sur lui-même. Les barrage-poids en béton sont soit en béton conventionnel vibré, soit en béton compacté au rouleau (B.C.R). (17)

3.1.1 Barrages à contreforts

Ils sont constitués d'un voile d'étanchéité en béton armé, souvent incliné vers l'aval, et ce sont cette fois, principalement, les contreforts qui compensent la poussée de la retenue d'eau et non pas sa masse. Les barrages à contreforts sont des ouvrages qui nécessitent de faibles volumes de béton, par contre le coffrage doit être réalisé avec soin. (17)

3.1.2 Barrages voûtes

Ce type d'ouvrage utilise la courbure du mur pour contrecarrer la pression de l'eau. Ce sont les barrages les plus hauts et ils sont généralement installés dans des gorges étroites avec des fondations présentant de bonne qualité mécanique. Ils peuvent constituer des solutions relativement économiques par rapport à des barrages –poids par exemple. (17)

3.2 Barrages en remblai

Ce sont les plus nombreux et les plus simples à réaliser, Ils sont généralement constitués de deux types de matériaux : du remblai et d'une couche étanche disposée soit au milieu, soit à l'amont dans le cas des barrages à masque. (17)

3.2.1 Barrages en terre

Ils peuvent être constitués par des matériaux de caractéristiques très diverses, à la différence des barrages en béton ou même en enrochement dont les matériaux constitutifs restent contenus dans des fourchettes beaucoup plus étroites. Ces barrages se subdivisent en deux familles principales selon le type de structure. (17)

3.2.2 Barrages en terre homogène

Les barrages homogènes sont le plus souvent réalisés en argile peu plastique dont les caractéristiques tant hydrauliques que mécaniques permettent en toute sécurité d'adopter des pentes de talus de 1/2 ou 1/2.5 en amont et en aval, moyennant les spécifications de compactage. Ils sont constitués d'un massif en terre compactée imperméable, muni d'un dispositif de drains dans sa partie avale et d'une protection mécanique contre l'effet du batillage dans sa partie amont. La forme générale est trapézoïdale avec des largeurs en crête de 3.5 à 5 m pour les hauteurs les plus courantes. Ces types de barrages sont recommandés lorsqu'on dispose sur place et en quantité suffisante de matériaux terreux permettant d'obtenir après compactage des conditions d'étanchéité et de stabilité satisfaisantes. (17)

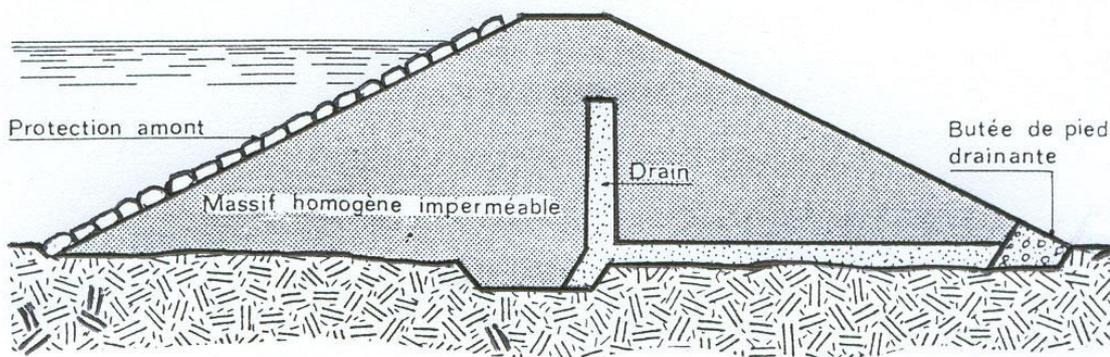


Figure 3: Barrage en terre homogène (Google)

3.2.3 Barrage à profil zoné ou à noyau

Comme son nom l'indique, il est constitué d'un noyau étanche au centre (ou en amont) et de deux recharges en matériau plus grossier dont le rôle est d'assurer la stabilité de l'ensemble du massif. La fonction d'étanchéité est assurée par le noyau réalisé en matériau argileux. En outre, l'étanchéité du barrage doit être prolongée dans ses fondations soit par ancrage du noyau, soit en réalisant au - dessous du noyau une coupure étanche telle que rideau d'injection etc.

On s'oriente souvent vers ce type de barrage pour des ouvrages de grande hauteur et/ou lorsqu'on constate l'hétérogénéité des matériaux disponibles sur place et lorsque le volume de matériaux étanches est insuffisant pour constituer tout le corps de l'ouvrage. (17)

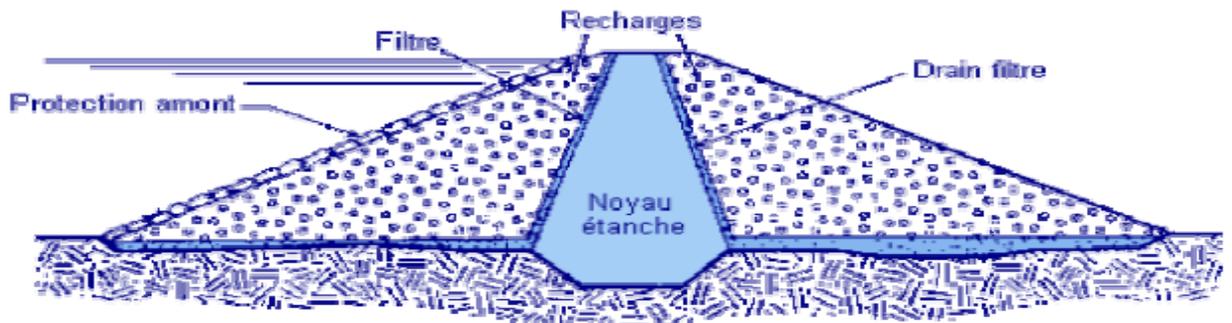


Figure 4: Barrage zone (Google)

3.2.4 Barrages en enrochement à masque amont

Ce sont des ouvrages poids dont les matériaux constitutifs sont essentiellement des tas de gros cailloux. La résistance à la poussée de l'eau est assurée par le poids du massif, le masque amont est une paroi étanche reposant sur une couche d'éléments fins drainant (et peut nécessiter, suivant sa nature, une couche de protection) dans la partie amont du barrage. Il existe de nombreuses natures de masque étanche telles que béton de ciment ou bitumineux, chapes préfabriquées, membranes souples etc.

Le masque amont présente l'avantage de pouvoir être exécuté après l'édification du remblai et de pouvoir être réparé aisément. Cependant, il est exposé aux agressions extérieures (mécaniques ; thermiques...). Enfin, comme dans le cas du barrage à noyau, le masque amont doit être prolongé s'il y a lieu, par une coupure étanche dans les fondations du barrage. (17)

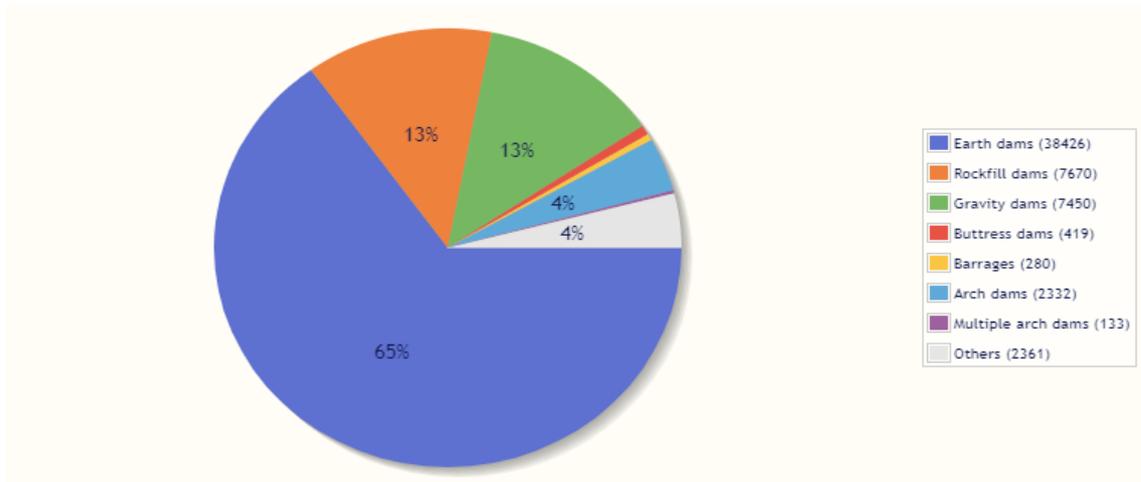


Figure 5: Types de barrages dans le monde (7)

4. Facteurs influençant sur le choix d'un type de barrage :

Le choix d'un type de barrage se fait à base de la qualité de la fondation, et de la disponibilité des matériaux de construction en quantité et en qualité suffisantes proche du site. Aussi, la disponibilité de la main-d'œuvre abondante pourrait orienter le choix vers les barrages en maçonnerie ou en gabions. (16)

5. Classification des barrages :

Il y a une classification universelle pour faire la différence entre les petits et les grands barrages, les critères de classification sont les mêmes partout dans le monde : la hauteur de la digue, le volume de la retenue et parfois la superficie du bassin versant.

Le Comité International des Grands Barrages (CIGB) considère comme grand barrage tout ouvrage dont la hauteur sur fondation est supérieure à 15 m, ou une hauteur comprise entre 10 et 15 m avec toutefois une capacité de retenue dépassant 1 million de m³, une longueur en crête de 500 m au maximum et un débit évacuable supérieur à 2000 m³/s. Actuellement le plus grand barrage du monde est en cours de construction ; il s'agit de celui décidé par la Chine et édifié sur le fleuve Yangtze, son lac de retenue fera 600 kilomètres de long et contiendra 40 milliards de mètres cubes d'eau. L'achèvement du projet est prévu pour 2009.

En France, si la hauteur de l'ouvrage est supérieure ou égale à 20 m et la retenue d'eau supérieure à 15 millions de m³, il est appelé "grand barrage" ; Sinon, il s'agit d'un petit barrage.

Au Maroc, on entend par petit barrage, l'ouvrage dont la hauteur est de 10 à 30 m ; le volume de la retenue ne dépassant pas 2 millions de m³ et avec une superficie de bassin versant compris entre 0.5 à 10 km². Au-delà, il s'agit d'un grand barrage. Le plus grand barrage du Maroc est celui d'Al Wahda avec une capacité de 3,8 milliards m³ et 80 m de hauteur. (16)

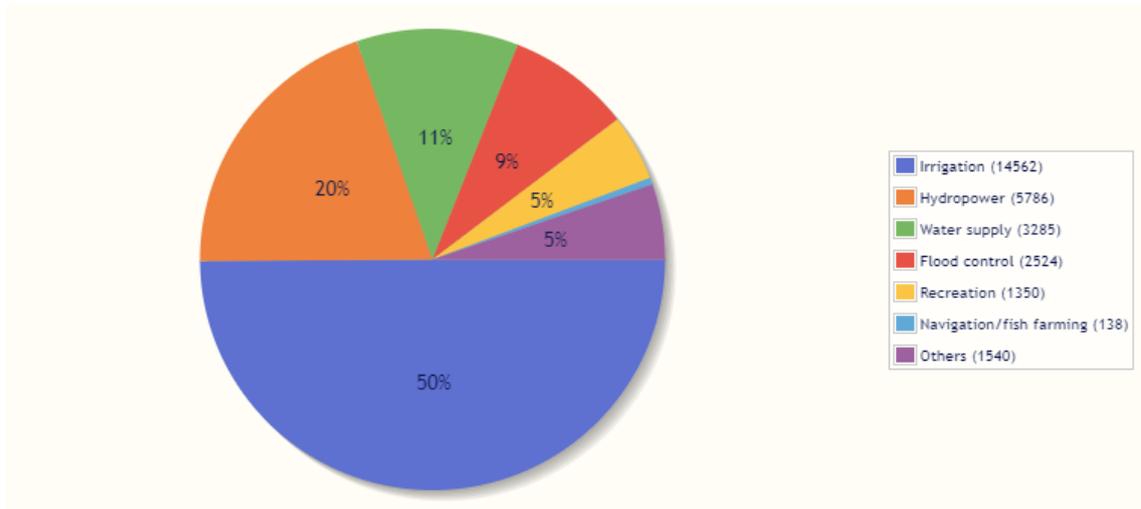


Figure 6: Les barrages à fonction unique (7)

6. Objectif et but des petits barrages :

Implantés dans des environnements fragiles et à faible activité économique, les petits barrages apparaissent comme des aménagements très innovants. Ils sont susceptibles de transformer profondément les systèmes de production agricole traditionnels, et même de changer les comportements sociaux face à cette mise à disposition d'une ressource naturelle rare et vitale : l'eau. En effet, ces ouvrages s'intègrent de façon naturelle dans le paysage et sont capables de maintenir les populations rurales en leur assurant de réelles possibilités de développement.

La construction des petits barrages vise plusieurs objectifs :

- la protection contre les crues et la dégradation des infrastructures situées en aval (villages, routes, périmètres agricoles) ;
- la dissémination de points d'eau dans le paysage pour l'alimentation en eau potable, l'abreuvement du cheptel et l'irrigation ;
- la régulation et la conservation des flux hydriques (captage du ruissellement, recharge des nappes phréatiques etc.) ;

- l'amélioration de l'environnement par la création d'oasis, l'extension du reboisement et la lutte contre l'érosion des sols et la protection des grands barrages en aval contre l'envasement ;
- le développement et l'amélioration des activités agricoles (cultures maraîchères, pisciculture, vergers...) ;
- et enfin, la création d'activités économiques nouvelles comme la pêche, le tourisme, les résidences secondaires et les aires récréatives.

Cependant, l'efficacité et la durabilité de ces ouvrages demeurent fonction de nombreux problèmes à résoudre qui va d'une part du choix du site et de la réalisation technique jusqu'à la participation des acteurs locaux au projet et d'autre part à la régularité sur les interventions d'entretien et de la maintenance de ces ouvrages. (16)

7. Ouvrages annexes :

7.1 Evacuateur de crue :

L'évacuateur de crue est un élément de sécurité d'un barrage qui permet l'évacuation des crues. Pour un barrage en remblais l'EVC peut être placé dans les rives du barrage mais si les conditions du géologique et topographique ne permettent pas on le place au milieu.

Pour dimensionner un évacuateur de crue il faut établir un calcul de laminage pour connaître la longueur déversant, on distingue deux grandes familles d'EVC, il y a les évacuateurs de surface et l'EVC de fond, un EVC de surface comporte en général trois parties :

- A l'amont, un seuil déversant (la crête) sur lequel s'établit l'écoulement torrentiel et qui contrôle ainsi le débit évacué ;
- un ouvrage intermédiaire d'accompagnement à pente accentuée appelé Coursier, qui entretient ou accélère l'écoulement torrentiel. Selon la topographie de la vallée à l'axe du barrage, le coursier peut garder la même largeur jusqu'au pied aval ou, le cas échéant, avoir une convergence. ;
- un ouvrage terminal à partir duquel le flot évacué revient au lit naturel cuillère déflectrice avec ou sans fosse d'amortissement aménagée, ou bassin à ressaut.

(18)

7.1.1 Le coursier :

Me coursier conduit le flot déversé jusqu'au point situé à l'aval du barrage et on général ils ont un tracé rectiligne car ils sont prévus pour des écoulements à surface libre torrentiels difficiles à orienter.

On distingue deux types de coursier, le coursier libre et le coursier en marches d'escalier, le dernier est destiné pour les écoulements en nappe et les écoulements turbulent et les écoulement transitoire. (18)

7.2 Vidange de fond :

La vidange de fond est avant tout un organe de sécurité dont les principales fonctions sont :

- Maîtriser la montée du plan d'eau lors du premier remplissage ;
- Permettre l'abaissement du plan d'eau, voire la vidange du bassin de retenue en cas de danger menaçant la sécurité de l'ouvrage ;
- Maintenir le plan d'eau abaissé en cas de nécessité (travaux d'entretien ou travaux consécutifs à un événement exceptionnel) ;
- Servir d'organe complémentaire pour l'évacuation de la crue de projet ou de sécurité. (18)
- Possibilité de vider complètement la retenue pour la mise hors d'eau soit pour l'inspection ou entretien.

Une autre fonction importante de la vidange de fond est l'exécution de chasses périodiques pour l'élimination des dépôts dans la retenue. Elle est calée en principe assez bas, en général à 1/3 de la hauteur du barrage, pour diminuer l'envasement dû à la sédimentation des apports solides.

Il est souhaitable que la vidange de fond soit équipée de deux vannes, l'une remplissant la fonction de dispositif de sécurité (réserve, révision), l'autre celle de dispositif d'exploitation ou de réglage. Une vanne batardeau en amont permet de vider la galerie pour procéder à une inspection et réaliser des travaux d'entretien. (18)

7.3 Ouvrage de prise

L'ouvrage de prise est généralement groupé avec l'ouvrage de vidange, sauf lorsque la prise se fait par pompage ou par siphonage par-dessus le barrage. La prise d'eau proprement dite peut être fixée au fond de la retenue. Elle peut consister en un simple piquage en dérivation à l'extrémité aval de la conduite de vidange.

Dans des certains cas, il peut être intéressant de prélever l'eau soit en surface de la retenue, soit à différents niveaux de celle-ci, en fonction de la température de l'eau notamment. On y parvient au moyen d'une tour de prise munie d'orifices vannés à différentes hauteurs.

Dans des petits ouvrages, on peut prévoir un moine qui est une sorte de petite tour de prise rustique très simplifiée. (18)

8. Cycle de vie d'un barrage :

Les différentes phases entrant dans la conception d'un petit barrage sont :

- Étude de faisabilité : localisation du site et recherche des données sur le bassin versant (données climatiques et morphologiques),
- Dimensionnement hydraulique : calcule des différentes côtes et détermination des s caractéristiques du barrage,
- Dimensionnement du remblai : caractérisation de la forme et calcule des dimensionnes du remblai.

Avant d'entreprendre toute phase d'étude, il faut d'abord savoir à quelle fin sera utilisé la retenue et donc il sera nécessaire de connaître les besoins, Pour les petits barrages sont basés plus fort sur les besoins agricoles. (19)

8.1 Les besoins agricoles :

Pour ces besoins il faut tenir en compte :

- Les cultures sur cycle de développement (calendriers culturaux),
- L'évapotranspiration potentielle de site (ETP),
- Les surfaces à irriguer

Il y a lieu de tenir compte plus précisément de l'évapotranspiration mensuelle ou décadaire et d'évaluer mois par mois ou décade par décade les volumes d'eau nécessaires.

Si on veut pratiquer des cultures de décrue, le problème ne se pose pas en termes de volume stocké mais en termes de surface cultivable inondée ; il s'agit alors d'assurer un niveau d'eau qui puisse être vidangé. (20)

8.2 Étude préliminaire :

L'étude préliminaire doit précéder toutes les études détaillées sur le site. Elle est composée du choix du site, recherche des données climatiques et morphologiques sur le bassin versant, levé topographique de la cuvette de barrage et l'étude géotechnique. (19)

8.2.1 Choix du site :

L'étude comparative des sites inventoriés, tant du point de vue :

- Caractéristiques techniques propres à chacun des sites,
- Leurs avantages relatifs au regard de l'aménagement proposé,
- Et de leur insertion dans leur environnement physique et humain, permettra de mettre évidence un nombre restreint de sites entre lesquels doit être effectué le choix définitif.

Le géologue doit, lors de ces visites, indiquer aux autres techniciens :

- Les conditions géologiques de chaque site,
- Ce qui est visible et ce qui reste hypothèses,
- Le type des travaux d'études qui seraient nécessaires pour lever ces hypothèses

- l'implantation probable de ces travaux, afin que l'on puisse en tenir compte dans la définition du géomètre et des entreprises chargées des aménagements préparatoires (débroussaillage, aménagement d'accès, levé topographique...). (21)

Le choix du site est la phase la plus délicate dans la conception d'un petit barrage parce qu'elle aura beaucoup d'influence sur la réalisation et la vie de l'ouvrage.

Une fois identifier la zone d'intervention pour le choix du site, il faut des cartes au moins à l'échelle 1 : 50-20.000, ou des photos aériennes, pour étudier la géomorphologie de la zone. (19)

Dans le choix du site on doit tenir compte de plusieurs facteurs. En effet il faut considérer les buts du barrage, les caractéristiques d'écoulement du cours d'eau et les caractéristiques de la cuvette de la retenue.

Si on considère l'importance de stockage du barrage alors il est nécessaire d'empêcher le colmatage de la retenue par les sédiments. La plus mauvaise pathologie des petits barrages c'est l'envasement rapide, alors il faut bien situer le barrage et éviter les zones fortement érodables, en particulier les zones sablonneuses. (19)

8.2.2 Étude Topographique :

Après avoir identifié sur le terrain l'emplacement du barrage, on procédera à une levée topographique de la section et d'autres profils en travers le long du lac.

Ces levées permettront :

- De dimensionner le barrage et la retenue.
- D'identifier les lieux d'emplacement et le type d'évacuateur des crues.
- De déterminer la position de l'ouvrage de vidange en vérifiant également les possibilités de son exploitation comme ouvrage de déviation provisoire pendant l'exécution des travaux. (21)

8.2.3 Étude hydrologique

Au niveau de l'étude de faisabilité, les données hydrologiques élaborées doivent permettre en premier le dimensionnement de l'ouvrage (capacité ; évacuateur de crue) et de procéder à une première situation du coût du projet.

Dans ce but, l'étude hydrologique commencera :

- La description du B.V
- L'apport moyen interannuel
- L'apport fréquentiel
- Les débits de crue. (21)

8.2.4 Étude géotechnique

Elle complète les observations faites au moment de la visite sur le terrain et détermine la nature des matériaux de fondation et leurs caractéristiques mécaniques, ce qui permet de choisir les types de fondation et le dimensionnement de la digue. L'étude géotechnique doit prévoir des sondages le long de l'axe de l'ouvrage, dans la zone du déversoir, dans la cuvette et dans la zone de la carrière. (19)

8.2.5 Estimation des coûts

Chaque schéma d'aménagement comprendra les éléments suivants :

- Localisation de l'aménagement sur la cartographie si elle existe.
- Type du barrage réalisable : volume de retenue, caractéristiques et dimensions approximatives du barrage, modalités d'évacuation des crues et modalité de prise et de vidange.

Pour chaque aménagement sera dressée une estimation sommaire des coûts, comprenant ceux relatifs aux :

- Reconnaissances supplémentaires (Topo, Geolo, Geotech...)
- À l'élaboration de l'avant-projet détaillé.
- À la supervision de la réalisation complète des ouvrages.

9. Etude d'avant-projet détaillé :

Elle concerne les études des variantes présélectionnées lors de la phase préliminaire. Il s'agit des études d'avant-projet détaillées qui permettront la réalisation des aménagements.

Les études d'avant-projet détaillé comprennent :

- 1- Levés et études topographiques
- 2- Études hydrologiques
- 3- Études géologiques et géotechniques
- 4- Évaluation des besoins en eau
- 5- Étude de régularisation
- 6- Études d'impacts du projet

- 7- Types, caractéristiques et dimensionnements des ouvrages
- 8- Les prescriptions techniques
- 9- Avant-métré et détail estimatif. (22)

9.1 Levés et études topographiques :

Les données topographiques indispensables concernent :

- Le B.V au niveau du site
- Le site du barrage
- La cuvette de la retenue
- Les zones d'emprunt des matériaux de construction
- Pour le bassin versant, il est souhaitable de disposer d'un plan en CN aux 1/10000 ou 1/20000 avec équidistance des courbes de 10 m. Ainsi sur ce plan on matérialisera l'axe de la future digue et on délimitera le B.V alimentant la retenue.

L'étude de la cuvette de retenue et des zones d'emprunt exige d'avoir un plan au 1/2000 ou 1/1000 et en courbe de niveau mètre par mètre. Par contre, la zone d'implantation de la digue demande un détail au 1/500. A noter que ces deux plans doivent permettre :

- De faire un choix sur l'emplacement optimal de l'axe du barrage
- De tracer les courbes de capacité en fonction de la cote dans la retenue et de la surface inondée en fonction du niveau de la retenue.
- D'évaluer le volume du remblai et du béton pour les différents ouvrages
- De choisir les implantations convenables
- De repérer les zones d'emprunt
- De fournir aux géologues et géotechniciens des fonds topo du travail qui permettent de mieux caractériser la géologie locale de la cuvette et du site du barrage. (21)

9.2 Étude hydrologique :

L'étude hydrologique du projet a pour but l'estimation de tous les paramètres hydrologiques nécessaires au dimensionnement définitif des ouvrages :

- Apports moyens et fréquents
- Distribution des apports
- Débit maximal instantané
- Volume et hydrogramme de crue
- Apports solides
- Qualité des eaux d'où nécessité de collecter les données provenant des stations d'observations hydro climatologiques. (21)

9.3 Dimensionnement hydraulique des ouvrages :

La retenue est caractérisée par un volume de stockage, au-dessous du niveau de la buse, et un volume de laminage entre niveau buse et niveau de maximum retenu.

Le volume de stockage doit être dimensionné sur la base du volume d'écoulement moyen annuelle, parce qu'il doit se remplir même dans les années plus sèches et, aux mêmes temps, permettre un écoulement suffisant pour la vie des populations, animaux et végétations à l'aval du site.

Dans la suite est montré une possible méthode de dimensionnement des barrages d'écrêtages, le schéma des calculs est nécessairement simplifié et parfois on montre des valeurs par les différents coefficients introduits. Ces valeurs doivent être considérées des valeurs moyennes qui puissent être changées avec des connaissances plus approfondies des phénomènes naturels qui ils servent pour schématiser. (19)

9.4 Dimensionnement du remblai

Une fois dimensionnée les ouvrages annexes il faut calculer les dimensions du remblai, sur le talus à l'amont et sur celui à l'aval et pour garantir l'accessibilité de l'ouvrage on fixe la largeur de la crête. Pour améliorer le contact entre les remblais et le terrain de fondation on réalise une tranchée d'ancrage et un décapage de la zone d'assise du barrage. La profondeur nécessaire pour un bon ancrage et décapage sont en fonction du type de terrain de fondation, dans la suite on donne des indications pour le

calcul de ces profondeurs, les valeurs calculées doit être considérées moyenne et corrigés en fonction du type de terrain. (19)

Chapitre I : Conceptualisation d'un système d'un petit barrage

1.	Introduction :	46
2.	Définition d'un système :	46
3.	Système d'un barrage :	47
4.	Ouvrages annexes et leur fonction :	47
5.	L'interaction entre les composants d'un système d'un barrage :	50
6.	Conclusion :	57

1. Introduction :

Le métier de base de l'ingénieur consiste à **résoudre des problèmes de nature technologique, concrets et souvent complexes**, liés à la conception, à la réalisation et à la mise en œuvre de produits, de systèmes ou de services. Cette aptitude résulte d'un ensemble de connaissances techniques d'une part, économique, social et humain d'autre part, reposant sur une solide culture scientifique.

Coté engineering, le système doit contenir au moins les éléments suivants :

- L'application des processus d'ingénierie pour définir et résoudre les problèmes utilisant des connaissances de bases scientifiques, techniques et professionnelles.
- L'engagement des ingénieurs et professionnels, de différents profils, dans le processus de résolution des problèmes en équipe.
- Les outils utilisés par les ingénieurs et les professionnels L'interaction de l'ingénieur avec le client et le manager de l'ingénierie.
- Les contraintes économiques, politiques, éthiques et sociales constituent les conditions aux limites de toutes les solutions afférentes à des problèmes techniques.

Le management de projet est l'application de connaissances, de compétences, d'outils et de techniques aux activités d'un projet afin d'en satisfaire les exigences. Cette application de connaissances nécessite le management efficace de processus appropriés.

2. Définition d'un système :

(BERTALANFFY, 1973) définit « Un système comme un Complexe d'éléments en interaction ». De **ROSNAY,1975** quant à lui le définit comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but. Plus généralement, un système est considéré comme un ensemble des composantes reliées entre eux pour atteindre un objectif (23). Les composants d'un système sont des parties d'un système et on peut les appeler des sous-systèmes, ils concernent : les entrées, les processus et les sorties de système. (23)

3. Système d'un barrage :

Le barrage est un système d'aménagement hydraulique, composé de plusieurs parties physiques et un processus opérationnel qui régissent son fonctionnement.

Les éléments physiques d'un barrage sont constitués essentiellement par :

3.1 Le bassin versant :

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau peut être défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de la section. Tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée (exutoire) pour poursuivre leur trajet vers l'aval. Un bassin versant est séparé de ceux qui l'environnent par une ligne de partage des eaux. (24)

3.2 La cuvette :

C'est un lac de barrage, lac de retenue ou réservoir est un plan d'eau alimenté par des ruissellements. La cuvette a donc pour but de stocker le volume d'eau dont on a besoin. Cette eau peut être restituée en aval grâce à des ouvrages annexes telles les prises d'eau ou les vidanges/restitutions. (24)

3.3 La digue :

Une digue est un remblai longitudinal, de nature artificielle et la plus souvent composé de terre elle peut être constitué par un seul matériau (homogènes) ou par des matériaux qui ont des caractéristiques divers (hétérogène). (25)

4. Ouvrages annexes et leur fonction :

4.1 Evacuateur de crue :

L'évacuateur de crue est un élément de sécurité d'un barrage qui permet l'évacuation des crues. Pour un barrage en remblais l'EVC peut être placé dans les rives du barrage mais si les conditions du géologique et topographique ne permettent pas on le place au milieu.

Pour dimensionner un évacuateur de crue il faut établir un calcul de laminage pour connaître la longueur déversant, on distingue deux grandes familles d'EVC, il y a les évacuateurs de surface et l'EVC de fond, un EVC de surface comporte en général trois parties :

- A l'amont, un seuil déversant (la crête) sur lequel s'établit l'écoulement torrentiel et qui contrôle ainsi le débit évacué ;
- Un ouvrage intermédiaire d'accompagnement à pente accentuée appelé Coursier, qui entretient ou accélère l'écoulement torrentiel. Selon la topographie de la vallée à l'axe du barrage, le coursier peut garder la même largeur jusqu'au pied aval ou, le cas échéant, avoir une convergence. ;
- Un ouvrage terminal à partir duquel le flot évacué revient au lit naturel : cuillère défectrice avec ou sans fosse d'amortissement aménagée, ou bassin à ressaut. (18)

4.2 Le coursier :

Le coursier conduit le flot déversé jusqu'au point situé à l'aval du barrage et en général ils ont un tracé rectiligne car ils sont prévus pour des écoulements à surface libre torrentiels difficiles à orienter.

On distingue deux types de coursier, le coursier libre et le coursier en marches d'escalier, le dernier est destiné pour les écoulements en nappe et les écoulements turbulents et les écoulements transitoires. (18)

4.3 Vidange de fond :

La vidange de fond est avant tout un organe de sécurité dont les principales fonctions sont :

- Maîtriser la montée du plan d'eau lors du premier remplissage ;
- Permettre l'abaissement du plan d'eau, voire la vidange du bassin de retenue en cas de danger menaçant la sécurité de l'ouvrage ;
- Maintenir le plan d'eau abaissé en cas de nécessité (travaux d'entretien ou travaux consécutifs à un événement exceptionnel) ;
- Servir d'organe complémentaire pour l'évacuation de la crue de projet ou de sécurité. (18)
- Possibilité de vider complètement la retenue pour la mise hors d'eau soit pour l'inspection ou l'entretien.

Une autre fonction importante de la vidange de fond est l'exécution de chasses périodiques pour l'élimination des dépôts dans la retenue. Elle est calée en principe assez bas, en général à 1/3 de la hauteur du barrage, pour diminuer l'envasement dû à la sédimentation des apports solides.

Il est souhaitable que la vidange de fond soit équipée de deux vannes, l'une remplissant la fonction de dispositif de sécurité (réserve, révision), l'autre celle de dispositif d'exploitation ou de réglage. Une vanne batardeau en amont permet de vider la galerie pour procéder à une inspection et réaliser des travaux d'entretien. (18)

4.4 Ouvrage de prise :

L'ouvrage de prise est généralement groupé avec l'ouvrage de vidange, sauf lorsque la prise se fait par pompage ou par siphonage par-dessus le barrage. La prise d'eau proprement dite peut être fixée au fond de la retenue. Elle peut consister en un simple piquage en dérivation à l'extrémité aval de la conduite de vidange.

Dans des certains cas, il peut être intéressant de prélever l'eau soit en surface de la retenue, soit à différents niveaux de celle-ci, en fonction de la température de l'eau notamment. On y parvient au moyen d'une tour de prise munie d'orifices vannés à différentes hauteurs.

Dans des petits ouvrages, on peut prévoir un moine qui est une sorte de petite tour de prise rustique très simplifiée. (18)

4.5 Station de pompage :

Les stations de pompage sont utilisées dans différents domaines. Elles sont utilisées en assainissement, et dans l'industrie (hydro-électrique, pétrole...) et beaucoup plus en hydraulique (AEP, irrigation...). (26)

Le présent travail repose pour l'essentiel, sur l'usage hydraulique des stations de pompage destiné pour l'irrigation.

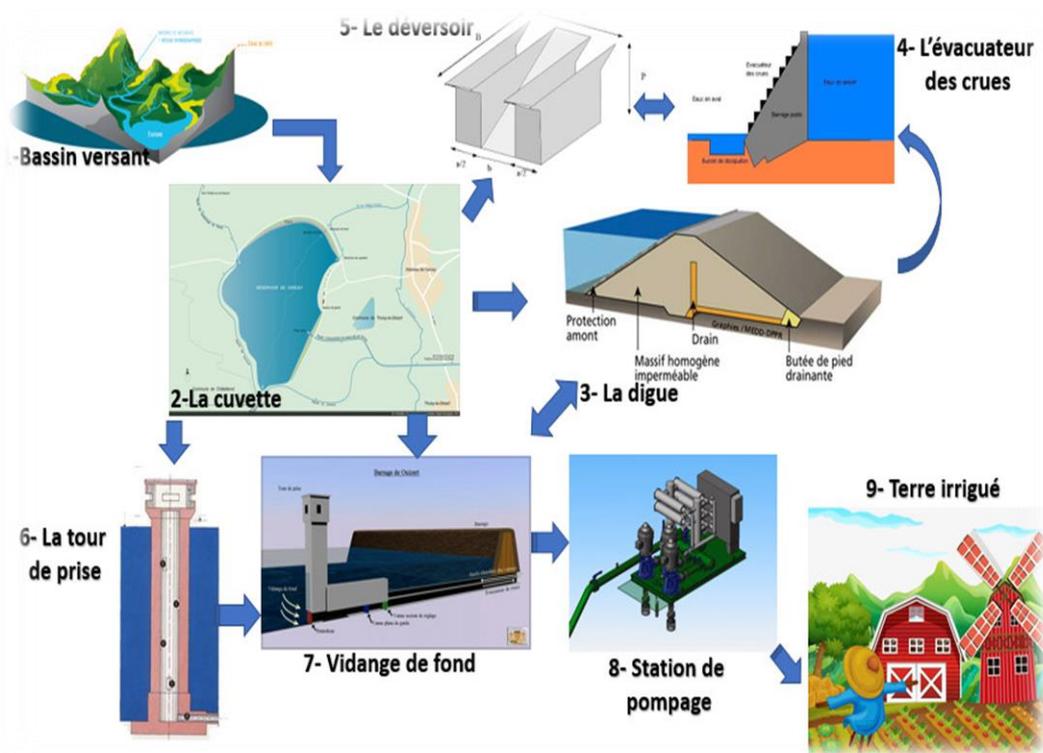


Figure 7: Les éléments physiques d'un barrage

5. L'interaction entre les composants d'un système d'un barrage :

Un système d'un barrage est d'abord un ensemble d'éléments, il ne s'y réduit pas, selon la formule consacrée, le tout est plus que la somme de ses parties :

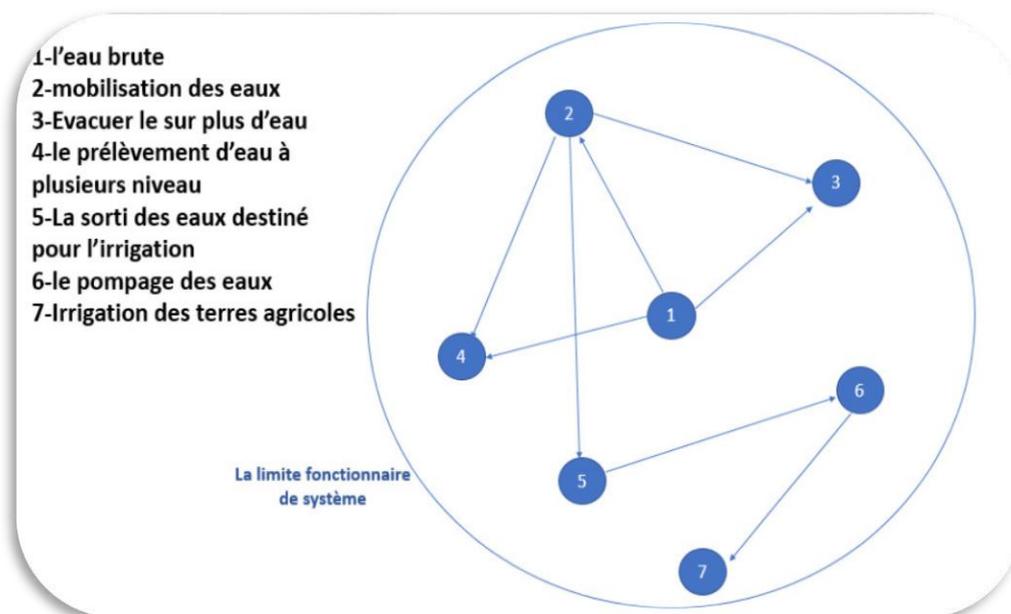


Figure 8: représentation de système d'un barrage

- Renvoie à l'idée d'une causalité non linéaire (mobilisation des eaux).
- Cette interaction fait ressortir les liens de dépendances existant à l'intérieur des différents composants d'un système (le stockage de l'eau brute dans la cuvette par la digue du barrage).
- Une forme particulière d'interaction est la rétroaction (ou feedback) dont l'étude est au centre des travaux de cybernétique.

5.1 L'aménagement fonctionnel :

Le barrage contient plusieurs composants fonctionnaires concertants les entrées, les processus et les sorties.

Analyse Fonctionnelle :



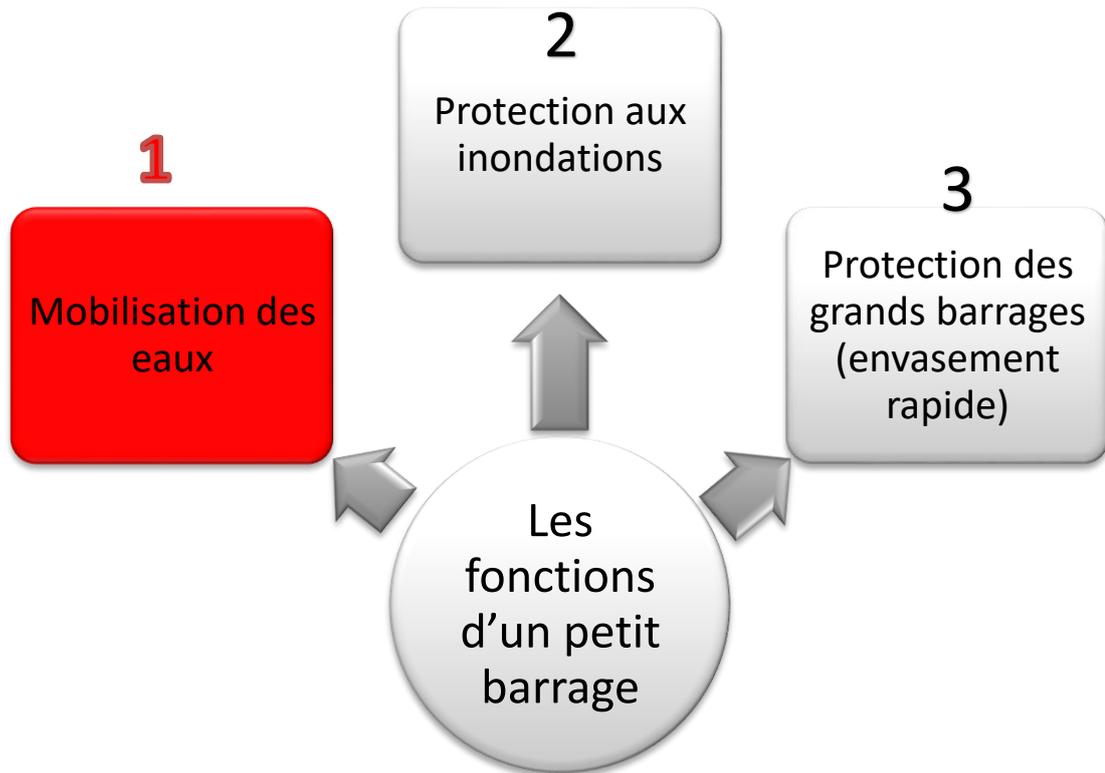


Figure 9: Diagramme fonctionnel basique niveau 1

Un petit barrage est un ouvrage d'art construit à travers un cours d'eau qui est destiné à réguler son débit et/ou à mobiliser de l'eau, notamment pour le contrôle des crues (Protection aux inondations), l'irrigation, l'industrie, l'hydroélectricité, la pisciculture, une réserve d'eau potable, et ils sont utilisés aussi pour la protection des grands barrages aux envasements.

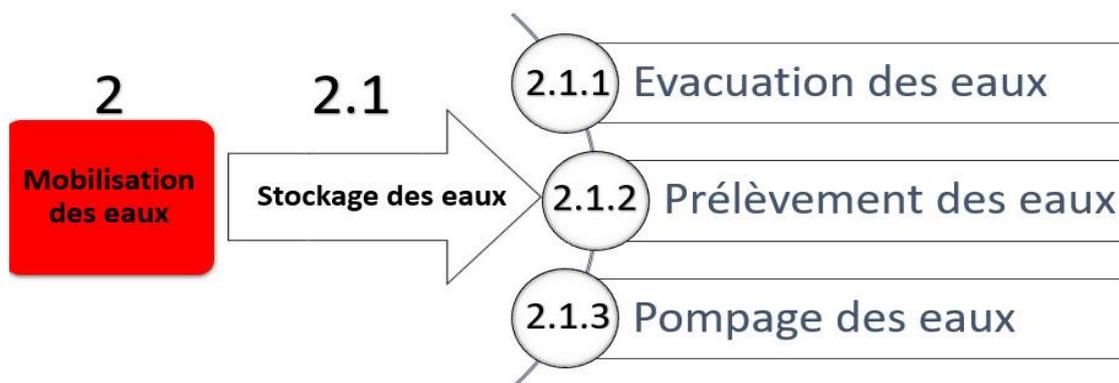


Figure 10: Diagramme fonctionnel basique niveau 2

Les petits barrages ont plusieurs fonctions importantes ; parmi ces fonctions : le stockage des eaux ; Le stockage des eaux c'est le résultat de relations entre plusieurs éléments (bassin versant, cuvette, digue...).

5.2 Stockage des eaux

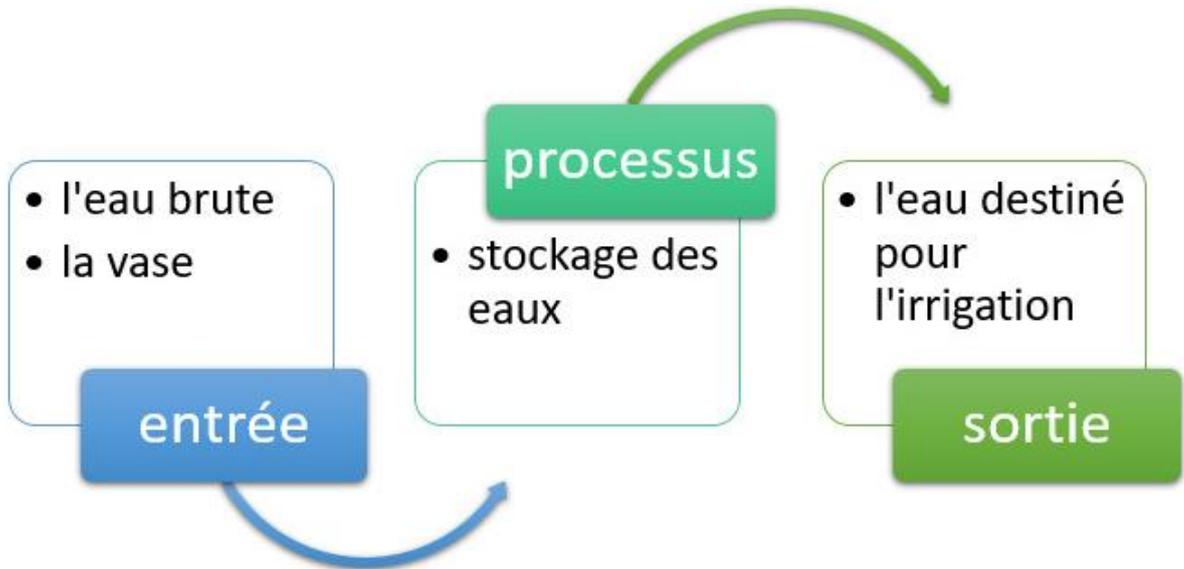


Figure 11: L'analyse fonctionnelle de stockage des eaux

Le stockage des eaux c'est l'objectif numéro un d'un petit barrage ; cet objectif est un processus important dans le barrage qui consiste à conserver des quantités des eaux pour atteindre quelques besoins. Cette fonction a une entrée c'est de l'eau brute et la vase qui vient du bassin versant, un processus qui est le stockage des eaux ; l'eau est stockée dans la cuvette du barrage avant d'être distribuée à la population et autres utilisateurs (l'irrigation, industries, entreprises, administrations, lutte contre les incendies, nettoyage des rues, etc.), et la sortie de cette fonction est de l'eau pompée vers les terres agricoles par exemple.

5.3 Evacuation des eaux

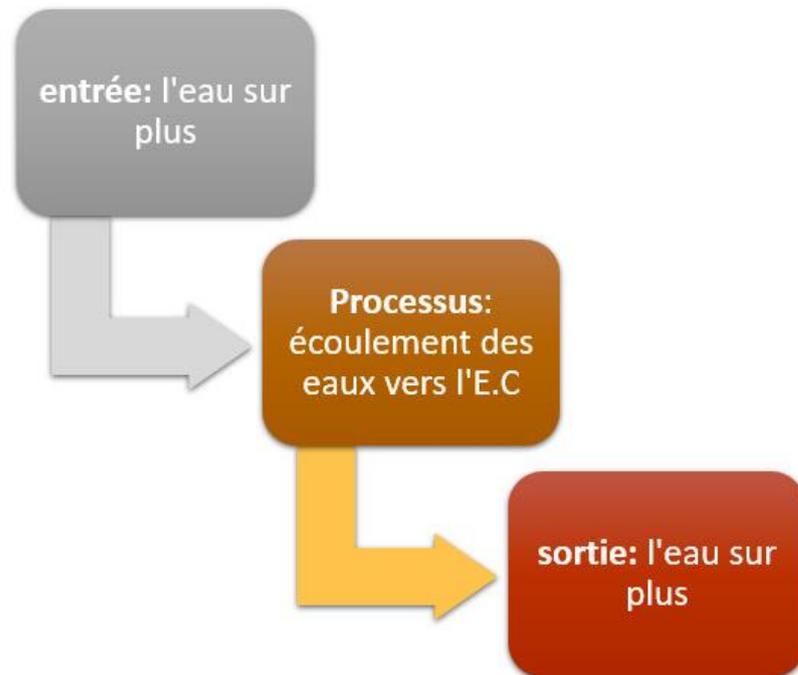


Figure 12: L'analyse fonctionnelle d'EVC

Les petits barrages sont construits pour stocker les eaux à différentes quantités, ça dépend du bassin versant et la quantité pluviale. C'est pour cela que généralement tous ces ouvrages ont un système de protection qui est l'évacuateur des crues, cette fonction est indispensable pour la protection du barrage et son environnement. L'entrée de cette fonction c'est l'eau surplus à cause de la pluie, le processus c'est l'écoulement de ces eaux vers le déversoir qui est en relation direct avec l'évacuateur, et la sortie c'est toujours l'eau surplus vers le bassin d'amortissement du barrage.

5.4 Prélèvement des eaux :

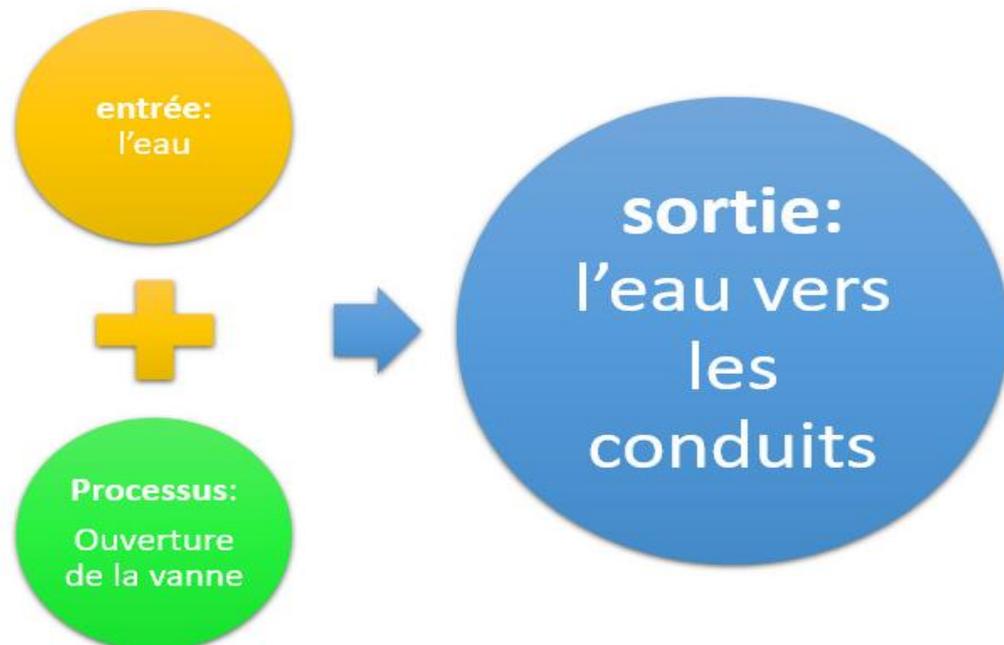


Figure 13: L'analyse fonctionnelle de la tour de prise

Le prélèvement des eaux c'est une fonction de la tour de prise, elle consiste à prélever l'eau soit en surface de la retenue, soit à différents niveaux de celle-ci, notamment en fonction de la température de l'eau.

L'entrée c'est l'eau prélevée du niveau choisi, le processus c'est l'ouverture de la vanne de conduite située au niveau désiré, et la sortie c'est l'eau dirigée vers les conduits de la prise.

5.5 Pompage des eaux :

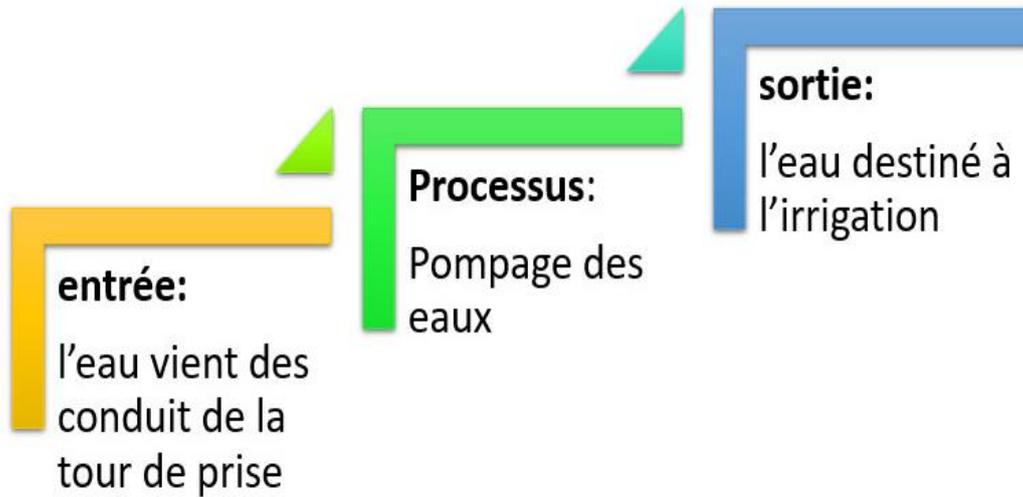


Figure 14: L'analyse fonctionnelle de pompage des eaux

Le pompage des eaux c'est une fonction atteinte par une pompe ou plusieurs ça dépend des quantités des eaux et des distances.

L'entrée c'est l'eau qui vient des conduits de la tour de prise, le processus c'est de faire pomper ces eaux, vers la sortie cette eau est destinée aux besoins (l'irrigation...).

Conclusion :

La conceptualisation d'un système commence toujours par une analyse des besoins, après la définition du système il faut citer les différents éléments et les composants de ce dernier, et on termine par une analyse fonctionnelle.

Le barrage est un système constitué de plusieurs composants qui ont des relations entre elles, nous citons aux passages qu'il y a des relations directes et indirectes.

Le système de ces composantes commence par les contours de bassin versant ce terminant par une cuvette cette dernière est reliés à plusieurs composants ; la tour de prise le déversoir et la digue..., l'eau étant retenue par la digue, le surplus d'eau est dévié vers le déversoir, au milieu de cette cuvette est bâtie la tour de prise qui a pour rôle : des prises d'eau reliée par un système de vidange de fond sont en relation direct d'une station de pompage.

Également un déversoir est relié avec l'évacuateur des crues à signaler que l'eau se trouvant au déversoir passe vers l'evc et est propulsée vers l'extérieur aussi une vidange de fond reliée à la digue par des canalisations passant sous celle-ci.

CHAPITRE II : Morphométrie du bassin versant

<u>1.</u>	<u>Introduction :</u>	59
<u>2.</u>	<u>Le bassin versant :</u>	60
<u>3.</u>	<u>La courbe hypsométrique :</u>	64
<u>4.</u>	<u>Conclusion:</u>	70

1. Introduction :

Le bassin versant est l'unité de base pour la détermination du bilan hydrologique, Il est défini comme la surface parcourue par un cours d'eau et ses affluents. Un cours d'eau prend généralement naissance dans une zone à reliefs et draine la surface topographique. Les écoulements convergent vers la section la plus basse du cours d'eau appelée exutoire.

Ainsi la Première étape de la connaissance des bassins versants, permet de caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans les processus de l'écoulement superficiel. Leur interaction est déterminante dans le comportement hydrologique des bassins. L'objectif de la présente étude est d'arriver à regrouper des sous bassins semblables physiquement, utile pour toute éventuelle extrapolation de données hydrométéorologiques.

L'étude du bassin versant du barrage permet de caractériser la zone du point de vue écoulement des eaux de pluie en fonction de la géomorphologie et du type du réseau hydrographique du bassin versant. Il faut tout d'abord délimiter la surface du bassin versant sur une carte et en suite déterminer le réseau hydrographique et les différents types des sols.

La superficie est déterminée à partir de la délimitation du bassin versant sur les cartes ou sur les photos aériennes par planimétrie. Cette délimitation se fait en suivant la ligne de partage des eaux. La forme du bassin à une influence sur l'écoulement. En effet un bassin étroit aura une tempe de réponse supérieure par rapport à un autre bassin plus large à parité des autres caractéristiques. L'étude hydrologique du bassin versant de l'Oued ABRIR permet aussi de déterminer certains paramètres de base pour la réalisation du barrage, comme le volume mort, le volume utile, le débit régularisé, le débit de crues, le débit solide, le laminage des crues...etc.

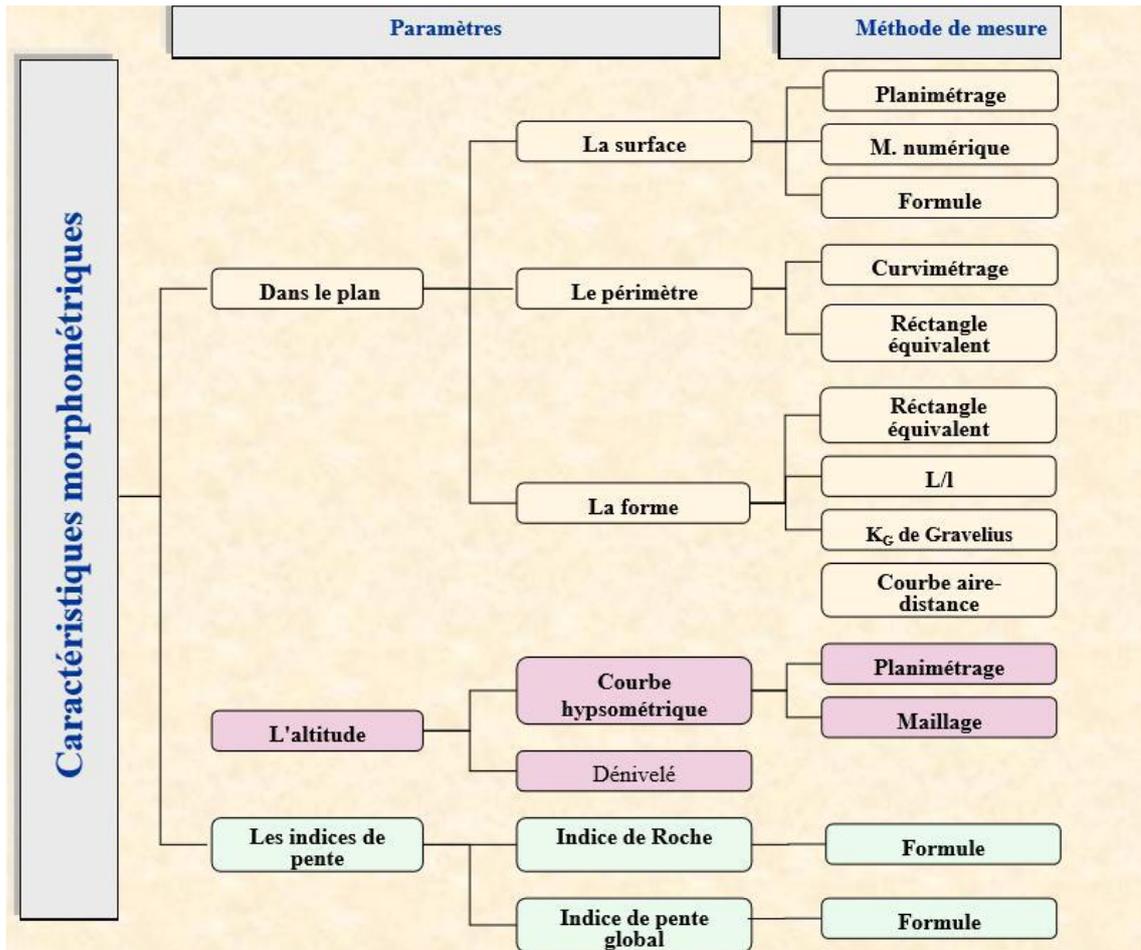


Figure 15: Démarche d'une étude morphométrique

2. Le bassin versant :

Le bassin versant en une section droite d'un cours d'eau peut être défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents à l'amont de la section. Tous les écoulements prenant naissance à l'intérieur de cette surface doivent traverser la section droite considérée (exutoire) pour poursuivre leur trajet vers l'aval. Un bassin versant est séparé de ceux qui l'environnent par une ligne de partage des eaux. (24)

2.1 Surface :

La surface du bassin versant est la plus importante des caractéristiques, elle s'obtient par planimétrie sur une carte topographique.

La surface de notre bassin versant :

$$S=5,83 \text{ km}^2$$

2.2 Périmètre du bassin versant :

On utilise différentes caractéristiques de longueur, la première est l'une des plus utilisées est le périmètre du bassin versant :

$$P_{Bv} = 12,352 \text{ Km}$$

2.3 Forme :

La caractéristique de forme la plus utilisée est le coefficient K_c dit coefficient de GRAVELIUS.

Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant la même surface.

$$k_c = \frac{\text{périmètre de BV}}{\text{périmètre de cercle équivalent}}$$

Donc :

$$k_c = \frac{p_{bv}}{p_{\text{cercle équivalent}}} = \frac{p_{bv}}{2\pi R} = 0,28 \frac{p_{bv}}{\sqrt{s_{bv}}}$$

$K_c=1$ forme circulaire

$K_c = 1.12$ forme d'une carre

$K_c > 1.12$ forme rectangulaire

Dans notre cas on a :

$$S = 5,83 \text{ km}^2$$

$$P_{Bv} = 12,352 \text{ Km}$$

On obtient:

$$K_c = 0,28 \frac{12,3}{\sqrt{5,83}} = 1,429$$

$K_c > 1,12$ donc on a une forme rectangulaire. (24)

2.4 Coefficient d'allongement :

Il est donné par la formule suivante :

$$K_p = \frac{p^2}{S}$$

Plus KP est grand, plus le bassin versant est allongé, plus le temps de concentration (le temps que met une goutte d'eau tombée sur le point le plus en amont du bassin versant pour arriver à l'exutoire) est grande et plus la crue moins violente. (27)

$$kp = \frac{12,3^2}{5,83} = 25,95$$

2.5 Le rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est une transformation purement géométrique par laquelle on assimile un bassin versant à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

Ce paramètre permet de comparer les bassins entre eux du point de vue de l'influence

De la forme sur l'écoulement. (24)

Les grandeurs Lr et lr sont données par les formules suivantes :

$$Lr = \frac{kc \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{kc} \right)^2} \right] \text{ (longueur du rectangle équivalent [km])}$$

$$lr = \frac{kc \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{kc} \right)^2} \right] \text{ (largeur du rectangle équivalent [km])}$$

Donc :

$$\begin{aligned} Lr &= 5 \text{ km} \\ lr &= 1,17 \text{ km} \end{aligned}$$

Les surfaces élémentaires :

Tableau 1: les surfaces élémentaires

Altitude	Surface totale %	Cumulatif%	Surface Km ²	Altitude moyenne
300-400	37,39	100	2,18	350
400-500	21,95	62,07	1,28	450
500-600	27,78	40,12	1,62	550
600-700	12,86	12,34	0,75	650

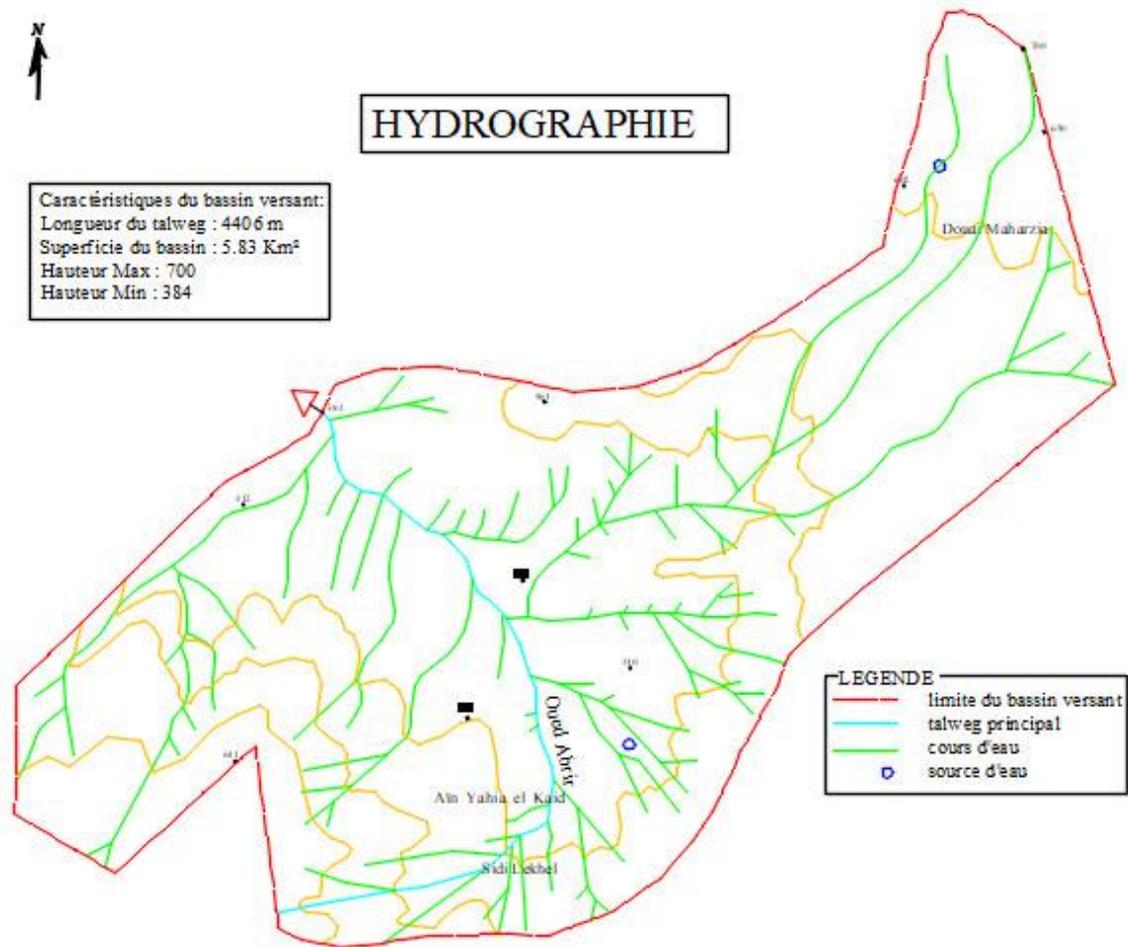


Figure 16: HYDROGRAPHIE DE BASSIN VERSANT

Altitude moyenne :

Est définie comme suit :

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

Avec :

S_i : Surface compris entre deux courbes de niveau successives [km²]

H_i : L'altitude moyenne de la surface considérée [m]. (27)

A.N :

$$H_{\text{moy}} = 466$$

3. La courbe hypsométrique :

Partant de la répartition par tranches d'altitudes du bassin, on pourra tracer la courbe qui donne la répartition des altitudes en fonction de la superficie du bassin.

Selon « STRALER » la courbe hypsométrique est le reflet de l'état d'équilibre, dynamique, potentiel du bassin. Selon la concavité de la courbe, il y a lieu de juger de l'état du bassin versant vis-à-vis de l'érosion.

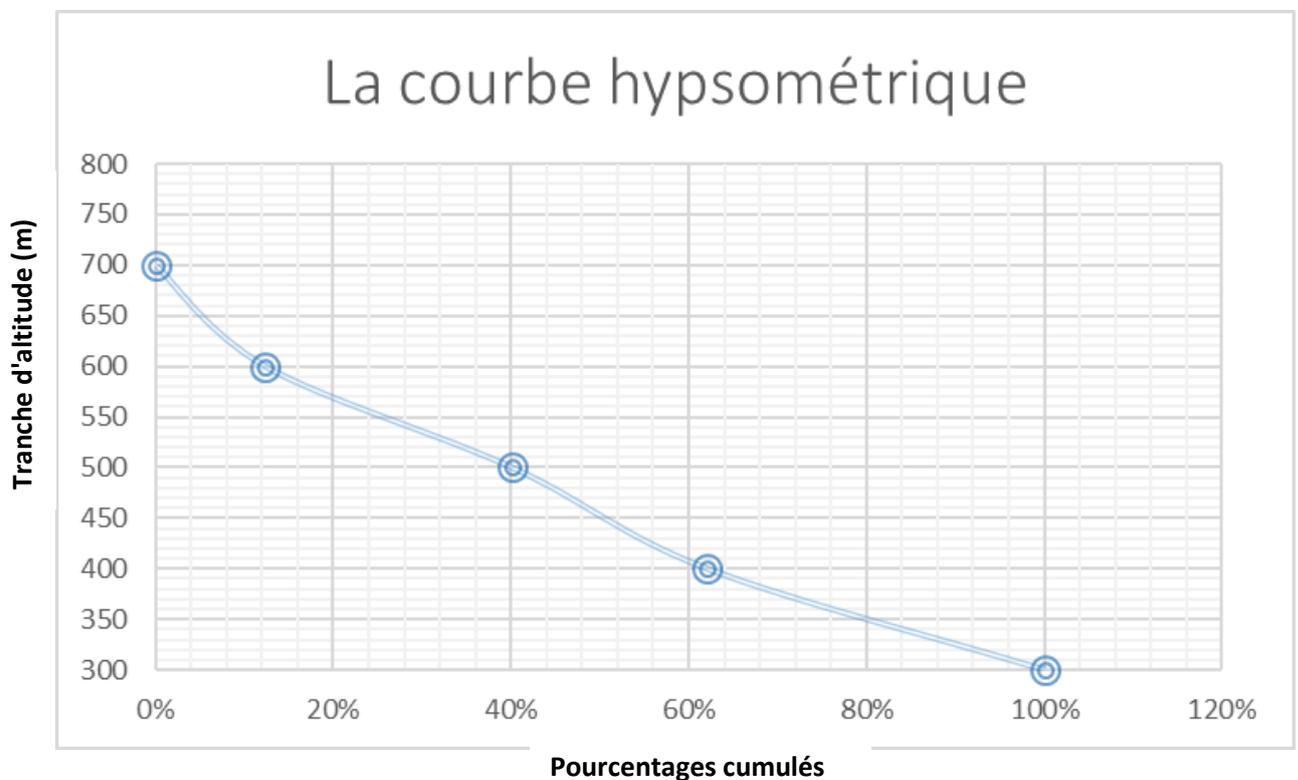


Figure 17: La courbe hypsométrique $f(\text{pourcentages cumulés}) = \text{altitude}$

3.1 Indice de pente global du bassin :

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global I_g donné par la relation

Où :

$$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} = \frac{650 - 315}{5000} = 0.067$$

I_g : indice global de Roche

D : dénivelée (m).

Tableau 2: classification de l'ORSTOM

Type de relief	Indice de pente globale
Relief très faible	$I_g < 0.002 \text{ m/km}$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5 \text{ m/km} < I_g$

Alors : $0.05 < I_g < 0.1$

Selon la classification du I_g : le relief est fort (27)

3.2 Altitude médiane :

$H_{50\%} = 450 \text{ m}$

3.3 La dénivelée spécifique :

I_g est corrigé de l'effet de surface par utilisation de la dénivelée spécifique :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A}$$

La dénivelée spécifique apparaît donc comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin.

$$D_s = I_g \sqrt{A} = 0.067 \sqrt{5830000} = 161.77 \text{ m}$$

$$D_s = 161.77 \text{ m} \quad 100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$$

Tableau 3: Classification du relief selon D_s

Type de relief	Dénivelée spécifique
Relief très faible	$D_s < 10$ m
Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25$ m
Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50$ m
m Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100$ m
Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250$ m
Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500$ m
Relief très fort	$D_s > 500$ m

Selon la classification de D_s : le relief est assez fort (27)

3.4 La densité de drainage :

Pour l'étude des crues, on calcule par fois la densité de drainage du bassin qui est définie comme la longueur moyenne du réseau hydrographique par kilomètre carré de la surface du bassin. Elle est donnée par :

$$D_d = \frac{\Sigma l}{S} = 4.406/5.83 = 0.756 \text{ Km}^{-1^2}$$

Σl : Somme des longueurs des cours d'eau.

A : surface du bassin versant.

3.5 Le temps de concentration :

3.5.1 Définition :

Le temps de concentration est le temps qui sépare la fin de la pluie efficace de la fin du ruissellement direct. C'est le temps que met une goutte d'eau tombée sur le point le plus éloigné en amont du bassin versant pour arriver à l'exutoire. C'est une caractéristique importante de tout bassin versant. (27)

3.5.2 Calcul de temps de concentration :

L'estimation du temps de concentration est faite par des formules empiriques et par l'étude des données de pluie.

Formule de TURRAZA :

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{S.L}}{\sqrt{i_m}}$$

T_c : temps de concentration en (h)

S : surface du bassin versant en (km²)

L : longueur du thalweg principale en **(km)**

i_m : pente moyenne du cours d'eau en **(‰)**

-Calcul de i_m :

$$i_m = \frac{D \cdot L}{A}$$

Où :

i_m : pente moyenne [m/km ou ‰],

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km²].

$$i_m = \frac{10.4,64}{5,83} = 7,95 \text{ ‰}$$

Formule de VENTURA :

Est donnée par :

$$T_c = 0.1272 \frac{\sqrt[3]{S}}{\sqrt{i_m}}$$

i_m : pente moyenne du cours d'eau.

S : surface du bassin versant. (Km²)

Formule de SCS : (Soil conservation service, USA) :

Est donnée par :

$$T_c = \left[\frac{0,87 \cdot L^3}{H} \right]^{0,385}$$

L : longueur du thalweg principale. **(Km)**

H : Différence entre altitude max et altitude min. **(m)**

Formule de GIANDOTTI :

Est donnée par :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5 L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

S : surface du bassin versant, **Km²**

L : longueur du thalweg principal, **Km**

Hmoy : altitude moyenne, **m.**

Hmin : altitude à l'exutoire, **m.**

A.N :

Tableau 4: Calcul de temps de concentration

FORMULE	TURRAZA	VENTURA	SCS	GIANDOTTI
TEMPS	0,931	0,769	0,353	1,944

Tc = 1.944 heures

3.6 Vitesse de propagation de la crue (km/heure) :

$$Ve = \frac{Lp}{Tc}$$

Lp : Long du thalweg (km).

Tc : Temps de concentration (h)

A.N :

Ve = 2.66 Km/h

Tableau récapitulatif

Tableau 5: Les caractéristiques morphométriques de bassin versant

N°	DESIGNIATION	UNITES	VALEUR
1	Superficies du bassin « S »	km ²	5.83
2	Périmètre du bassin versant « P »	km	12.352
3	Kc		1.429
4	L (longueur équivalente)	km	5
5	l (largeur équivalente)	km	1.17
6	Indice de pente global « Ig »	m/Km	0.067
7	H _{max}	m	700
8	H _{moy}	m	466
9	H _{min}	m	384
10	Dénivelée utile(H5%-H95%)	m	335
11	H50%	m	450
12	Longueur du thalweg principal Lp	Km	2.95
13	Temps de concentration Tc	H	1.944
14	Vitesse moyenne de propagation de la crue	Km/h	2.66
15	Densité de drainage	Km ⁻¹	0.756

4. Conclusion:

La morphométrie de bassin versant c'est une étape très importante pendant l'étude d'un barrage ; elle nous donne des résultats joues un rôle nécessaire pour le choix de site et de profils de barrage.

A travers cette synthèse succincte de diverses investigations à réaliser pour la conception des digues de barrages, il ressort la diversité et la complexité des taches qui nécessitent des compétences pluridisciplinaires. Chaque paramètre évalué sert au dimensionnement d'une partie de l'aménagement ou d'un ouvrage annexe et la fiabilité du paramètre calculé ou mesuré conditionne la sécurité globale du projet d'aménagement.

Chapitre III : Conception de la digue

1.	Introduction :	72
2.	Courbe caractéristique de remplissage :	73
3.	Le volume mort :	75
4.	Variabilité de l'apport :	79
5.	Volume total :	80
6.	Le volume utile :	80
7.	Détermination tranches des réservoirs au-dessus de la retenue normale :	81
8.	Conclusion :	93

1. Introduction :

Les barrages en remblais sont les plus nombreux et les plus simples à réaliser, Ils sont généralement constitués de plusieurs types de matériaux, La hauteur totale du barrage sera égale à la hauteur normale de retenue des eaux majorées de la charge maximale au dessus du seuil du déversoir de crues et de la revanche. La hauteur normale de la retenue est calculée compte tenu de la capacité utile à stocker, de la tranche morte éventuellement prévue en fond de retenue pour emmagasiner les dépôts et de la tranche correspondant aux pertes par évaporation et infiltrations.

La conception des digues de barrage devra répondre aux 7 critères suivants :

- La digue devra être sécurisée contre les surverses vis à vis des crues par l'aménagement d'un évacuateur de capacité suffisante. A cet aspect devra s'ajouter celui de la possibilité de vidange,
- Les pentes des talus doivent être stables pendant la construction, pendant la mise en eau et la mise en exploitation de l'ouvrage, ainsi que dans les cas de vidange rapide,
- La digue devra être conçue de manière à ne pas imposer des pressions excessives sur la fondation,
- Les infiltrations à travers la digue et le sol de fondation doivent être limitées et contrôlées de façons à éviter des risques de renard,
- La digue doit être sécurisée vis à vis de l'effet des vagues,
- Le talus amont doit être protégé contre le batillage (batillage des matériaux par l'action des vagues). La crête et le talus aval seront protégés contre l'érosion due au vent et au ruissellement des eaux de pluies,
- Si le barrage est dans une région sujette à des séismes, sa conception sera telle que le séisme le plus sévère, raisonnablement prévisible, n'endommage pas la fonction de la structure.

Partant de toutes ces considérations, et tenant compte de la disponibilité douteuse de la quantité des matériaux suffisante pour ériger la totalité des remblais,

Le présent travail vise :

- La conception de la digue du barrage selon deux variantes (barrage homogène et barrage zoné),
- La définition des profils types des deux variantes,
- Par le biais de la modélisation, l'étude des écoulements à travers le corps des digues et de leurs fondations,
- Définition des critères de stabilité globale. (28)

2. Courbe caractéristique de remplissage :

L'utilisation de cette courbe se divise en deux phases :

- En phase d'études : Transformer des tranches calculées en volumes en des côtes : CVM, CRN
- En phase d'exploitation : calculer les volumes disponibles dans le lac par la détermination des côtes du plan d'eau atteintes et connaître les surfaces inondées par le lac.

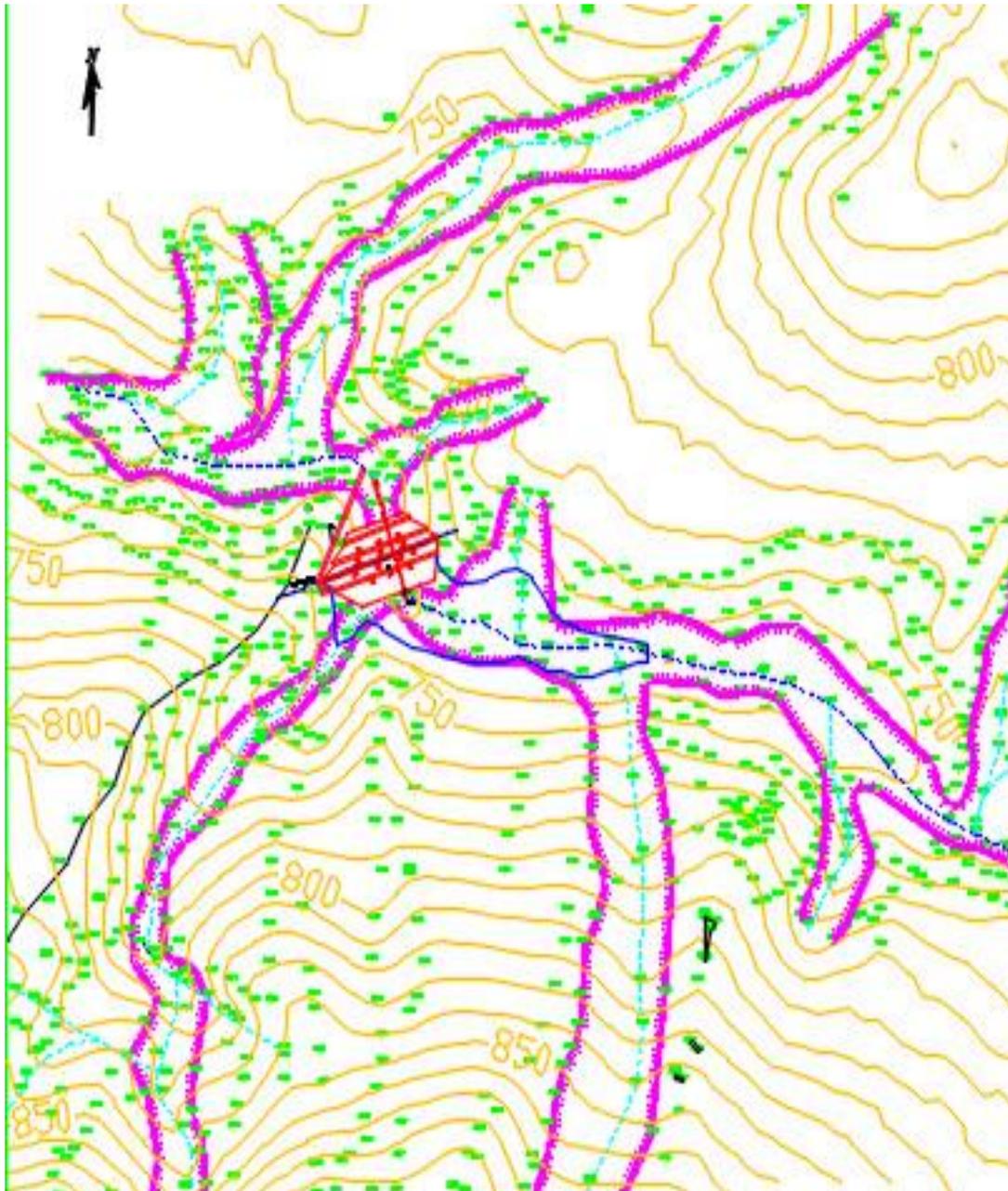


Figure 18: Vue en plan de la retenue

Tableau 6: hauteur/surface/volume

Cote (m)	Surface (Ha)	Volume (Hm ³)
717,5	0	0
720	7,5024	0,093
730	16,75	0,8
740	19,6075	0,980375
750	33,97	1,6985

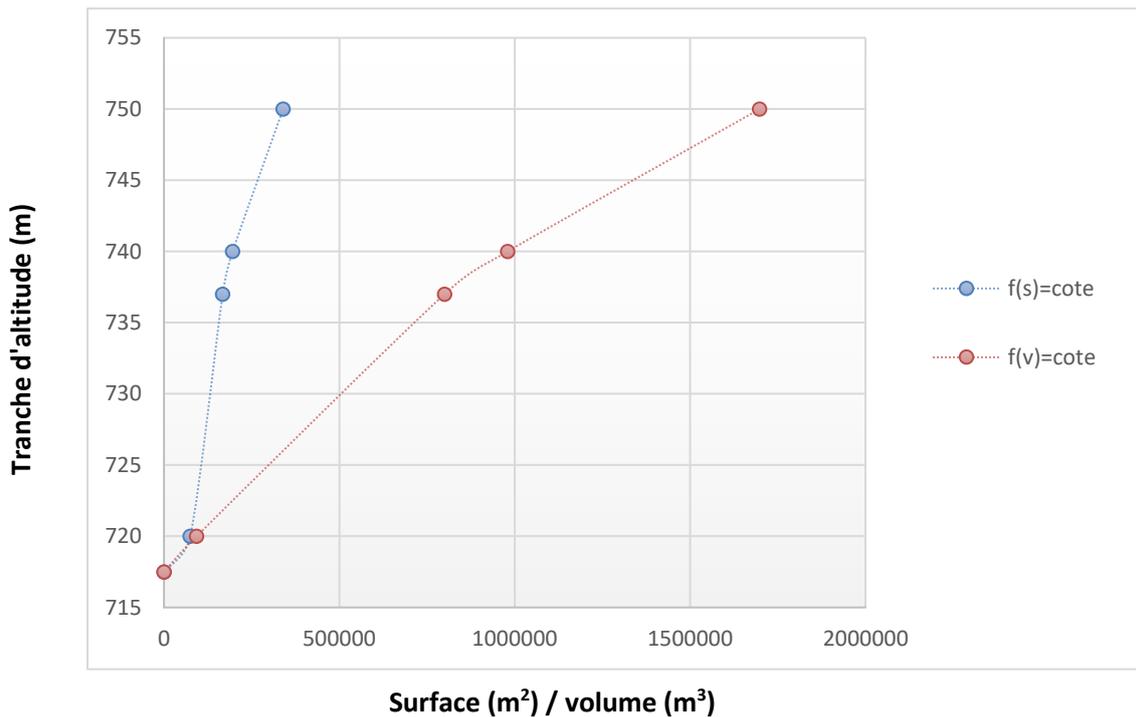


Figure 19 courbe caractéristique de remplissage

3. Le volume mort :

Le volume mort est situé sous le niveau minimum du réservoir. L'élévation du sommet est dictée par la quantité d'accumulation de sédiments à la fin de la durée de vie du réservoir.

$$V_m = \frac{A \cdot S \cdot N}{\rho} (m^3)$$

V_M : Volume mort pendant une durée d'exploitation N en années

A : Transport solide spécifique en T/Km².An

S : Surface du bassin versant en Km²

N : La durée d'exploitation de barrage ;30ans

ρ : masse volumique de la vase comprise en général entre 1.4 et 1.6 T/m³ (27)

3.1 Estimation de l'apport moyen annuel A_0 :

Modèle de SAMIE :

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

$$A_0 = Le * S * 10^{-3}$$

Où :

Le : Lamme d'eau écoulée, mm

P : pluie moyenne annuelle, mm (420)

S : surface du bassin versant Km² (5,83)

On trouve :

$$Le = 420^2 (293 - 2.5\sqrt{5,83}) = 50620388,17$$

$$Le = 50 \text{ mm}$$

$$A_0 = 291500 \text{ m}^3 = 0,29 \text{ hm}^3$$

3.2 Apport des solides :

L'estimation du volume d'envasement du barrage a été faite en utilisant les relations de **TIXERONT** et **SOGREAH**.

a) FORMULE DE TIXERONT (1960) :

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins d'Algérie et 9 de Tunisie.

La perméabilité du bassin est moyenne à faible donc :

$$A = 92.H^{0.21} \text{ (taux d'abrasion)}$$

H : Lamme d'eau écoulée, mm

$$H = \frac{A_0}{S.10^3} = \frac{291500}{5,83.10^3} = 50 \text{ mm}$$

A.N :

$$A = 209,204 \text{ T/km}^2 \cdot \text{an}$$

b) LA FORMULE DE SOGREAH (1969) :

Basée sur les données recueillies dans 27 bassins d'Algérie, les relations Sogreah, inspirées des relations Tixeront.

Vu les caractéristiques morphologiques du bassin versant ainsi que sa constitution, on peut conclure que la perméabilité dans notre bassin est de moyenne.

La perméabilité du bassin est moyenne à faible donc :

$$A = 350.H^{0.15} \text{ (taux d'abrasion)}$$

$$H = \frac{A_0}{S.10^3} = \frac{291500}{5,83.10^3} = 50 \text{ mm}$$

A.N :

$$A = 629,38 \text{ T/km}^2 \cdot \text{an}$$

En conclusion les deux formules ont donné des résultats différents. Cependant pour des raisons de sécurité avons pris la valeur 629,38 T/Km².an

A.N:

$$V_m = \frac{A.S.N}{\rho} (m^3) = \frac{629,38.5,83.30}{1,6} = 68799,10 \text{ m}^3 = \mathbf{0,07 \text{ hm}^3}$$

On projette la valeur du volume mort sur la courbe de remplissage, on obtient la cote du volume mort :

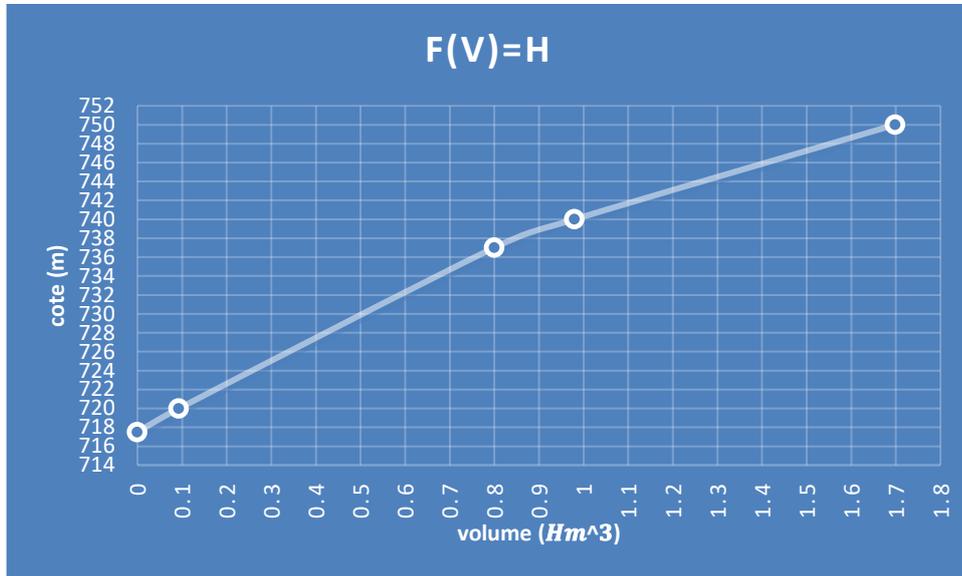


Figure 20: CR Projection de volume mort

CVM = 719 m

On projette cette valeur sur la courbe caractéristique $H=f(S)$:

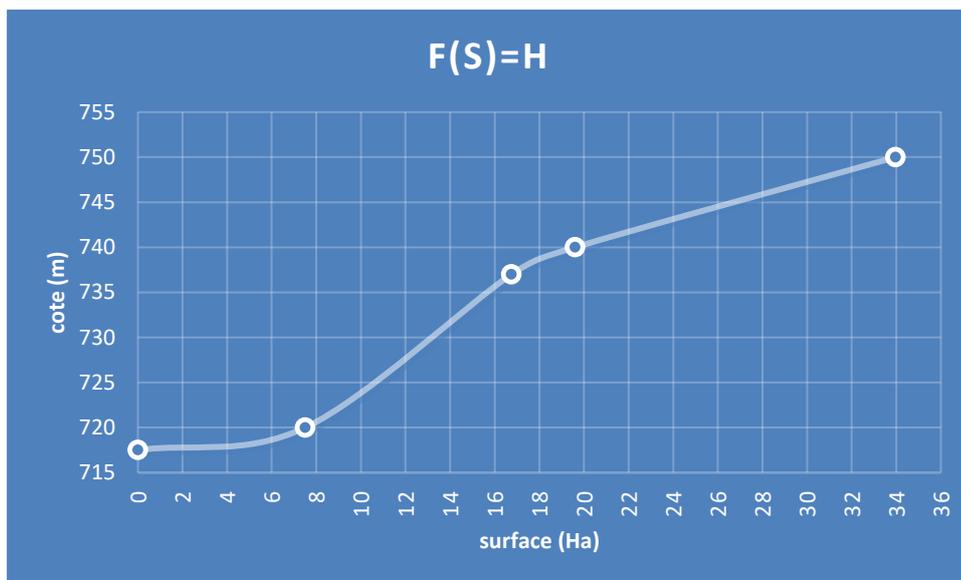


Figure 21: CR projection de la cote morte

La surface de volume mort est $S_{vm} = 7$ Ha

4. Variabilité de l'apport :

Cette variabilité est envisagée par l'application de la loi log normale (GALTON) qui représente le mieux les apports fréquentiels.

$$A(F) = \frac{A_0}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{\mu \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}}$$

C_v : coefficient de variation calculé à partir du module spécifique et de l'apport moyen interne annuel. (17)

a) Formule d'URGIPROVODKHAZ :

$$C_v = \frac{0,7}{M_0^{0,125}}$$

M₀ : module spécifique annuel en l/s. Km²

Avec :

$$M_0 = 11,8 P_0^{2,27} = 1,65$$

A.N :

$$C_v = 0,66$$

b) Formule de PADOUN :

$$C_v = \frac{0,93}{M_0^{0,23}} = 0,83$$

On utilise la formule de **PADOUN** et en prend **C_v = 0,83**.

Donc :

Tableau 7: Calcul de la variabilité de l'apport

Fréquence	Période de retour (An)	Variable de GAUSS (μ)	Apports (M3)
80	1,25	-0,8428	121859,832
50	2	0,00	224303,779
20	5	0,8428	412869,315
10	10	1,2850	568643,563
5	20	1,6449	737891,586
2	50	2,0571	994461,764
1	100	2,328	1209926,398
0,1	1000	3,10	2115804,195

5. Volume total :

Le volume total du barrage sera donné par la somme de l'apport fréquentiel de 80% et le volume mort.

$$V_t = A_{80\%} + V_m$$

Pour calculer l'apport fréquentiel, on applique la formule de Galton qui garantit le remplissage de 8 années sur 10.

Le coefficient de variation : $C_v = 0,83$.

Pour A80%, on a la variable de GAUSS $\mu = -0,8428$. (28)

$$A(80\%) = \frac{A_0}{\sqrt{C_v^2 + 1}} e^{\mu \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} = 121859,832 \text{ m}^3$$

Donc :

$$V_t = 121859,832 + 68799,10 = 190658,932 \text{ m}^3 = 0,2 \text{ hm}^3$$

6. Le volume utile :

$$V_u = A(F) + V_m - \text{perte par infiltration (1\% A(F))} - \text{perte par évaporation (E)}$$

Les pertes à considérer :

Pertes par infiltration

Pour une première approximation, les pertes par infiltrations sont estimées à 1% de l'apport fréquentiel 80% mensuellement.

$$P_{\text{inf}} = 1\% \cdot 0,13 = 1,3 \times 10^{-3} \text{ hm}^3$$

Pertes par évaporation

Les pertes par évaporation sont proportionnelles à la surface des eaux ; elles dépendent du pouvoir évaporant de la nappe d'eau.

On considère une surface moyenne située entre CRN et CVM et les valeurs de l'évaporation en m mesurées. (27)

$$P_{\text{evp}} = 0,04 \text{ hm}^3$$

A.N:

$$V_u = 0,13 + 0,07 - 1,3 \times 10^{-3} - 0,04$$

$$V_u = 0,16 \text{ hm}^3$$

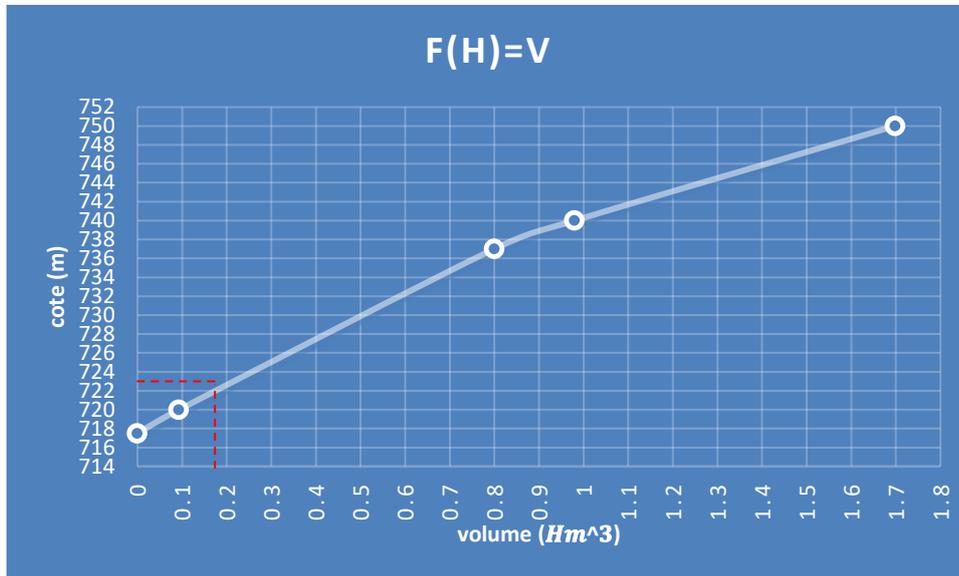


Tableau 8: CR Projection de volume utile

Donc :

La cote du volume utile est de CRN= 723 m

7. Détermination tranches des réservoirs au-dessus de la retenue normale :

7.1 Côte PHE :

Elle est calculée par la somme de la hauteur d'eau normale et la hauteur déversée.

$$CPHE = CRN + h = 723 + 1 = 724 \text{ m.}$$

La charge sur le déversoir $H=1\text{m}$ a été considérée en tenant compte de la valeur relativement élevée du débit de crue.

7.2 Revanche CR :

La revanche est la distance verticale entre la crête du barrage et l'élévation normale de la surface de l'eau d'un réservoir et ce sans tenir compte de la contreflèche de la crête, et la hauteur minimal de la revache c'est de 1m. (27)

$$hv = 0,7 \text{ m}$$

$$Vv = 1,5 + 2 hv = 2,9 \text{ m/s}$$

Donc :

$$R = 0,75 \cdot 0,7 + \frac{2,9^2}{2 \cdot 9,81} = 0,953 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

7.3 La hauteur de la digue :

Côte CVM = 719 m (H=1,5m)

Côte CRN=723 (H=4m)

Côte PHE=724 (H=1m)

Côte revanche : 725m (H=1 m)

En considérant une réserve de tassements =1m, la hauteur de la digue sera :

$$HB = 726 - 717,5 = 8,5 \text{ m}$$

7.4 Largeur de la crête :

Il existe plusieurs modèles d'estimation de la largeur en crête du barrage. (27)

- **Formule de KNAPEN :**

$$Bc = 1,65(Hb)^{1/2} = 4,81 \text{ m}$$

- **Formule de PREELE :**

$$Bc = 1,1(Hb)^{1/2} + 1 = 4,2 \text{ m}$$

- **Formule de l'USBR :**

$$Bc = \frac{h}{5} + 3 = 4,7 \text{ m}$$

- **Formule FRANCAISE :**

$$Bc = 2,6 (Hb)^{1/3} = 5,3 \text{ m}$$

- **Formule classique :**

$$Bc = 1/3 Hb = 2,83 \text{ m}$$

La largeur en crête sera égale à :

$$L = 4,5 \text{ m}$$

7.5 Pentés des talus :

La pente des talus du barrage en terre est fixée par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations.

La fondation de l'ouvrage doit également être stable du point de vue mécanique. On ne doit donc pas considérer seulement le massif du barrage, mais l'ensemble du massif et de la fondation. Lorsque les fondations sont de mauvaise qualité, argileuse par exemple, on est conduit parfois à diminuer la pente des talus en élargissant l'ensemble de l'ouvrage.

Le tableau II.3 donne pour différentes hauteurs du barrage et différents types des pentes correspondantes du talus amont et aval. (17)

Tableau 9: Valeurs des pentes des talus en fonction de la hauteur et le type de la digue

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Pentes des talus	
		Amont	Aval
Inférieur à 5m	Homogène à zoné	1/2,5	1/2
5 à 10m	Homogène, granularité étendue.	1/2	1/2
	Homogène à fort pourcentage d'argile.	1/2,5	1/2,5
	A zones.	1/2	1/2,5
10 à 20m	Homogène, granularité étendue.	1/2,5	1/2,5
	Homogène à fort pourcentage d'argile.	1/3	1/2,5
	A zones.	1/2	1/3

Dans notre cas et suivant la disponibilité des matériaux, la hauteur de notre barrage 8,5 donc varie entre 5 et 10m donc :

- Homogène à fort pourcentage d'argile :
- Pente du talus amont : 1/2,5.
- Pente du talus aval : 1/2,5.
- Le barrage à zones (noyau central) :
- Pente du talus amont : 1/2.
- Pente du talus aval : 1/2,5.

7.6 Dispositifs de drainage :

En fonction de la largeur en base du barrage B nous adaptons en termes de drainage les dispositions ci-dessous :

Largeur en base : $B=L+m_1.H+m_2.H$

L : Largeur en crête du barrage

H : Hauteur totale du barrage

m1 et m2 : Pentes amont et aval du barrage

Donc :

$$B = 4,5+2,5.8,5+2,5.8,5 = 47m$$

✓ Drain horizontal :

Il est formé d'un tapis, de matériaux drainant d'une épaisseur constante. Ce tapis s'étend en sens transversal sur une largeur (à partir du pied aval), de l'ordre de 1/3 à 1/4 de la largeur de la digue de façon à maintenir la ligne de saturation à au moins 2m du parement aval.

- La longueur = 0,25. B= 11,75m.
- La hauteur = 1m.

✓ Drain prismatique :

Il est formé des matériaux plus perméables (enrochement en général)

- Les talus : $m_1 = m_2 = 1$.
- La hauteur : $h = 1/4 \cdot H_b = 2,125 \text{ m}$.
- La crête : $b = 1,65 (h)^{1/2} = 2,4 \text{ m}$.
- La base : $B = 2,125 \times 2 + 2,4 = 6,65 \text{ m}$.

Pour la variante du barrage zoné à noyau central un ensemble drain filtre est disposé dans la partie aval du noyau.

La largeur en crête du noyau est de 2m. Sa base est calculée en fonction de la valeur du gradient hydraulique calculé au pied aval du noyau

Charge d'eau à la côte CRN=5,5m

$$H/B \leq i_{cr} = 1/2,5$$

$$B \geq 13,75 \text{ m}$$

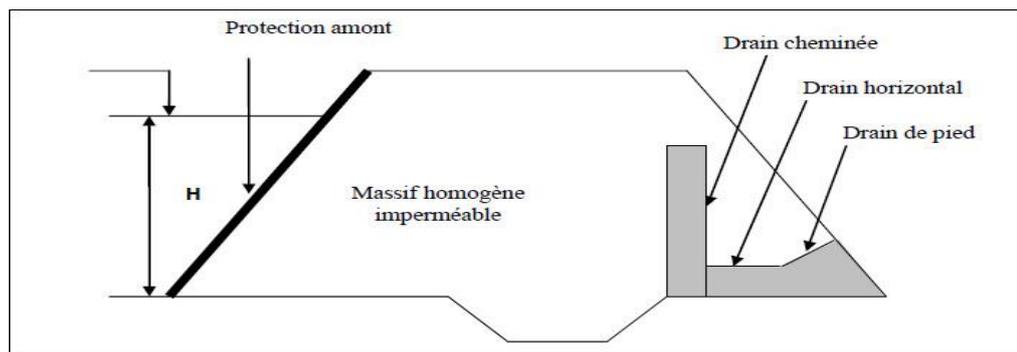


Figure 23: Système de drainage dans un barrage en terre (google)

7.7 Les filtres :

Sous l'effet de la circulation de l'eau, les particules de sol peuvent migrer vers une zone de sol plus grossier. C'est par exemple ce qui peut se produire entre le remblai d'un barrage et le matériau drainant. Pour l'éviter, deux zones successives d'un ouvrage hydraulique doivent vérifier des conditions de filtre qui sont des règles granulométriques.

En pratique, les conditions de filtre ne sont pas faciles à respecter entre ces deux matériaux et l'on interpose, le plus souvent, un matériau de granulométrie intermédiaire, appelé filtre. Les conditions explicitées ci-après doivent être vérifiées aux deux interfaces : entre matériau fin du remblai et filtre puis entre filtre et drain. Dans

chaque cas, D désigne la taille des grains du matériau le plus grossier et d celle des plus fins.

Lorsqu'un matériau fin à granulométrie continue est en contact dans un ouvrage hydraulique avec un matériau uniforme (drain ou filtre), leurs granulométries doivent répondre aux conditions suivantes :

- Condition de non entraînement des fines : $D_{15} < 5.d_{85}$;
- Condition de perméabilité : $D_{15} > 0.1\text{mm}$;
- Coefficient d'uniformité des filtres et des drains compris entre 2 et 8.

On impose aussi le plus souvent une condition de propreté pour le matériau constitutif d'un drain, condition qui s'écrit par exemple $D_{05} > 0.08\text{mm}$:

- La condition de filtre au contact entre deux matériaux très uniformes ($D_{60}/D_{10} < 3$ et $D_{60}/d_{10} < 3$), ce qui est le cas entre le filtre et le drain, s'écrit : $5.d_{50} < D_{50} < 10.d_{50}$.
- Pour réaliser le drain vertical d'un petit barrage en terre, il est habituel de recreuser plusieurs couches du matériau fin compacté pour y déverser un sable considéré comme drainant et auto filtrant (pas de filtre entre ce sable et le matériau du remblai). On commande dans ce cas de choisir un sable 0-5 mm vérifiant : $D_{05} > 0.08\text{mm}$ (propreté) et $D_{15} > 0.1\text{mm}$ (perméabilité).
- Enfin, un sol très gradué ($d_{60}/d_{10} > 16$) et à granulométrie discontinue présente des risques d'érosion interne de sa partie fine sous l'effet des circulations d'eau. Le filtre contigu à ce matériau doit donc être déterminé avec le d_{85} de la partie inférieure de la courbe granulométrique du sol, après le changement de pente. (27)

7.8 Utilisation des géotextiles comme filtre ou drain dans un barrage en terre :

Un barrage est un système qui doit résister aux agressions du milieu extérieur. Ce système est constitué de composants : noyau, filtre, drain, recharge, protection extérieure. Le géotextile inséré dans un barrage va devenir un de ses composants.

Chaque composant a une fonction principale ou une destination principale, appelée encore fonction de base. Parmi ces derniers, les fonctions principales des géotextiles sont :

- La filtration ;
- Le drainage ;
- Le renforcement ;
- Le support anti-poinçonnement.

Les géotextiles sont des nappes de fibres souples, résistantes et perméables. Dans un barrage les géotextiles sont le plus souvent utilisés pour participer à l'évacuation des eaux de percolation en intervenant comme filtre de protection d'un matériau granulaire drainant.

Le géotextile peut être un organe critique pour la sécurité. Dans ces conditions le niveau d'exigence doit être plus élevé.

Si pour satisfaire le rôle de filtre (ou drain), il est évident que le géotextile doit avoir les qualités de filtration (ou drainage), il doit être doté de certaines propriétés pour résister aux contraintes qui sont propres à son voisinage, c'est à dire au contact avec les autres parties du barrage, ou à l'environnement du barrage, ou plus généralement aux sollicitations exercées par le milieu extérieur sur le barrage. Par exemple, un géotextile posé lors d'un confortement de remblai, ayant une fonction de filtration sous une recharge aval, doit aussi satisfaire la fonction tenue au glissement.

Le composant doit avoir une réaction de défense contre toute action du milieu extérieur sur le géotextile. La définition de cette réaction est une fonction de conception. Les valeurs seuil des propriétés du géotextile et de son environnement qui caractérisent la fonction de conception constituent les spécifications fonctionnelles. L'exhaustivité et la précision de ces spécifications font la réussite de la conception. (29)

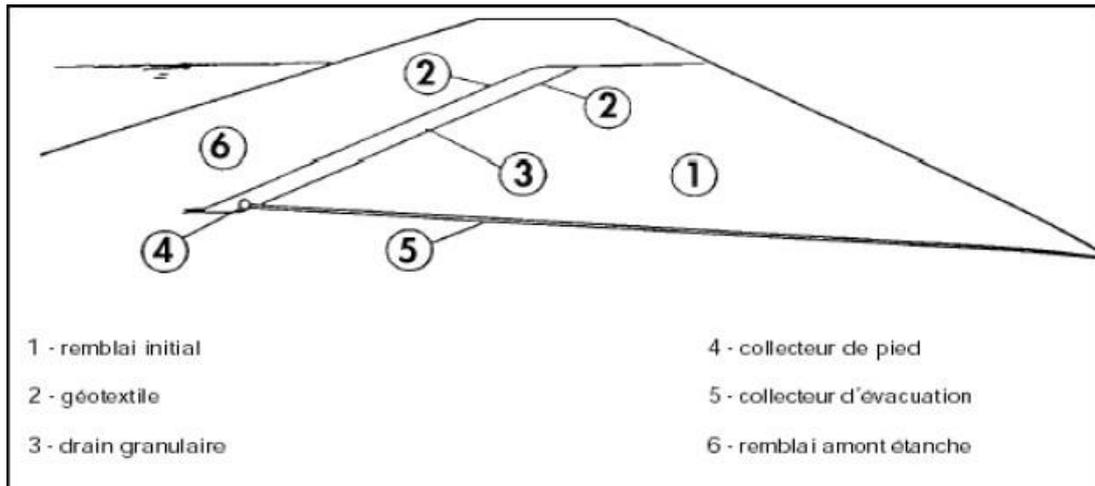


Figure 24: Drain granulaire incliné entouré par un géotextile. (Google)

7.9 Différences entre les filtres de géotextiles et les filtres granulaires

Les filtres granulaires sont normalement employés dans les barrages en remblai et l'expérience acquise à leur sujet est considérable. Les filtres de géotextiles peuvent remplir le même rôle mais certaines différences dans leur nature et leur action apparaissent lorsqu'on examine la substitution d'un filtre granulaire par un géotextile. Les différences caractéristiques sont les suivantes :

7.9.1 Uniformité

Les géotextiles sont sujets à des tolérances de fabrication mais celles-ci sont obtenues dans des conditions d'usine. Les filtres granulaires, non traités, sont sujets à la variabilité inévitable des sols naturels. Ils sont également sujets à la variabilité due à la ségrégation pendant la mise en place. (29)

7.9.2 Maintien de la continuité

On doit compter sur l'extensibilité et la résistance d'un géotextile pour maintenir sa continuité pendant la mise en place et les déformations ultérieures. Un filtre granulaire non cohésif ne peut contenir une fissure ouverte lorsqu'il est saturé. Il maintient ainsi sa continuité par effondrement interne. (29)

7.9.3 Épaisseur

Un géotextile est beaucoup plus mince qu'un filtre granulaire. Les pertes de charge à travers un géotextile de perméabilité semblable à celle d'un filtre granulaire

sont beaucoup plus petites. Les particules en migration peuvent être arrêtées en profondeur dans un filtre granulaire.

En étudiant la probabilité statistique d'un resserrement suffisamment petit pour arrêter la particule, Wittmann (1982) trouva qu'un géotextile (avec des fibres de dimensions semblables à ses pores) nécessite seulement une épaisseur égale à 1/8-1/25 de celle d'un filtre granulaire (avec des particules peut-être 10 fois plus grandes que ses pores) pour la même probabilité d'arrêt de la particule.

Cependant, les filtres granulaires mis en place ont généralement plus de 100 fois l'épaisseur du géotextile équivalent, et ainsi intrinsèquement ils donnent plus de sécurité. (29)

7.10 Protection du talus amont contre l'effet de batillage :

Le talus amont doit être protégé contre les effets des vagues ; l'épaisseur de l'enrochement est en fonction de la vitesse de propagation des vagues et du type des matériaux. Il faut que 50% des pierres présentent un diamètre supérieur à 20 cm, le reste doit être compris entre 10 et 20 cm. Les dimensions de l'enrochement peuvent être déterminé théorique en fonction de la hauteur des vagues et de leur vitesse de propagation par la formule suivante : (28)

$$e = c \cdot V_v^2$$

Ou, e est l'épaisseur de l'enrochement en mètres [m] ; V_v est la vitesse de propagation des vagues [m/s] et c est fonction de la pente du talus et du poids spécifique de l'enrochement et des talus.

Figure 25 : fonction de pente du talus et du poids spécifique de l'enrochement et des talus (27)

Pente des talus	Gs =2.5 T/m ³	Gs =2.65 T/m ³	Gs =2.8 T/m ³
1-4	0.027	0.024	0.022
1-3	0.028	0.025	0.023
1-2	0.031	0.028	0.026
1-1.5	0.036	0.032	0.03
1-1	0.047	0.041	0.038

a) Variante digue homogène :

- ✓ Pente du talus amont $m=1/2,5$
- ✓ Poids spécifique de l'enrochement $G_s=2.65 \text{ T/m}^3$,
- ✓ Coefficient $C=0.025$,
- ✓ $V_v=2,9 \text{ m/s}$

Donc :

$$e=C \cdot V_v^2 = 0.21 \text{ m}$$

L'épaisseur de la couche de protection amont sera $e=25 \text{ cm}$.

b) Variante digue zoné à noyau central :

- ✓ Pente du talus amont $m=1/2$
- ✓ Poids spécifique de l'enrochement $G_s=2.65 \text{ T/m}^3$,
- ✓ Coefficient $C=0.028$,
- ✓ $V_v=2,9 \text{ m/s}$

Donc :

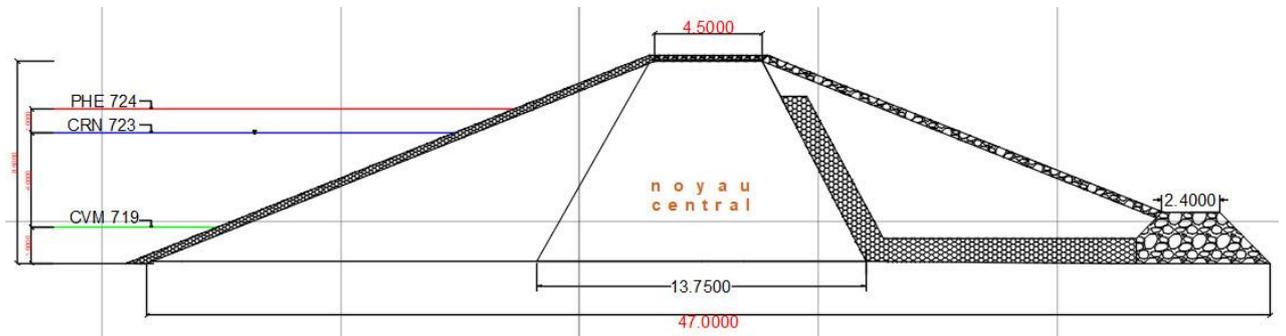
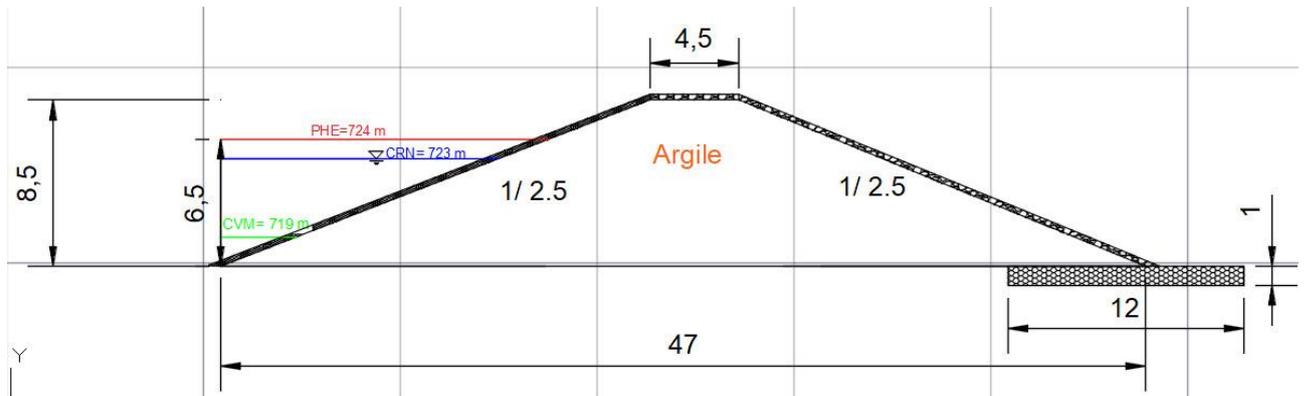
$$e=C \cdot V_v^2 = 0.235 \text{ m}$$

L'épaisseur de la couche de protection amont sera $e=25 \text{ cm}$.

Pour notre cas ; on va faire une protection par une couche végétal pour des raisons économiques.

7.11 Profil type de la digue :

En se basant sur les calculs de conception élaborés, les figures suivants illustrent les profils types retenus pour les deux variantes de conception en l'occurrence barrage homogène et barrage à noyau central.



8. Conclusion :

Dans cette étude nous avons déterminé les principales caractéristiques de la digue projetée, ayant une hauteur totale de 8,5 m et une largeur en crête de 4,5 m.

Le premier profil est construit en terre homogène avec des pentes de talus allant de 1/2,5, à l'amont, et 1/2,5 à l'aval, le talus aval est protégé par la mise en place d'une couche végétale et un système de drainage de type tapis drainant d'épaisseur 1m et de longueur de 12m.

Et le deuxième profil est un barrage zoné à noyau avec des pentes de talus allant de 1/2, à l'amont, et 1/2,5 à l'aval, le talus aval est protégé par la mise en place d'une couche végétale et un système de drainage cheminé et de filtration a été utilise pour protéger la digue contre les eaux infiltrées.

CHAPITRE IV : ETUDE DES INFILTRATIONS ET DE LA STABILITE DE LA DIGUE

<u>1.</u>	<u>Etude des infiltrations :</u>	95
<u>2.</u>	<u>Etude de la stabilité :</u>	101
<u>3.</u>	<u>Rapport géotechnique :</u>	105
<u>4.</u>	<u>Etude de cas (profil homogène) :</u>	106
<u>5.</u>	<u>Etude de cas (profil zoné à noyau) :</u>	119
<u>6.</u>	<u>L'ANISOTROPIE DE PERMÉABILITÉ DU REMBLAI :</u>	127
<u>7.</u>	<u>Conclusion :</u>	131

1. Etude des infiltrations :

1.1 Introduction

Dans le cas d'un barrage en terre, l'eau du bassin filtre à travers le remblai, en s'établissant graduellement de l'amont vers l'aval. Les infiltrations dans le corps de la digue peuvent induire des phénomènes pouvant nuire à la stabilité du barrage tels que :

- L'érosion régressive.
- Les débits de fuite excessifs.
- La stabilité des talus.

C'est pour cela qu'on s'intéresse à réduire à des valeurs acceptables les débits d'infiltration et de les contrôler pour garantir l'ouvrage contre les dangers d'instabilité. Il est nécessaire de connaître avant la construction, la position de la ligne de saturation et les valeurs des pertes par infiltration. (30)

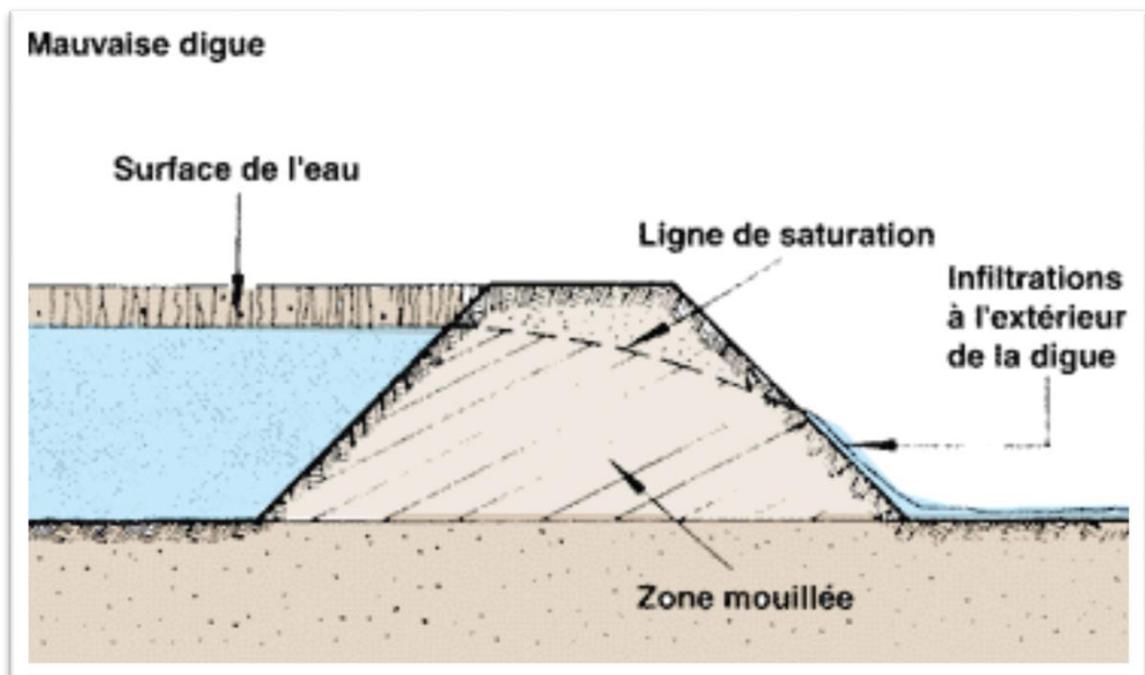


Figure 28: UNE DIGUE D'UN BARRAGE (GOOGLE)

Le traitement des infiltrations doit permettre de déterminer les éléments indispensables suivant :

- Détermination de la ligne de saturation ou ligne phréatique qui est confondue avec la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique est nulle (la pression atmosphérique étant prise comme niveau de référence).
- Tracé du réseau des lignes équipotentielles, c'est-à-dire des lignes reliant les points d'égal potentiel hydraulique au sein du corps de barrage et ses fondations. Ce réseau nous permet de connaître la valeur de la pression interstitielle en chaque point du champ de filtration ou la zone de saturation.
- Tracé des lignes de courant qui représentent la trajectoire de l'écoulement de l'eau à travers le corps du barrage. Ces lignes nous permettent de calculer le débit de fuite.
- Les infiltrations qui se produisent à travers le corps du barrage et ses fondations, doivent être considérées sous deux aspects :
 - Le premier : est la perte d'eau qui réduit le volume emmagasiné,
 - Le deuxième : est que ces pertes d'eau peuvent compromettre la stabilité de l'ouvrage sous l'influence du phénomène de renard et des pressions de l'infiltration. (30)
- La perméabilité dans un barrage en terre existe toujours, même si les pertes d'eau par infiltration sont faibles et pour déterminer ces infiltrations, il est impératif d'évaluer les éléments suivants :
 - La ligne de saturation ou phréatique,
 - Le débit de fuite de l'eau par infiltration,
 - Les dimensions du système de drainage. (30)

1.2 Détermination de l'équation de la ligne de saturation :

La ligne de saturation peut être déterminée par les différentes méthodes suivantes :

1.2.1 Le calcul numérique :

Le calcul numérique est réalisé sur l'ordinateur, il peut résoudre le problème des infiltrations par le biais des programmes mis au point (PLAXIS, Geo studio...), afin de

déterminer la position de la ligne de saturation, le potentiel hydraulique et, le débit de fuite.

1.2.2 Le modèle électrique :

L'analogie électrique est basée sur le fait que le potentiel électrique est régi par la même loi que le potentiel hydraulique

1.2.3 Le modèle graphique :

Il représente une méthode simplifiée, la plus souvent utilisée. Cette méthode donne des résultats approches, mais en général suffisants. L'écoulement des eaux d'infiltrations dans le barrage est régi par la loi de DARCY, $V = K \cdot i$ (K : coefficient de perméabilité en (m/s) et i : le gradient hydraulique).

1.2.4 Modélisation des profils choisit en Géo-studio 2012 :

1.2.4.1 Présentation de logiciel :

C'est un logiciel de calcul géotechnique qui permet de traiter les différents problèmes du sol comme le glissement des terrains, le tassement, la consolidation, les infiltrations des eaux dans le corps de la digue d'un barrage et d'autres problèmes liés à la géotechnique.

Plusieurs programmes sont intégrés dans la fenêtre générale du logiciel :

- ✓ **SLOPE/W** : Permet de calculer le coefficient de sécurité d'un talus naturel ou artificiel par les méthodes d'analyses classiques.
- ✓ **SEEP/W** : Permet de calculer les infiltrations des eaux (Par la méthode des éléments finis).
- ✓ **SIGMA/W** : Permet d'analyser les problèmes de la relation contraintes / déformations (Par la méthode des éléments finis).
- ✓ **QUAKE/W** : Permet de définir le comportement d'un terrain sous l'effet d'un séisme (Par la méthode des éléments finis).

- ✓ **TEMP/W** : Permet d'analyser les problèmes Géothermique du sol (Par la méthode des éléments finis) ... et autres logiciels.



Figure 29: GEOSTUDIO 2012

1.2.4.2 SEEP :



Groundwater seepage analysis.

SEEP / W est un programme largement utilisé dans les modélisations numériques. Il simule le régime des eaux souterraines en utilisant une géométrie matérielle utilisant les conditions aux limites et les propriétés des matériaux comme entrées. SEEP / W a la capacité de modéliser à la fois l'état d'équilibre et les conditions des eaux souterraines transitoires.

On s'en sert pour, par exemple, modéliser les écoulements à travers les barrages, dans les routes, à travers les sites d'enfouissement, autour des rivières, etc.

1.2.4.3 Utilité :

SEEP/W fonctionne grâce à des éléments finis. Les éléments finis, malgré un background mathématique complexe, sont relativement faciles à utiliser, puisque tout fonctionne en interface graphique. La première étape consiste à dessiner en 2D une section ou un plan que nous souhaitons modéliser (grâce à un maillage), puis entrer les paramètres des matériaux, et indiquer les conditions que nous désirons imposer au

modèle (un débit ou des charges de pression) et le tour est joué. Évidemment, il y a quelques subtilités à considérer lorsque le problème se complexifie, mais les problèmes complexes sortent du cadre du présent cours.

1.2.4.4 Etapes d'exécution :

Après la conception de plusieurs profils types du barrage représentant les variantes retenues de la digue, on va choisir les deux simple profil Figure 9 et Figure 10 à cause des raisons économiques et vue que notre retenue n'a pas un volume très important.

On va faire une étude des infiltrations pour les deux profils et définir les conditions d'écoulement et comparer le comportement des deux conceptions de digues vis-à-vis des écoulements dans leur massifs. Le code de calcul GEOSTUDIO a été utilisé pour ces fins.

1.2.4.5 Dessin des profils en Géo-studio :

Les profils types utilisés au niveau de la modélisation sont consignés sur les figures 26 et 27 :

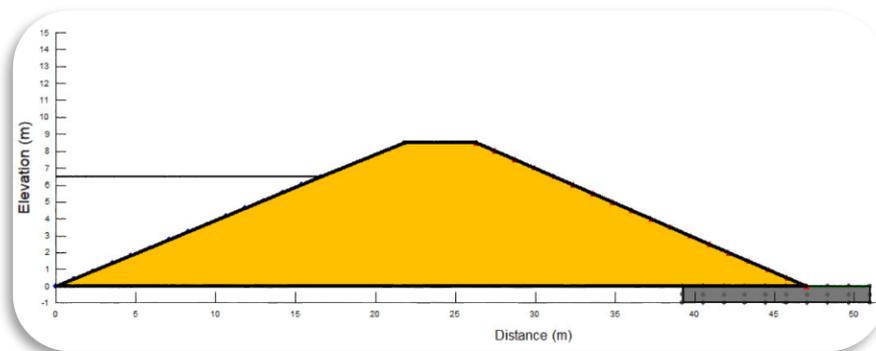


Figure 30: REPRESENTATION DU MODELE GEOMETRIQUE DU PROJET (CAS N°1).

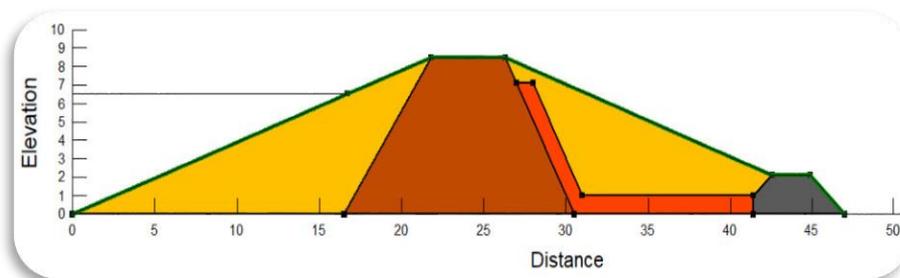


Figure 31: REPRESENTATION DU MODELE GEOMETRIQUE DU PROJET (CAS N°2).

1.2.4.6 MAILLAGE :

Un maillage est fait d'éléments attachés par des nœuds. On fait apparaître le grid si ce n'est déjà fait (en appuyant sur le bouton grid). On utilise alors les boutons outils de dessin comme nous les utilisons dans MS Word.

Une fois nos lignes guides dessinées, nous allons tracer notre maillage par-dessus en sélectionnant Draw ; régions dans le menu en haut et en cliquant sur chaque coin du dessin. Nous avons le choix de subdiviser notre maillage en plusieurs régions. Lorsque la région est refermée, une fenêtre apparaît. Les onglets sont Material, Mesh, Edges, Elements et Openings.

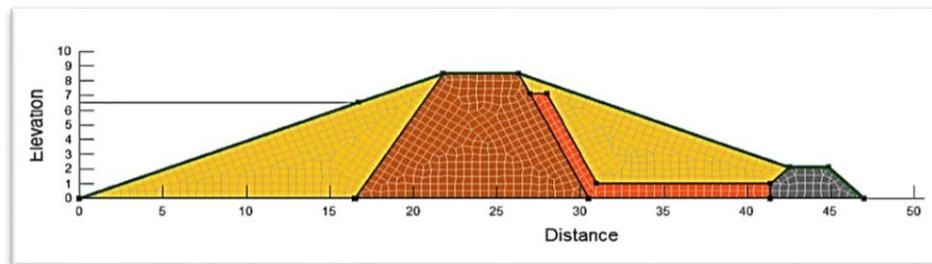


Figure 32: SCHEMA REPRESENTATIF DU MAILLAGE DE BARRAGE ZONE, A NOYAU CENTRAL

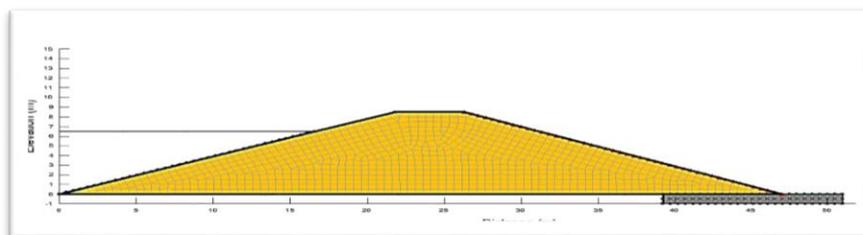


Figure 33: SCHEMA REPRESENTATIF DU MAILLAGE DE BARRAGE HOMOGENE

2. Etude de la stabilité :

2.1 Introduction :

L'étude de stabilité d'un barrage en remblai est fondamentale ; pour aboutir à la définition de la forme du remblai (pentes des talus) ; et des types de drainage à appliquer.

Un barrage dit instable lors d'une apparition d'un désordre dans sa masse, qui se traduit par des déformations géométriques (glissement des talus) en surfaces.

Cette instabilité est causée par plusieurs facteurs on cite :

- Le phénomène renard d'origine hydraulique.
- Le développement du ravinement superficiel.

Les facteurs qui déterminent la stabilité d'un talus sont :

- Caractéristiques des matériaux constitutifs (la cohésion, angle de frottement).
- Profil du remblai (largeur en crête, pentes des talus).
- Hydraulique interne (la configuration de la ligne de saturation).
- Les cas de charge (retenue vide ; plein...).

L'étude de la stabilité d'un barrage a pour objectif, la détermination à partir d'un grand nombre de positions de la surface de rupture, la marge de sécurité minimale, qui correspond au coefficient de sécurité la plus défavorable.

Pour faire on utilise le logiciel Géo studio.

2.2 SLOPE :

Le logiciel Géo studio, permet à l'utilisateur de combiner deux ou plusieurs types d'analyses afin de transférer des informations précieuses entre deux ou plusieurs modèles. Dans de notre étude, l'analyse SEEP / W décrit à la section précédente a été utilisé comme un « parent » d'analyse pour la suite SLOPE / W. Cela permet au modèle SLOPE / W d'utiliser la géométrie région et les conditions de l'eau interstitielle de l'analyse SEEP / W dans ses calculs de stabilité des pentes.

SLOPE/W est le produit calculant la stabilité du logiciel pour le calcul du coefficient de sécurité de la terre et les pentes rocheuses. Avec SLOPE/W, vous pouvez analyser à la fois des problèmes simples et complexes pour une variété des formes de surface de glissement, des conditions de pression d'eau interstitielle, les propriétés du sol, les méthodes d'analyses et de conditions de chargement

En cas de non vérification du glissement, on est obligé d'ajouter une bêche d'ancrage sous la semelle, mais en cas de non vérification de l'une des deux autres conditions on doit redimensionner le mur de soutènement de nouveau.

Il existe deux autres vérifications pour la stabilité externe du mur, le tassement et le grand glissement, qui n'ont pas été vérifiées car le calcul des tassements et du grand glissement ne sont généralement faits que dans le cas où les caractéristiques du terrain d'assise et des couches de fondation sont médiocres.

Une fois qu'on a résolu notre problème, SLOPE/W offre de nombreux outils pour la visualisation des résultats.

On va utiliser la méthode de Bishop pour résoudre notre problème.

2.3 Méthode de Bishop (1955)

Bishop ne néglige plus les forces horizontales inter-tranches, dans sa méthode simplifiée la résultante verticale des forces inter-tranches est nulle, d'où :

$$X_i = X_{i+1} \text{ mais } E_i \neq E_{i+1} \text{ (figure I.4)}$$

Cette méthode satisfait, l'équilibre des forces verticales de chaque tranche ainsi que l'équilibre des moments par rapport au centre du cercle de rupture.

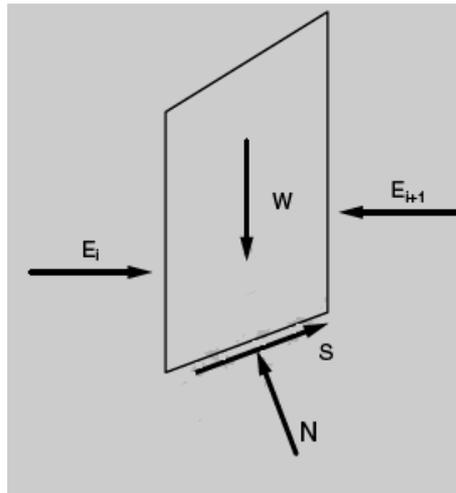


Figure 34: Représentation des forces inter-tranches sur une tranche

Selon HUANG, R. WHITLOW a formulé l'équation de la méthode de Bishop

Comme suit :

- ✓ L'équilibre le long de la base de la tranche :

$$W \sin \alpha - \frac{\tau_f}{F} l = W \sin \alpha - \frac{C' l + N \tan \theta'}{F} = 0$$

- ✓ L'équilibre de la direction verticale :

$$W - N' \cos \alpha - u \cdot l \cdot \cos \alpha - \frac{C'}{F} l \sin \alpha - \sin \alpha \frac{N \tan \theta'}{F} = 0$$

$$l = b \cdot \sin \alpha$$

Après substitution de l et N (l'équation d'équilibre dans la direction verticale) dans l'équation d'équilibre dans le long de la base de la tranche, on trouve une équation de coefficient de sécurité non linéaire :

$$F_c = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \frac{[c' b + (W - u b) \tan \theta'] \sin \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \theta'}{F}}$$

2.4 Coefficient de sécurité admissible :

Une fois le coefficient de sécurité déterminé, il s'agit de conclure si l'ouvrage serait stable ou non. Pour cela, il est nécessaire de comparer le coefficient critique à un coefficient dit admissible. Ce coefficient de sécurité est fixé d'après l'expérience et il varie selon que l'on se trouve dans le cas de sollicitation normale ou exceptionnelle.

Coefficient de sécurité selon (DIN 4084) :

- ✓ Normaux (CN) $FS \geq 1.4$
- ✓ Spéciaux (CS) $FS \geq 1.3$
- ✓ Exceptionnels (CE) $FS \geq 1.2$

2.4.1 Détermination du coefficient de sécurité :

Les principaux cas à étudié sont comme suite :

- Cas I Stabilité en fin de construction :
 - ✓ $U=0$
 - ✓ R_u
- Cas II Stabilité en cours de fonctionnement, retenue pleine
- Cas III Stabilité en cas de vidange rapide

3. Rapport géotechnique :

L'étude est menée en considérant les paramètres mécaniques et hydrauliques concernant le corps du barrage.

Tableau 10 : Paramètres mécaniques et hydrauliques du barrage

Matériaux	γ_d [KN/m ³]	γ_{sat} [KN/m ³]	C' [KN/m ²]	ϕ' [°]	K_h [m/s]
Homogène Barrage					
Argile	17,9	21,2	8,4	18	$1,53 \cdot 10^{-8}$
Gravie - sable	/	20,60	0	33	10^{-5}
Drain	/	22,10	0	38	10^{-4}
Barrage zoné					
Noyau argile	18,1	21,4	8,4	18	$1,68 \cdot 10^{-10}$
Recharges	18	21	7,6	18	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Gravie - sable	/	20,40	0	0	10^{-5}
Draine prismatique	/	22,10	0	0	10^{-4}

4. Etude de cas (profil homogène) :

4.1 Stabilité en fin de construction :

Pas encore d'action de la retenue

4.1.1 Profil de barrage Homogène U=0 :

• Talus amont

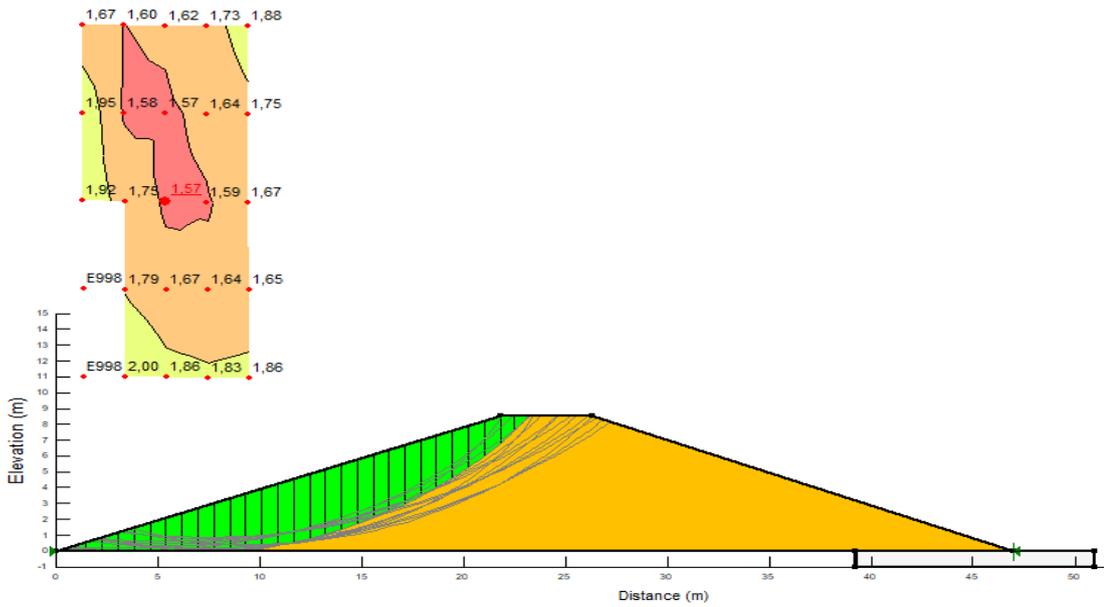


Figure 35: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AMONT(U=0)

• Talus aval :

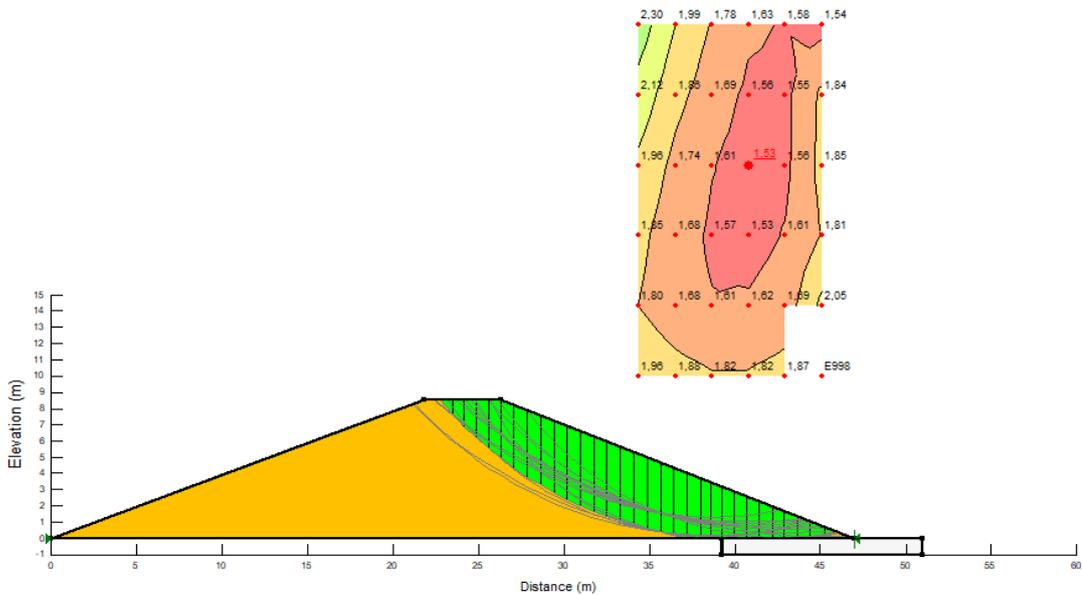


Figure 36: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AVAL(U=0)

4.1.2 Profil de barrage Homogène (RU=0.14) :

Si l'on admet que l'augmentation de la contrainte principale totale majeure est approximativement égale à la contrainte exercée par le remblai sur la surface potentielle de rupture, on obtient : (31)

$$R_u = \frac{u_0}{\gamma \cdot h} + \bar{B}$$

Un sol compacté est toujours partiellement saturé. Ainsi, la pression interstitielle initiale u_0 est souvent négative. La valeur actuelle de celle-ci dépend de la teneur en eau de mise en place des matériaux ; une teneur en eau élevée peut la ramener à zéro. (31)

La valeur de \bar{B} dépend, elle aussi, de la teneur en eau de mise en place des matériaux. La valeur la plus élevée de la teneur en eau donne la valeur la plus élevée de \bar{B} . Ainsi, la limite supérieure du coefficient de pression interstitielle sera : (31)

$$R_u = \bar{B}$$

- **COEFFICIENT \bar{B}**

Pour le calcul de la stabilité des barrages en remblais, il a paru intéressant d'exprimer la variation de la pression interstitielle en fonction de la variation de la contrainte totale principale majeure totale $\Delta\sigma_1$. On peut prendre, dans ce cas et en première approximation, la valeur de la contrainte totale principale majeure égale au poids du sol et de l'eau au-dessus de l'élément considéré. A partir de la relation, on peut écrire :

$$\frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1} = B \left[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \right] = B \left[1 + (1 - A) \left(1 - \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\sigma_1} \right) \right] = \bar{B}$$

On remarque que \bar{B} dépend du rapport $\Delta\sigma_3/\Delta\sigma_1$ et donc du rapport $\Delta\sigma'_3/\Delta\sigma'_1 = k$. Quelles sont les valeurs limites que peut prendre ce coefficient k ?

Si la pente du parement du barrage était nulle, le sol serait au repos et k serait égal au coefficient de poussée des terres au repos k_0 . Si, au contraire, la pente était infinie, le sol serait dans un état actif et le coefficient k serait égal au coefficient de poussée des terres sur un écran vertical k_a . On peut raisonnablement admettre que $k_0 < k < k_a$. Le coefficient \bar{B} écrit en fonction de k donne :

$$\bar{B} = B \frac{1 - (1 - A)(1 - k)}{1 - B(1 - A)(1 - k)}$$

Connaissant les caractéristiques du sol, on peut raisonnablement estimer les valeurs limites de \bar{B} . En principe ce coefficient varie peu et est toujours inférieur ou égal à 1. (31)

Bishop donne les valeurs limites suivantes pour deux types de sols :

Tableau 11: Valeurs de \bar{B} en fonction de deux types de matériaux

Sol	k_0	k_a	A	B	Coefficient \bar{B}	
					$k=k_0$	$k=k_a$
Argile sableuse	0.5	0.3	0.5	0.8	0.75	0.72
Graviers argileux	0.4	0.25	0	0.8	0.62	0.50

- Talus amont

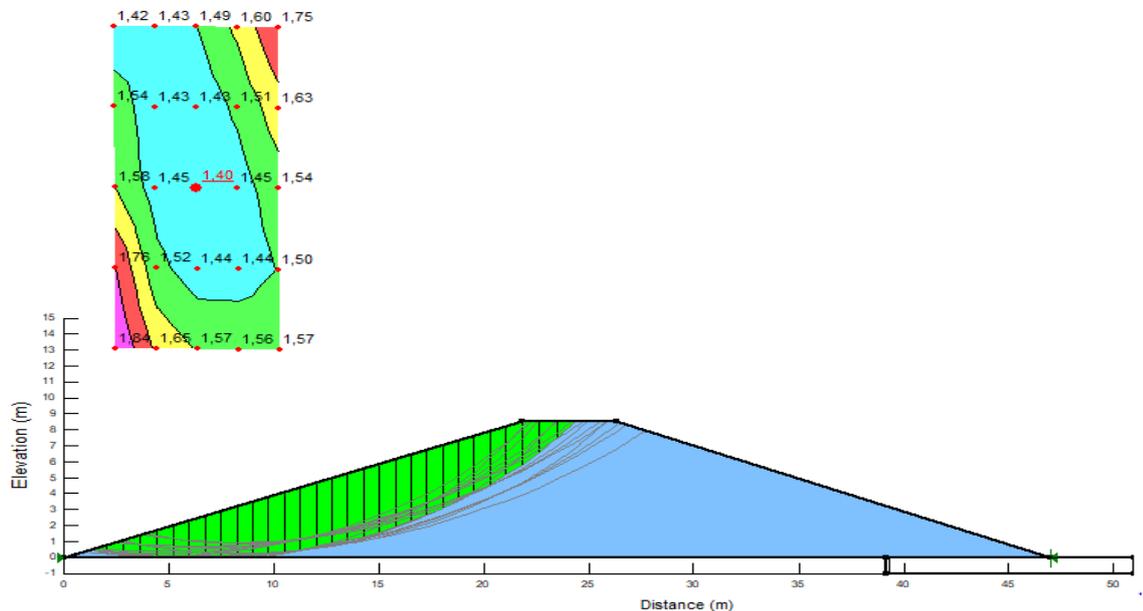


Figure 37: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AMONT $RU=0,14$

- Talus aval :

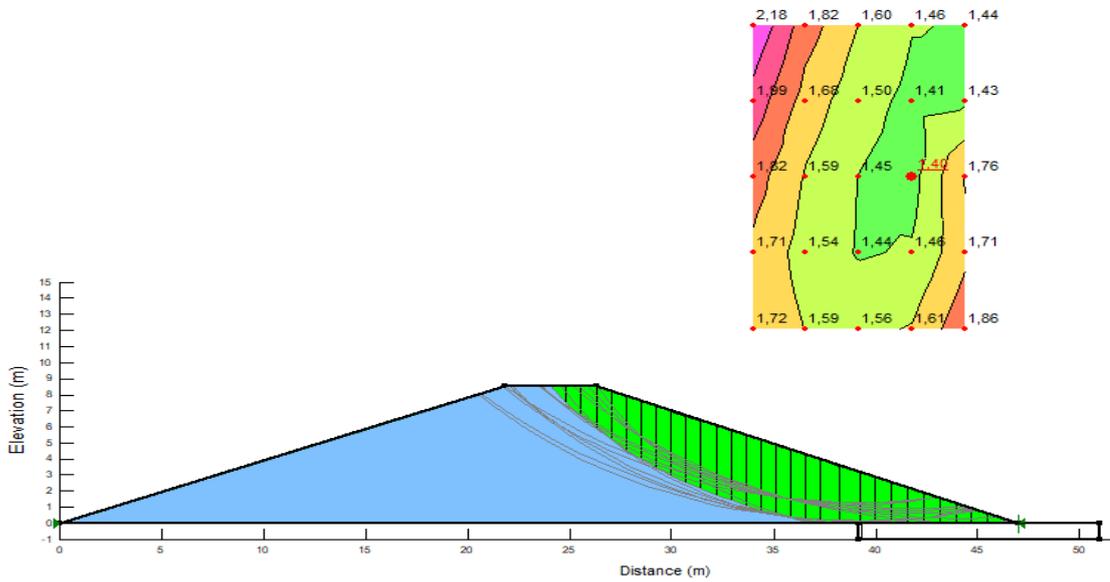


Figure 38: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN CONSTRUCTION TALUS AVAL $R_u=0,14$

	Profil Barrage Homogène $U=0$	Profil Barrage Homogène $R_u=0,14$
Fin construction talus Aval	1,53	1,40
Fin construction talus Amont	1,57	1,40

Tableau 12: VALEURS DU COEFFICIENT DE SECURITE DANS LE PROFILS HOMOGENE, CAS DE FIN DE CONSTRUCTION

D'après les Valeurs du coefficient de sécurité dans le Tableau 1 les deux cas avant la mise en eau (fin construction) sont stable dans les deux talus amont et aval.

4.2 Le cas d'une retenue pleine :

4.2.1 ETUDE DES INFILTRATIONS :

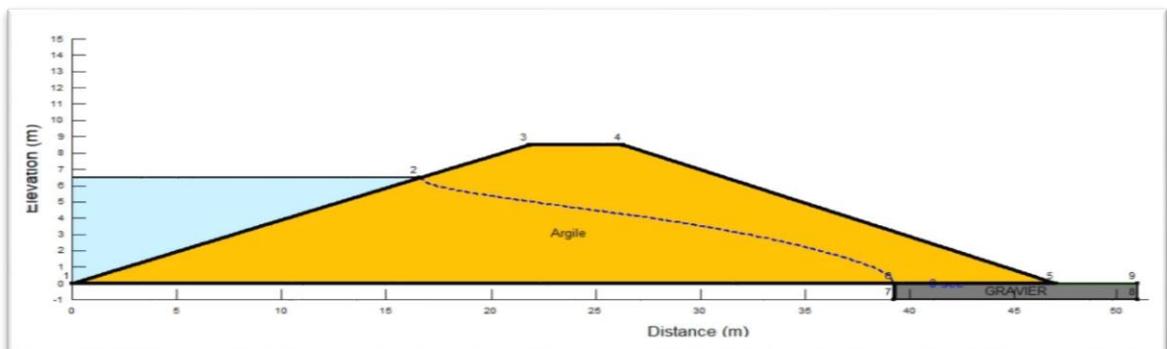


Figure 39: POSITION DE LA LIGNE DE SATURATION POUR LE PROFIL HOMOGENE

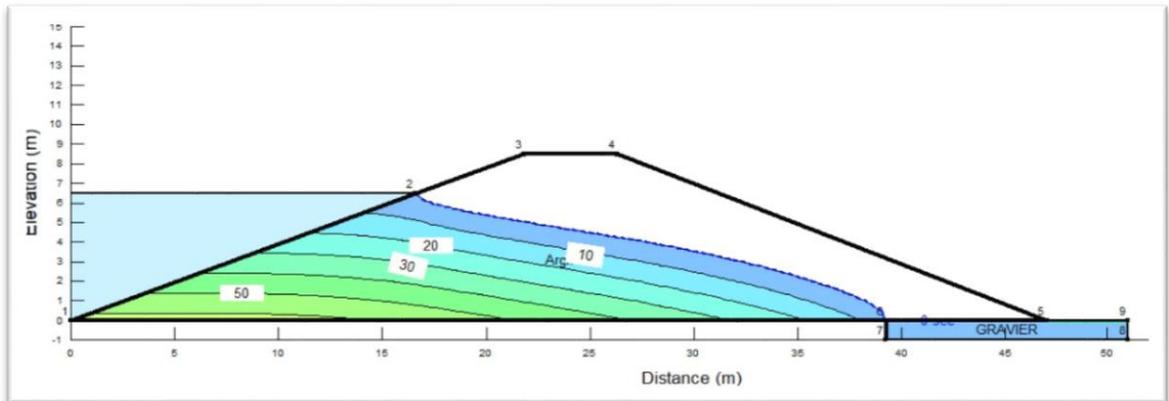


Figure 40: LES PRESSIONS INTERSTITIELLES

Les lignes de contours des pressions d'eau interstitielles, 0 pour la ligne de saturation et 60kPa comme maximum ($\gamma_w \cdot z$).

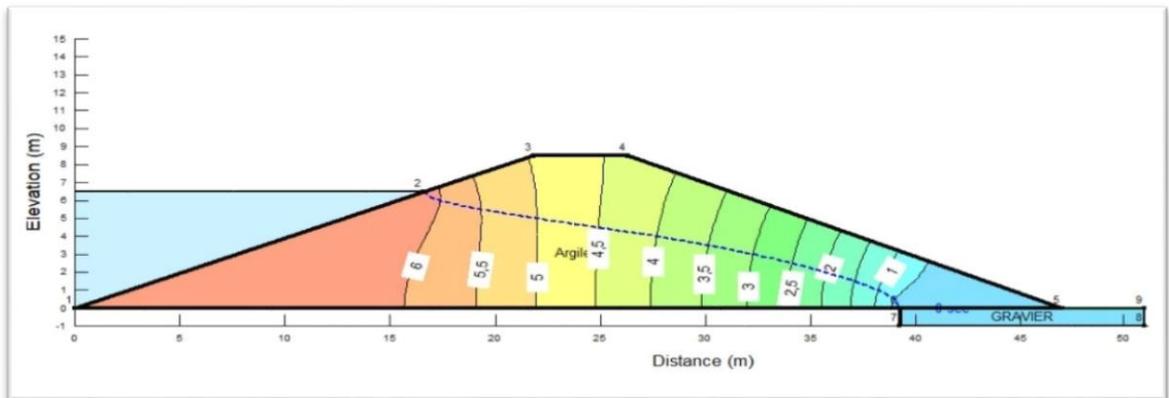


Figure 41: LA CHARGE HYDRAULIQUE

Les lignes de contours des charges hydrauliques qui décroissent de la gauche vers la droite de 6m jusqu'à 0 m

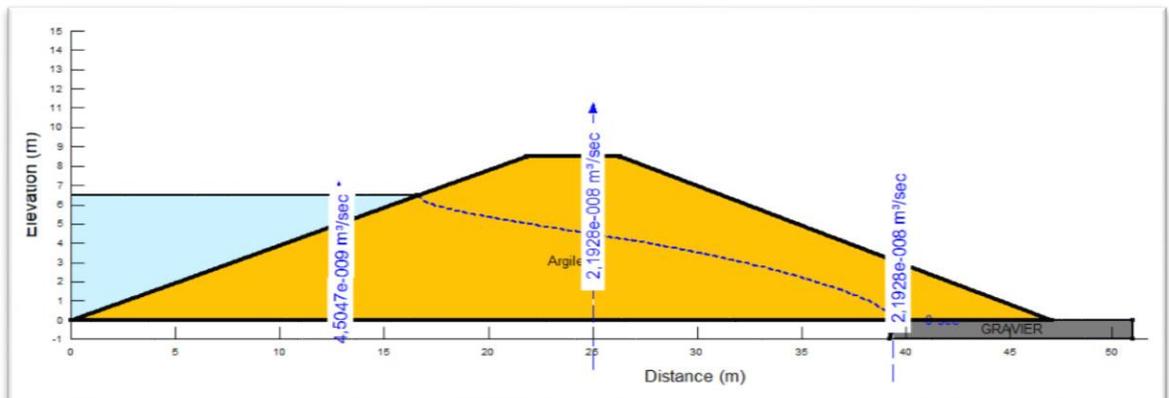


Figure 42: DEBIT DE FUITE DANS LA DIGUE

Ce qui nous permet de déterminer le débit de fuite en n'importe quelle section, la valeur du débit au milieu de la digue et au côté aval est de $2,19 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ et au côté du talus amont elle est de $4,5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$.

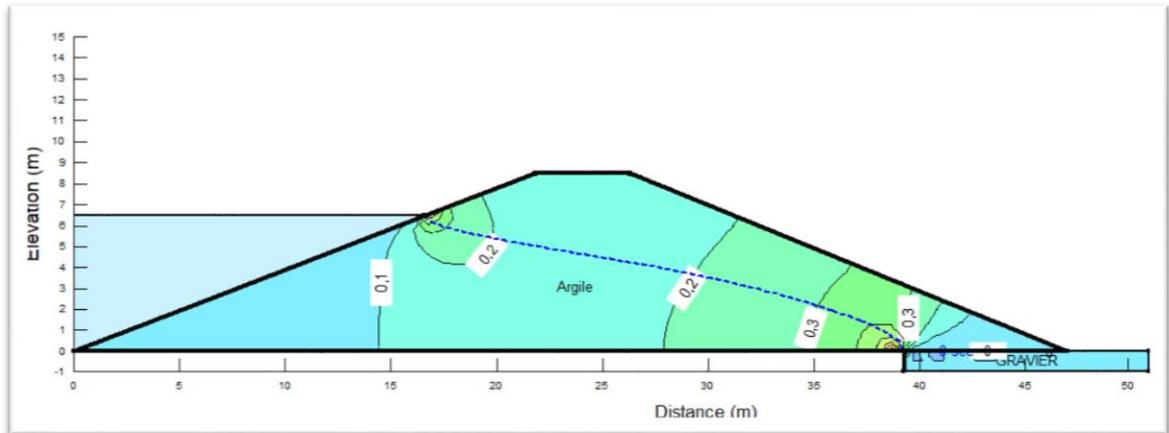


Figure 43: GRADIENT HYDRAULIQUE

La valeur maximum obtenu de gradient c'est 0,3

Il faut calculer le gradient hydraulique critique pour vérifier.

Selon le rapport géotechnique on a :

$$\gamma_d = 17,9 \text{ kn/m}^3$$

$n = 0,33$

Pour calculer de poids volumique des grains solides : $\gamma_s = \frac{\gamma_d}{1-n}$

Donc :

$$\gamma_s = 26,72 \text{ kn/m}^3$$

Après on calcule le poids volumique déjaugé : $\gamma' = (\gamma_s - \gamma_w) (1-n)$

Donc :

$$\gamma' = 11,2 \text{ kn/m}^3$$

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{11,2}{10} = 1,12$$

$F_s = 1,12/0,3 = 3,73 > 2$ C.V pas de risque de phénomène d'érosion régressive.

On va faire des coupes à travers la digue pour réaliser des graphes :

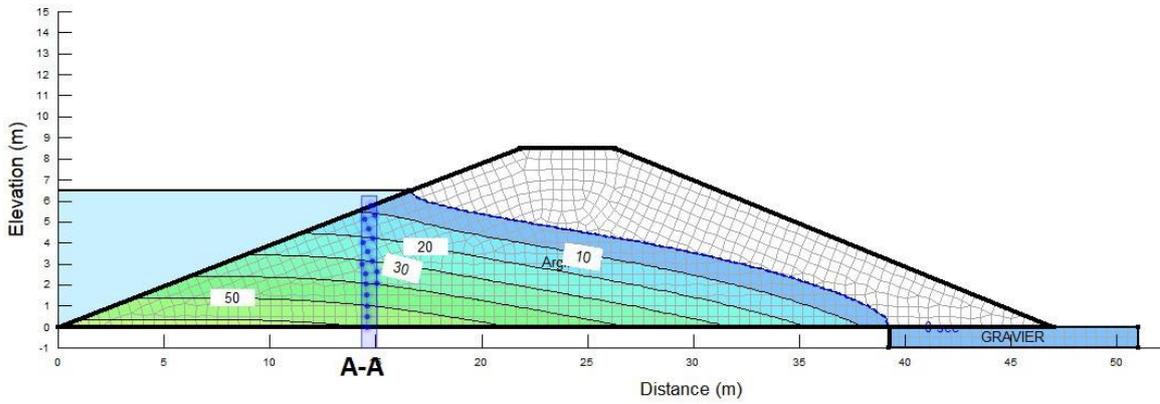
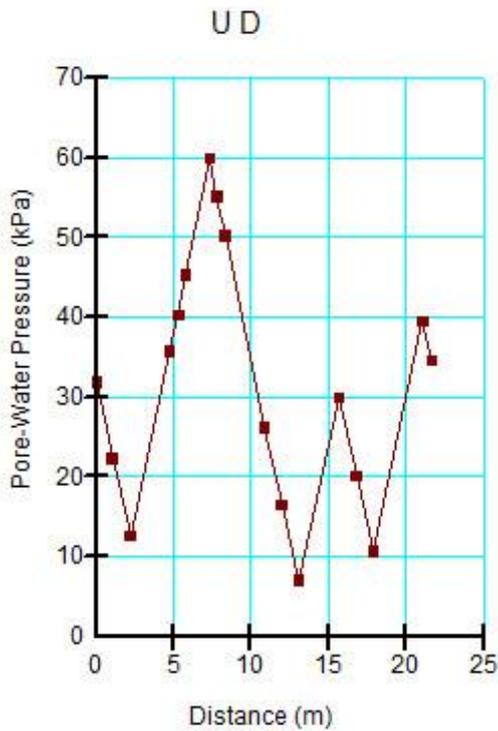
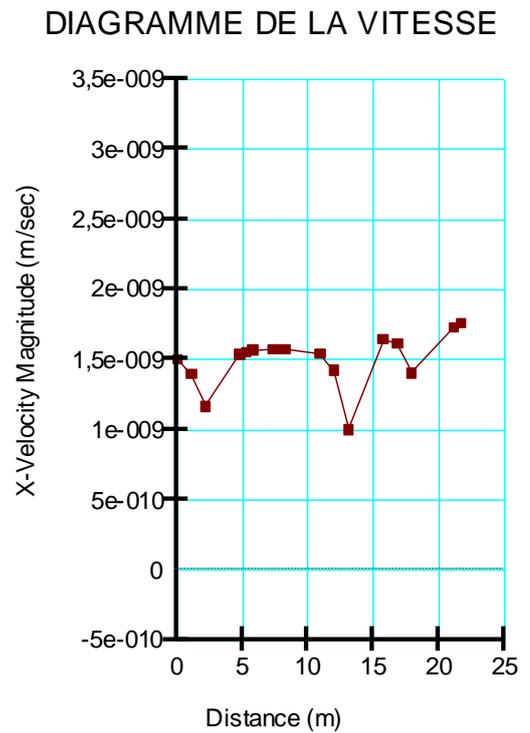


Figure 44: coupe AA dans la digue



Les valeurs de U atteignent une valeur maximum de 60kpa.

Figure 45: F(DISTANCE)= U COUPE AA



La vitesse d'écoulement ne change pas beaucoup à cause de faible perméabilité de l'argile.

Figure 46: DIAGRAMME DE VITESSE DE LA COUPE AA

La coupe B-B dans la digue :

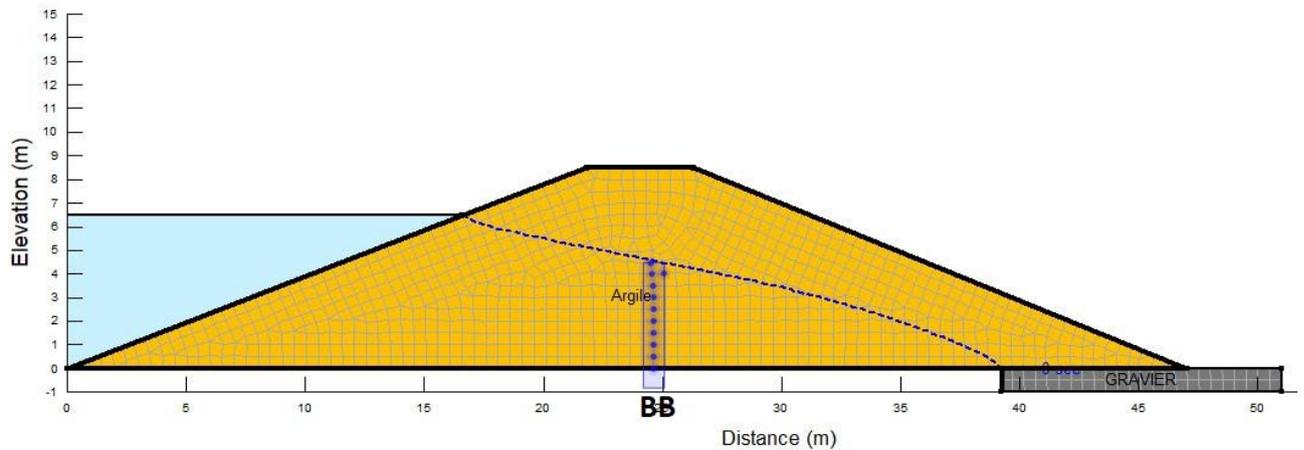


Figure 47: COUPE BB DANS LA DIGUE

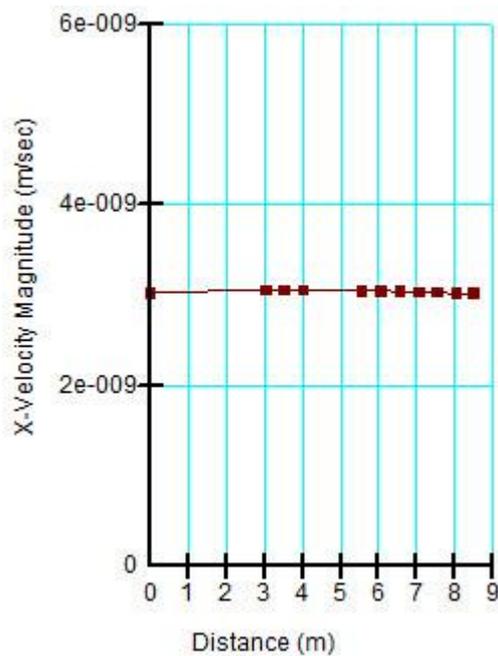


Figure 48: DIAGRAMME DE VITESSE DE LA COUPE BB

La vitesse d'écoulement ne change pas beaucoup à cause de faible perméabilité de l'argile.

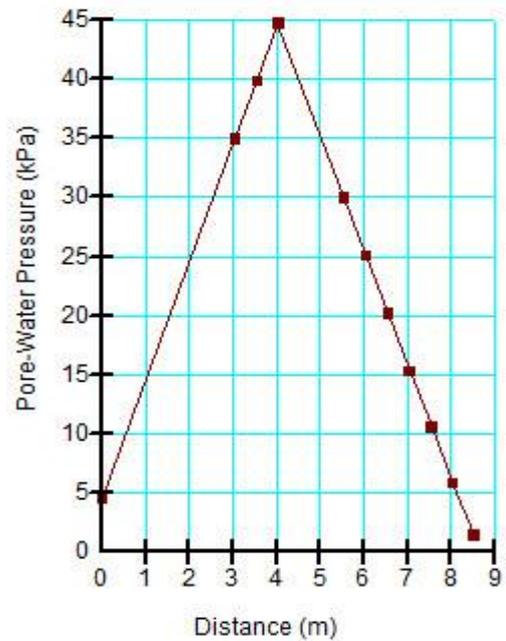


Figure 49: F(DISTANCE)= U COUPE BB

Les valeurs de U atteignent une valeur maximum de 45kpa au milieu de la digue.

4.2.2 Etude stabilité en fonction normal :

• Talus amont :

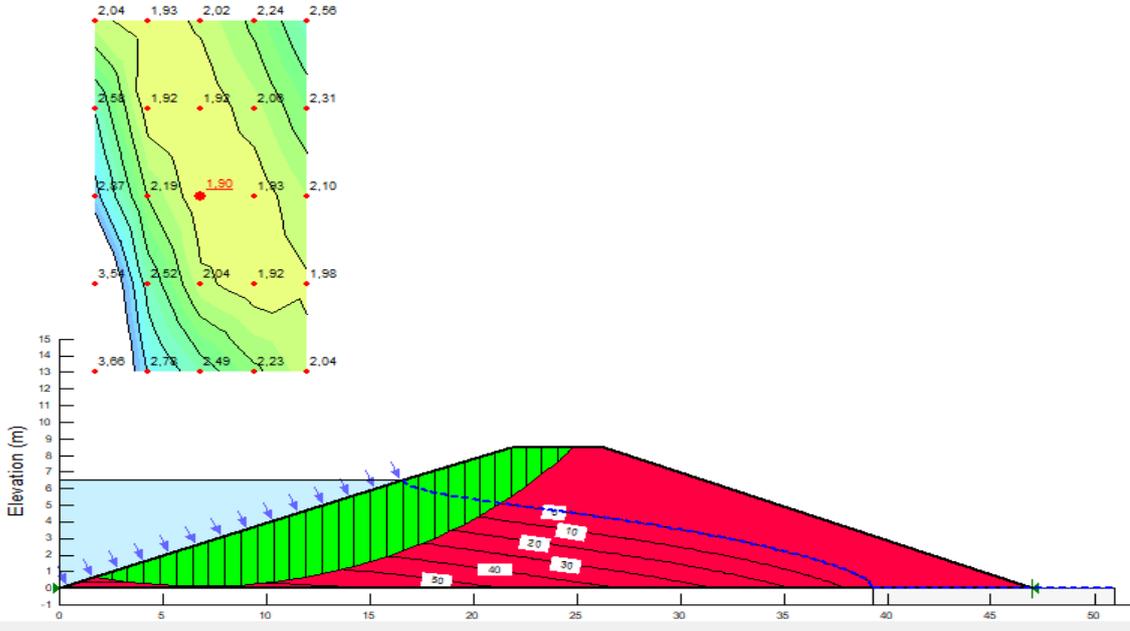


Figure 50 : RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AMONT

• Talus aval :

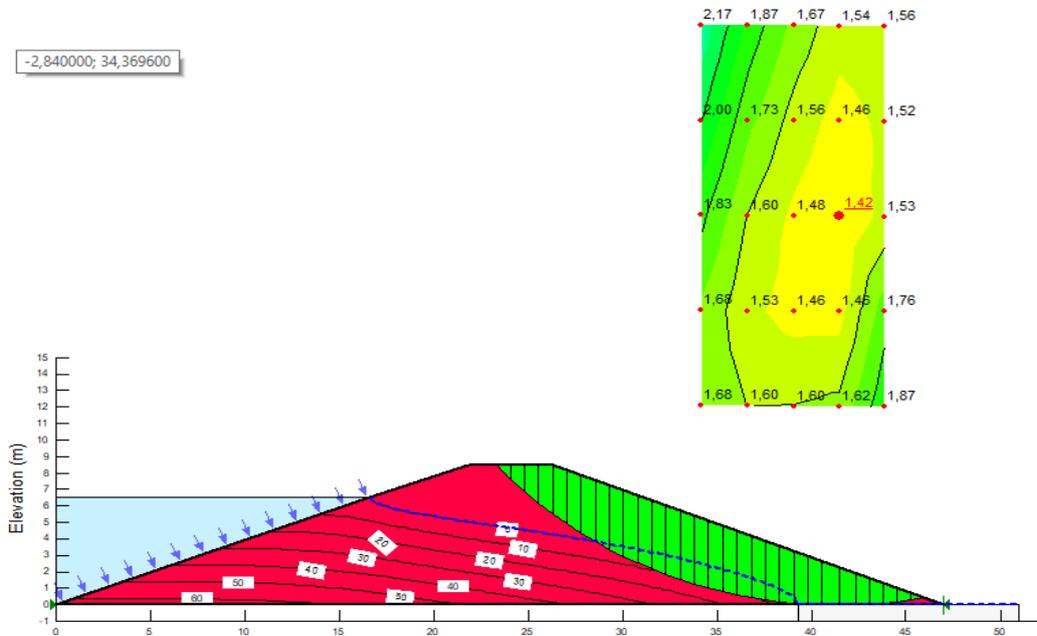


Figure 51 : RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AVAL

D'après les Valeurs du coefficient de sécurité, le profil après la mise en eau (retenue pleine) est stable dans les deux talus amont et aval.

4.3 Le cas de vidange rapide :

4.3.1 Etude des infiltrations :

Une vidange qui est fonction du temps, la charge hydraulique passe de $h=6.5\text{m}$ vers $h=0\text{m}$ en sept jours (1m/jour).

La perméabilité des sols constituant un barrage en terre est généralement trop faible pour que la surface de l'eau dans l'ouvrage s'abaisse de façon sensible lorsque l'on vide rapidement la retenue. La vidange rapide peut alors être considérée comme instantanée et c'est dans cette hypothèse que l'on se place pour étudier la stabilité du talus amont.

Lorsque la retenue est pleine, les forces d'écoulement à travers l'ouvrage tendent à stabiliser le talus amont. La vidange rapide, en inversant le sens de l'écoulement dans la partie amont de l'ouvrage, crée des forces hydrauliques dirigées vers l'intérieur de la retenue. Ces forces sont suffisamment intenses pour entraîner une réduction importante du coefficient de sécurité du talus amont. Inversement la vidange rapide améliore la stabilité du talus aval ou est sans effet sur elle.

On étudie généralement la stabilité du talus amont pendant la vidange rapide à partir des contraintes effectives. Les paramètres de cisaillement pris en compte dans le calcul sont les paramètres de cisaillement intergranulaire du sol saturé. La distribution de la pression interstitielle dans le corps de digue dépend de la déformabilité des matériaux qui le constituent.

Dans le passé, plusieurs ruptures de talus naturels et artificiels ont été observés, exemples le barrage Pilarcitos sud de San Francisco, le barrage Walter Boudin en Alabama

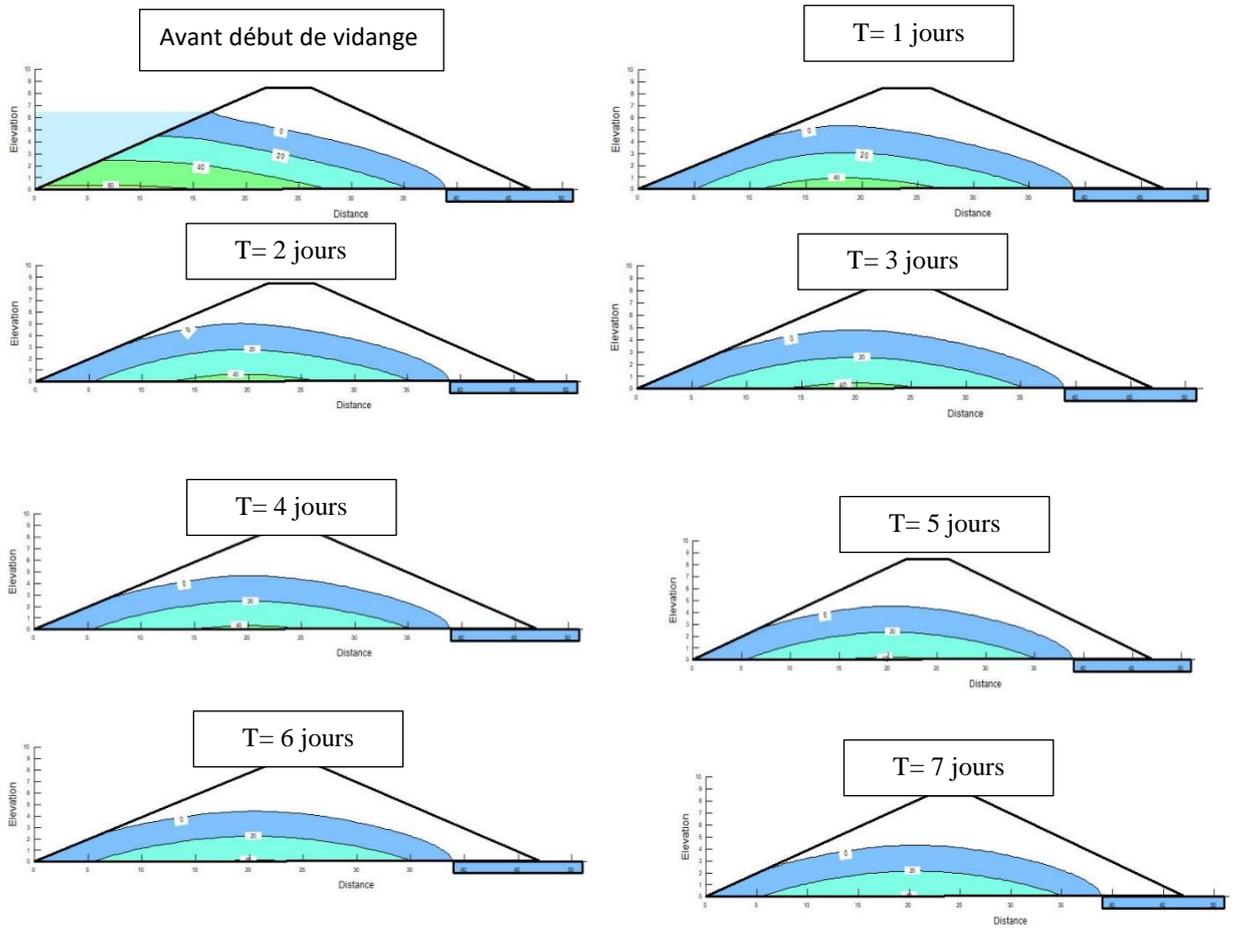


Figure 52: changement des pressions pendant la vidange rapide

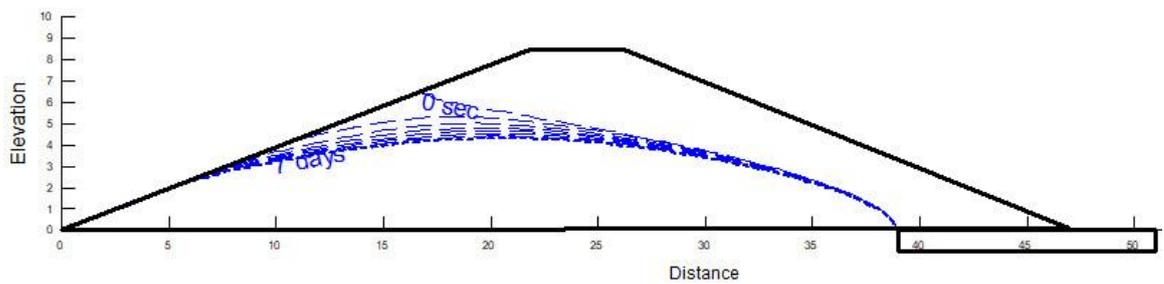


Figure 53: changement de la position de la ligne de saturation pendant la vidange rapide

4.3.2 Etude stabilité en cas de vidange rapide :

• Talus amont :

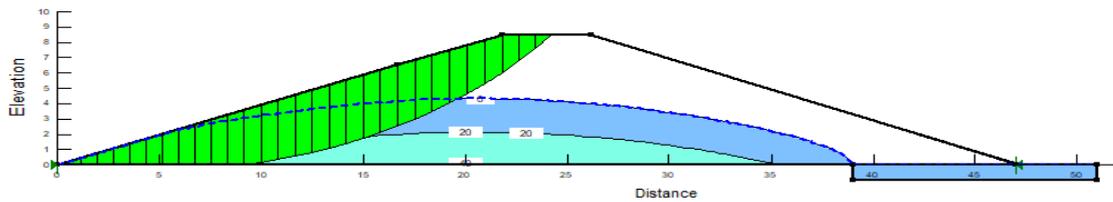
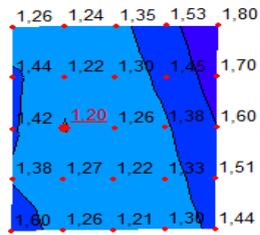


Figure 54: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE AU 7EME JOUR, TALUS AMONT

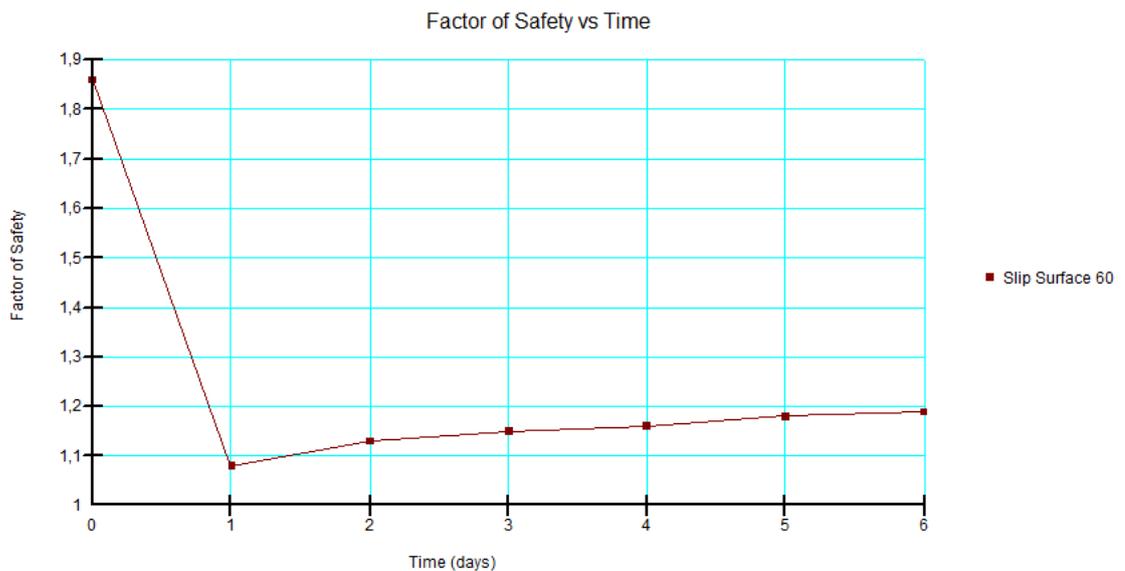


Figure 55: $f(t)=FC$, TALUS AMONT

On remarque que le coefficient de sécurité diminue d'une façon progressive au premier jour de vidange et après il augmente lentement jusqu'au 7ème jour pour atteindre une valeur de $1,2 < 1,3$ donc il y a une instabilité du talus amont ; comme solution on propose de diminuer la pente du talus amont.

- Talus aval :

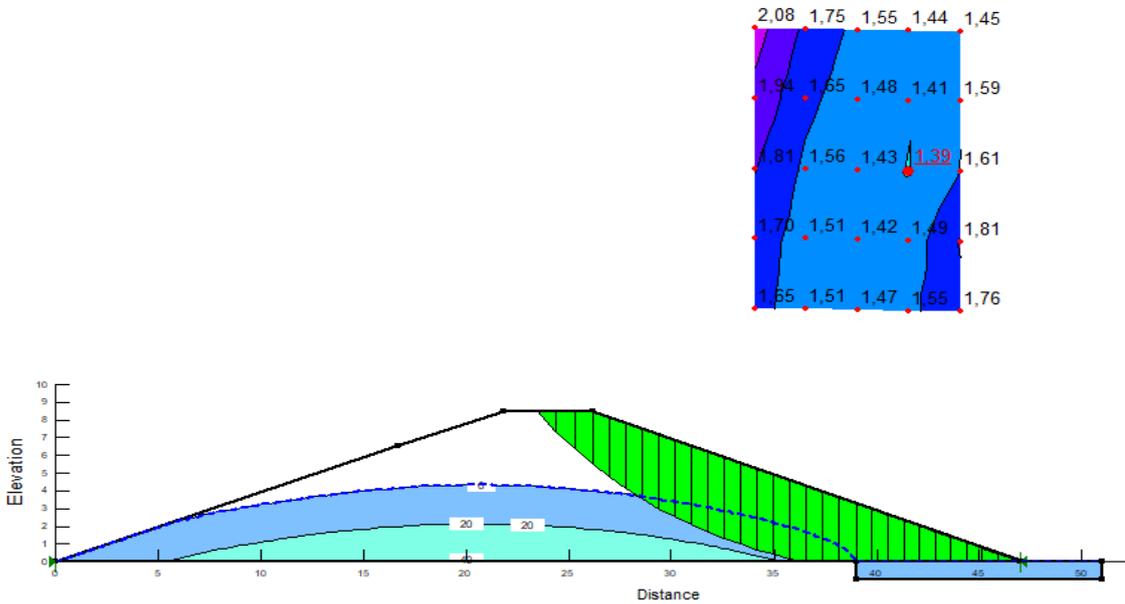


Figure 56: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE, TALUS AVAL

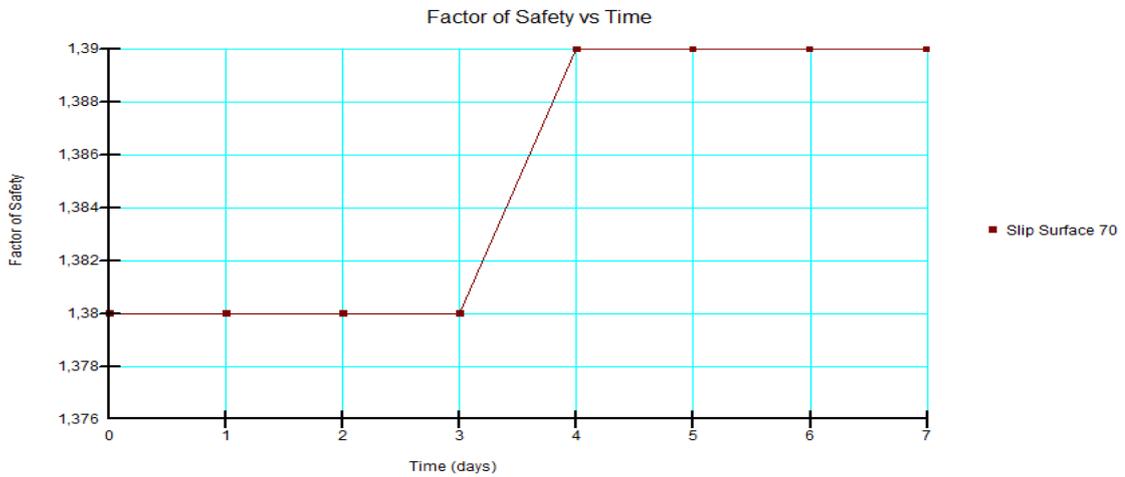


Figure 57: $f(t)=FC$, TALUS AVAL

Le coefficient de sécurité reste stable pendant toute la durée de vidange.

5. Etude de cas (profil zoné à noyau) :

5.1 Stabilité en fin de construction :

5.1.1 Profil de barrage zoné U=0 :

- Talus amont :

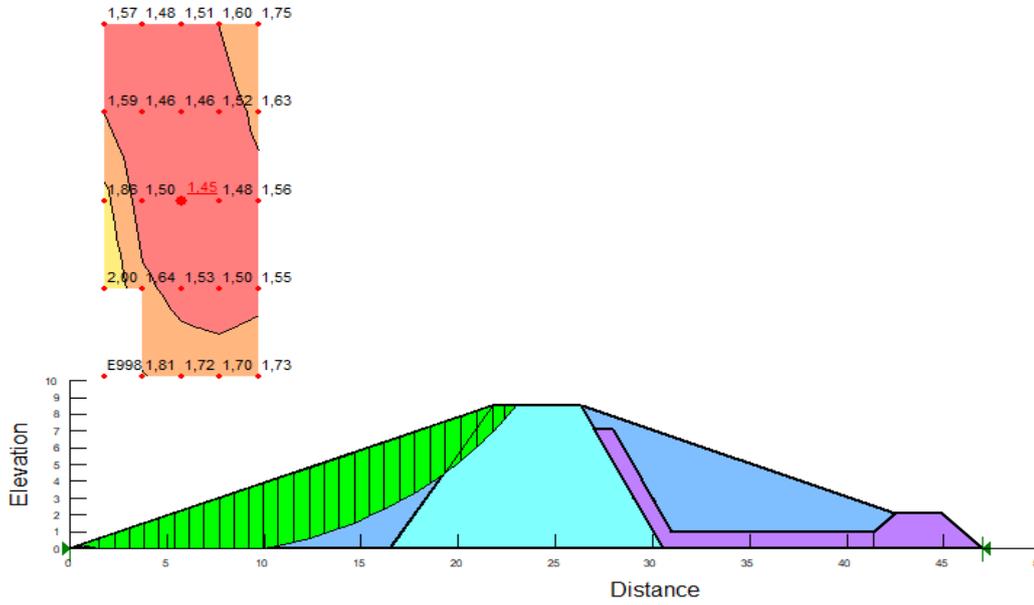


Figure 58: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AMONT, U=0

- Talus aval :

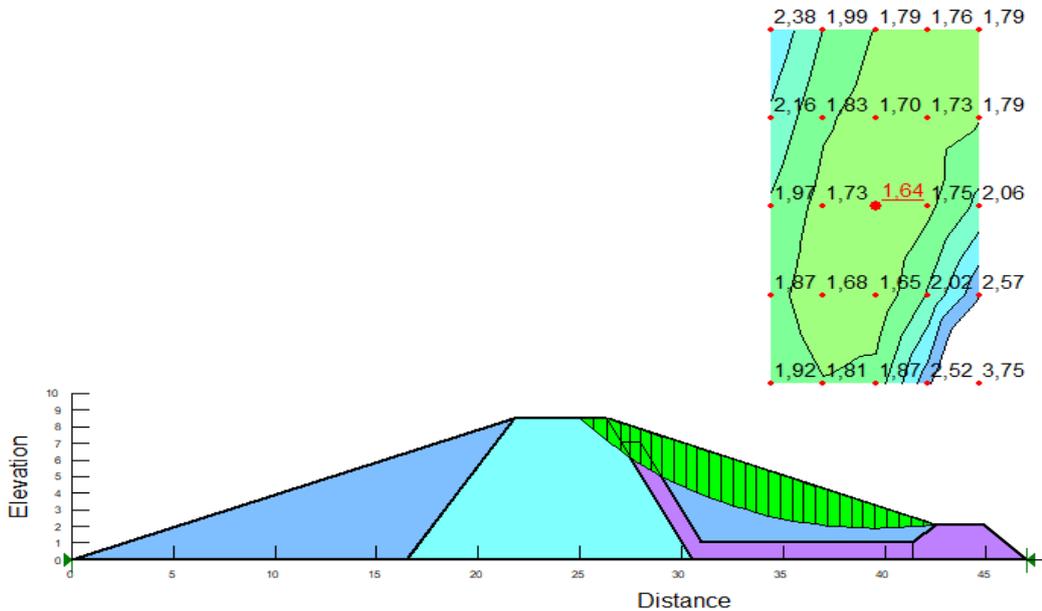


Figure 59: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AVAL, U=0

5.1.2 Profil de barrage zoné à noyau (RU=0.1)

• Talus amont :

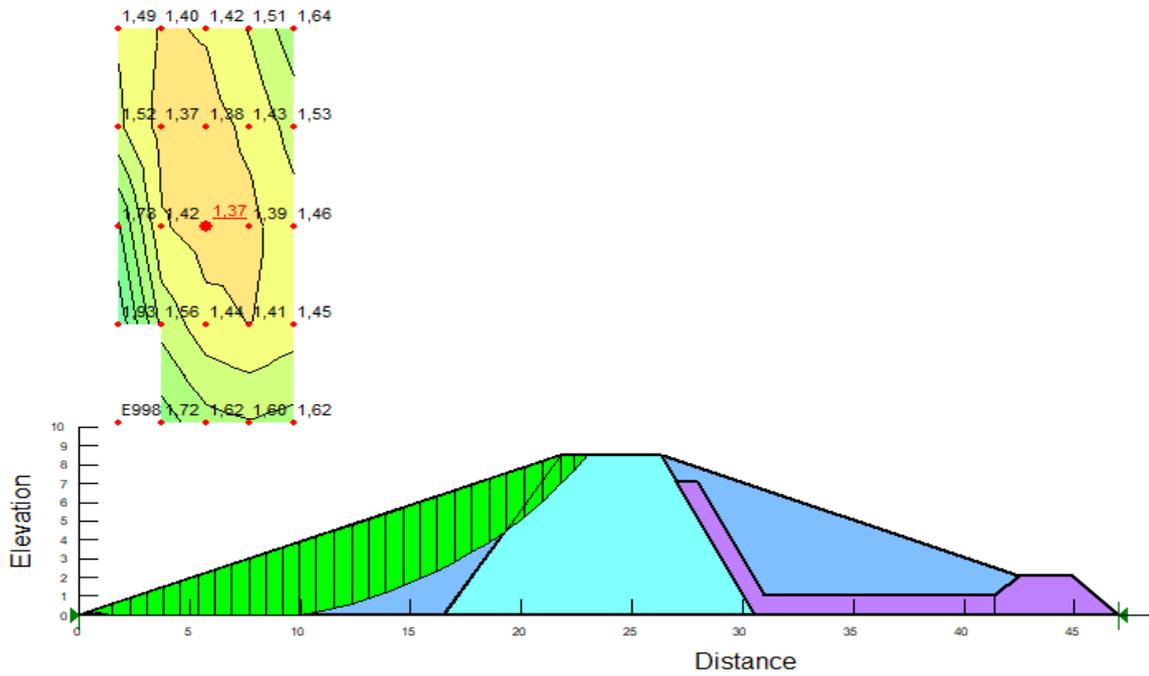


Figure 60: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AMONT, RU=0,1

• Talus aval :

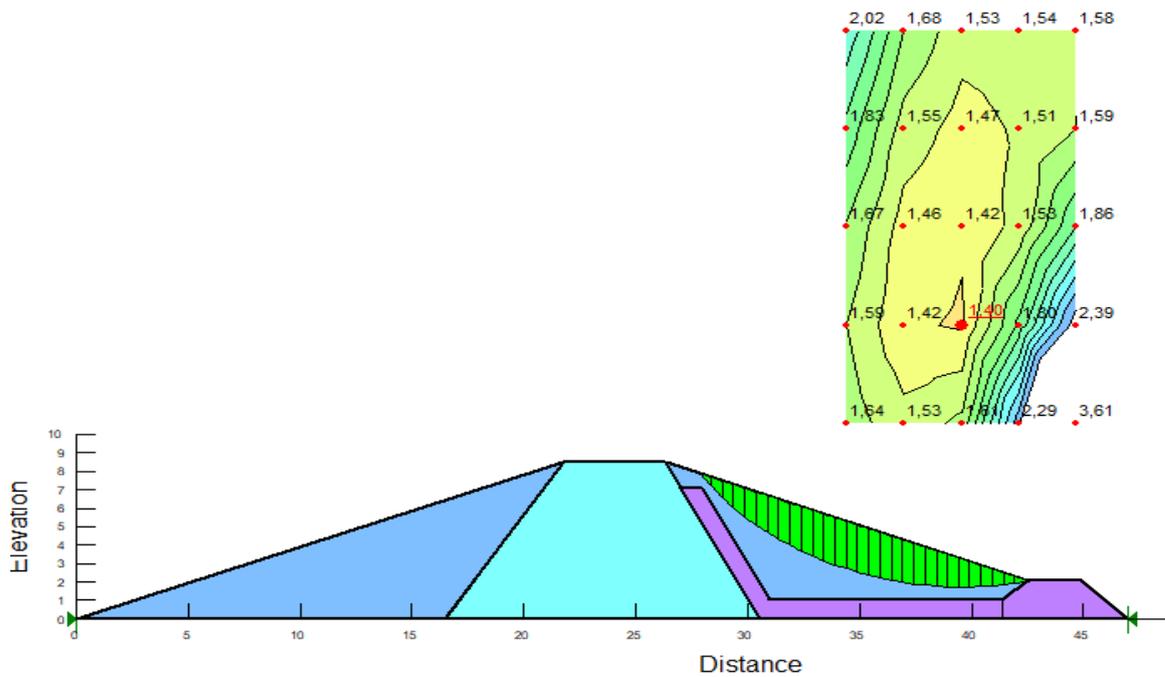


Figure 61: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS FIN DE CONSTRUCTION, COTE AVAL, RU=0,1

Tableau 13: VALEURS DU COEFFICIENT DE SECURITE DANS LE PROFILS ZONE, CAS DE FIN DE CONSTRUCTION

	Profil Barrage a noyau U=0	Profil Barrage a noyau Ru=0,1
État normal en service Talus Aval	1,64	1,40
État normal en service talus Amont	1,45	1,37

5.2 Le cas d'une retenue pleine :

5.2.1 ETUDE DES INFILTRATIONS :

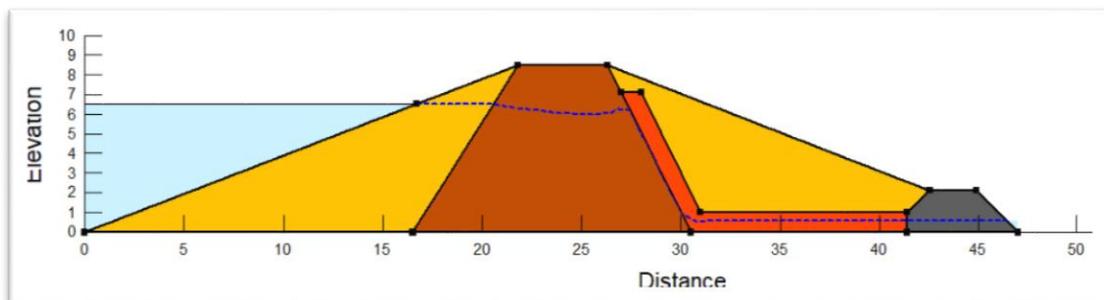


Figure 62: Position de la ligne de saturation de profil zoné

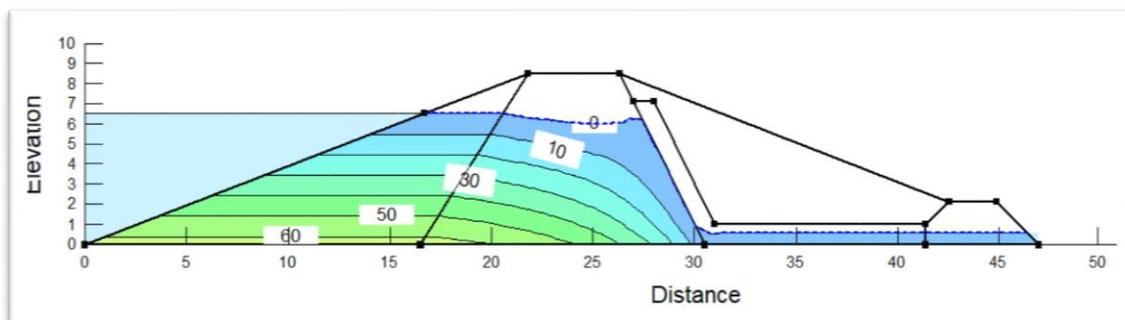


Figure 63: Position de la ligne de saturation de profil zoné

Les lignes de contours des pressions interstitielles, 0 pour la ligne de saturation et 60kPa comme maximum ($\gamma_w \cdot z$).

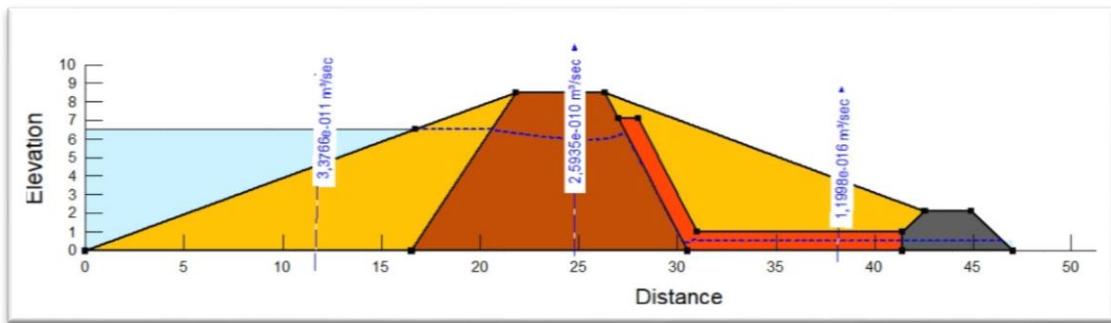


Figure 64: DEBIT DANS LA DIGUE (NOYAU)

Le débit de fuite en n'importe quelle section ; la valeur du débit au milieu de noyau est de $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{s}$, au coté du talus amont elle est de $3,37 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}$.

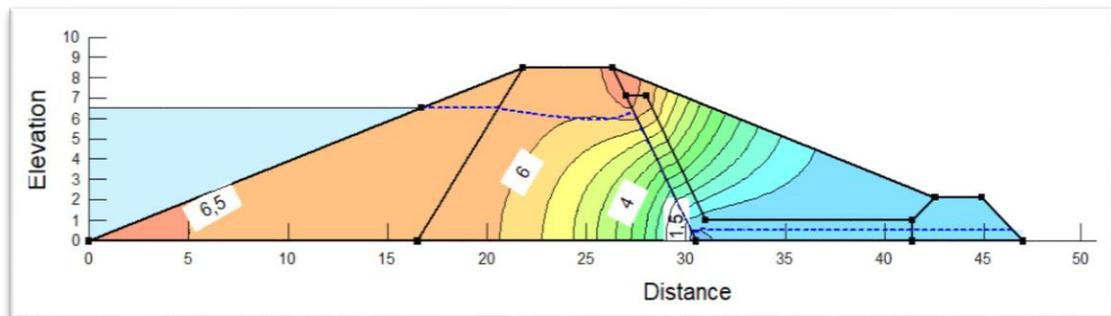


Figure 65: LA CHARGE HYDRAULIQUE

Les lignes de contours des charges hydrauliques qui décroissent de la gauche vers la droite de 6,5m jusqu'à 0 m.

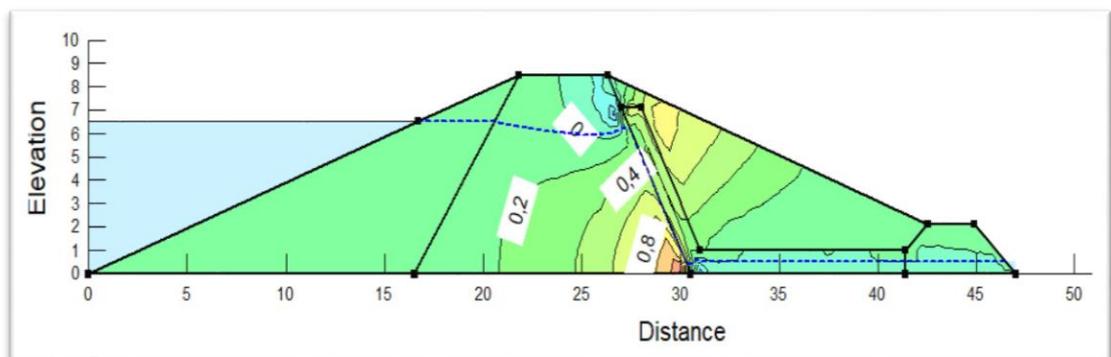


Figure 66: LE GRADIENT HYDRAULIQUE

La valeur maximum obtenue du gradient c'est 0,8.

Les mêmes démarches précèdent du profil homogène :

Selon le rapport géotechnique on a :

$$\gamma_{d(\text{noyau})} = 18,1 \text{ kn/m}^3$$

$$n = 0,33$$

$$\text{Donc : } \gamma_s = 27,01 \text{ kn/m}^3$$

$$\text{Donc : } \gamma' = 11,4 \text{ kn/m}^3 \quad \text{alors : } i_c = 1,14$$

$$F_s = 1,14 / 0,8 = 1,42 < 2 \text{ il y a le risque de phénomène d'érosion régressive.}$$

On va faire une coupe à travers le noyau pour réaliser des graphes :

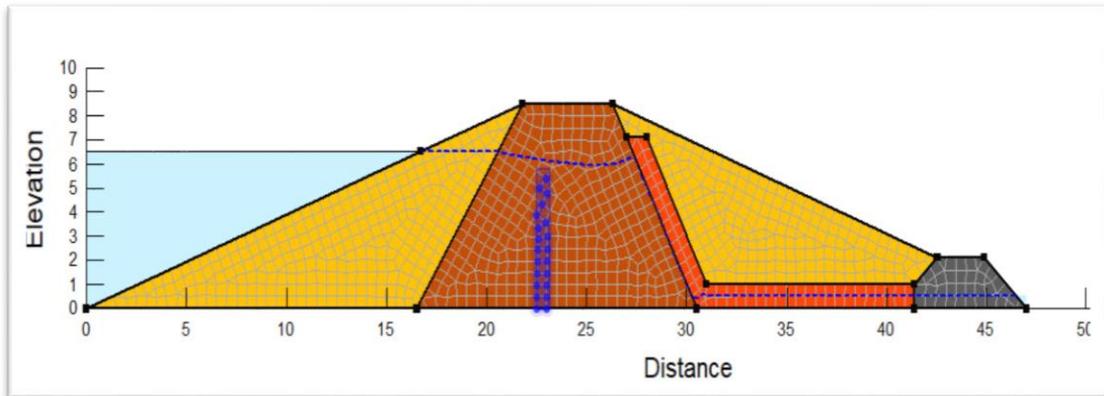
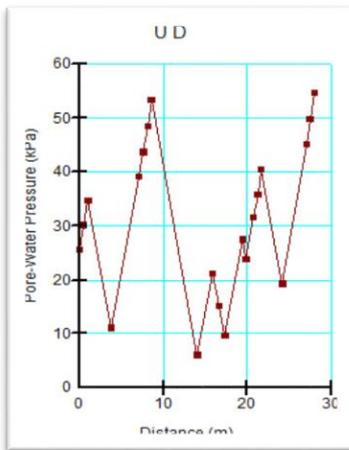
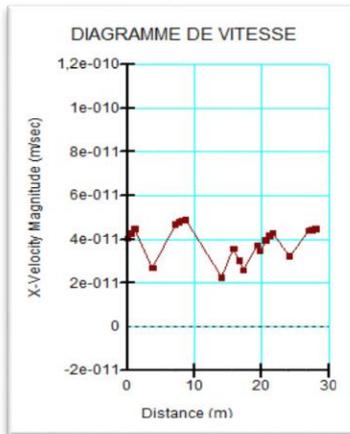


Figure 67: COUPE DANS LA DIGUE (NOYAU)



Les valeurs de U atteignent une valeur maximum de 60kpa.

Figure 68: $F(D) = U$



La vitesse d'écoulement ne change pas beaucoup à cause de faible perméabilité de l'argile.

Figure 69: DIAGRAMME DE VITESSE

5.2.2 Stabilité en fonction normal :

- Talus amont :

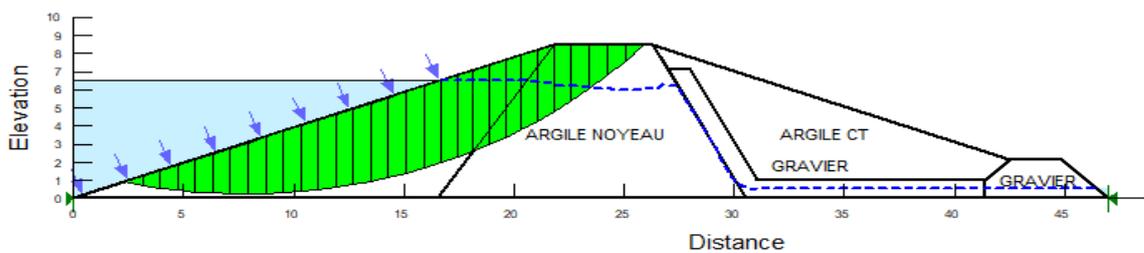
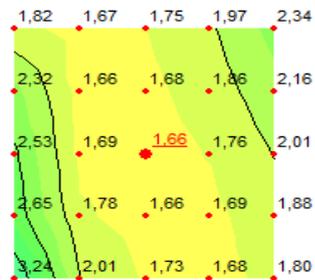


Figure 70: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AMONT (NOYAU)

• Talus aval :

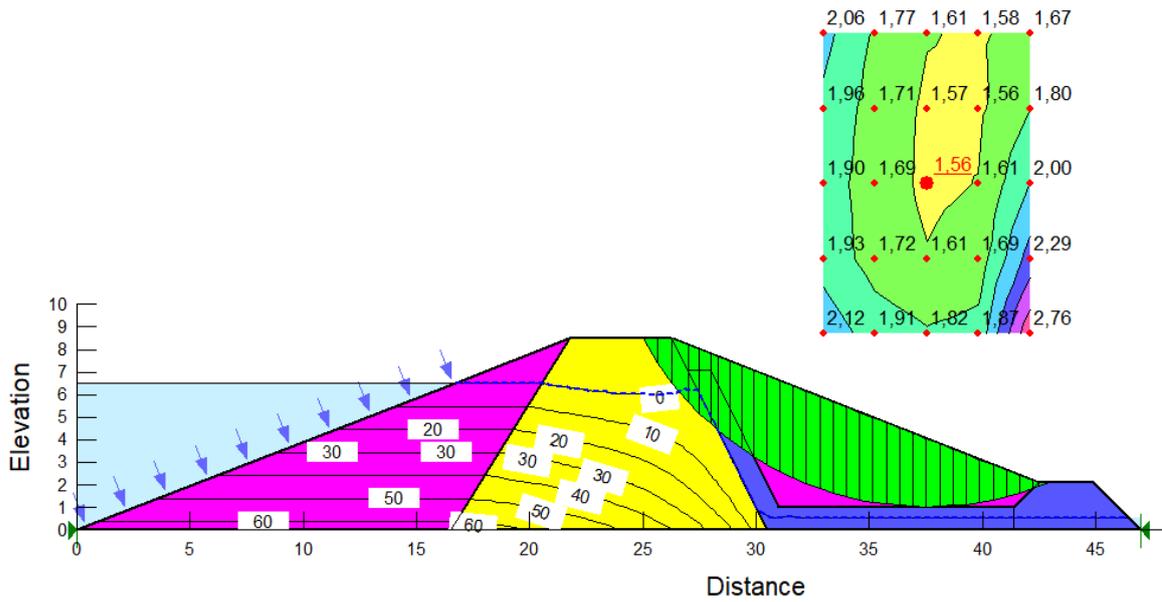


Figure 71: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS ETAT NORMAL, RETENUE PLEINE, COTE AVAL (NOYAU)

5.3 Le cas de vidange rapide :

5.3.1 Etudes des infiltrations :

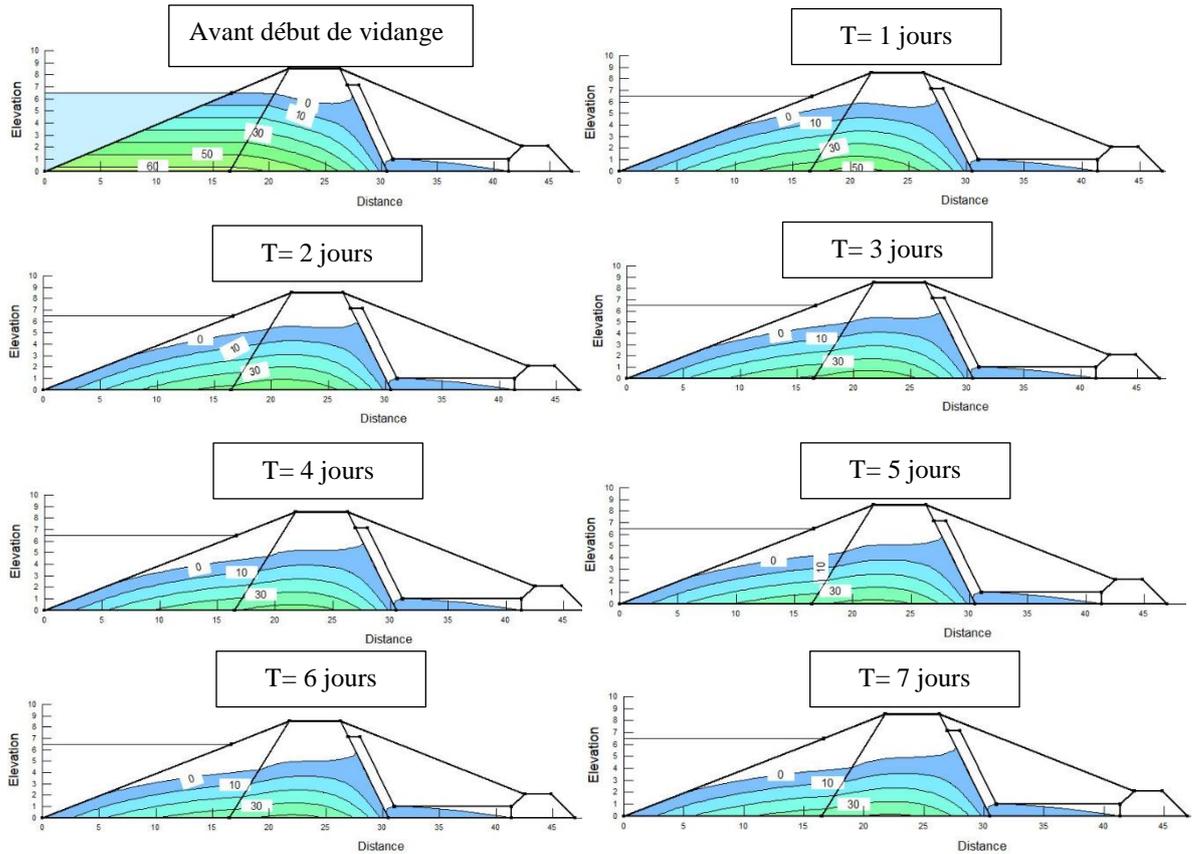


Figure 72: changement des pressions pendant la vidange rapide

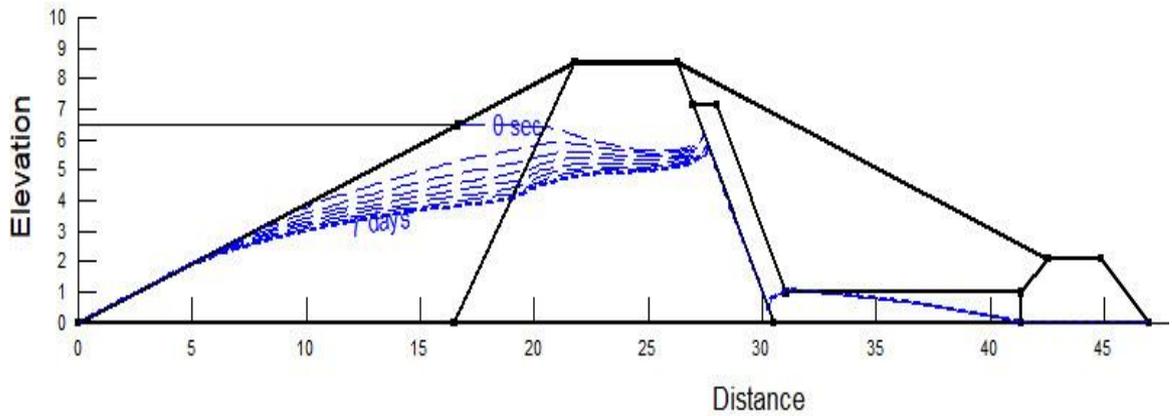


Figure 73: changement de la position de la ligne de saturation pendant la vidange rapide

5.3.2 Etude stabilité en cas de vidange rapide :

• Talus amont

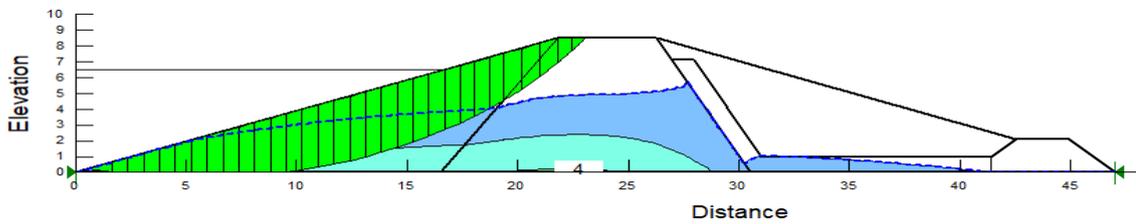
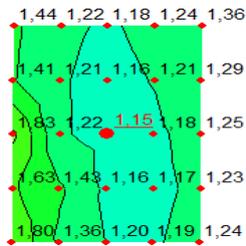


Figure 74: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE AU 7EME JOUR, TALUS AMONT

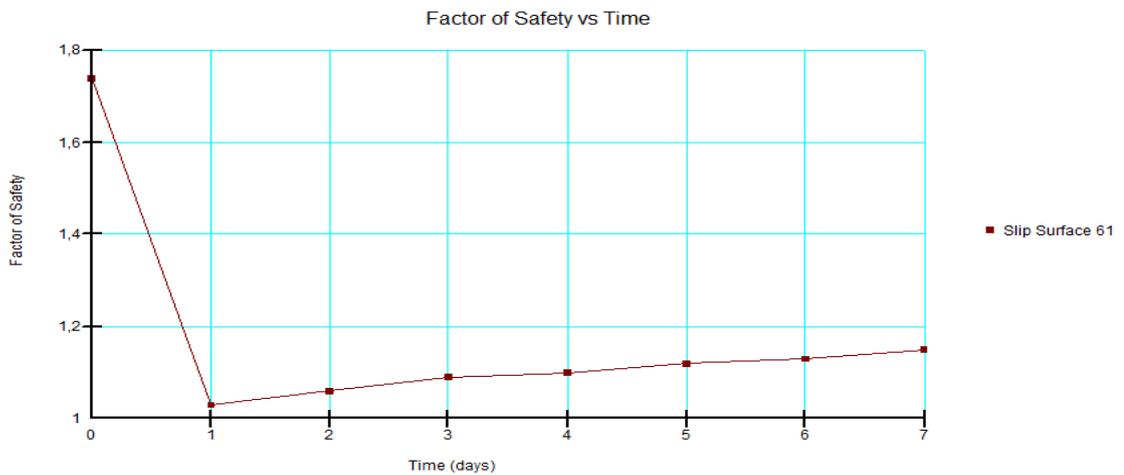


Figure 75: $f(t)=FC$, TALUS AMONT

On remarque que le coefficient de sécurité diminue d'une façon progressive au premier jour de vidange et après il augmente lentement jusqu'au 7ème jour pour atteindre une valeur de $1,15 < 1,3$, donc il y a une instabilité du talus amont ; comme solution on propose de diminuer la pente du talus amont.

- **Talus aval :**

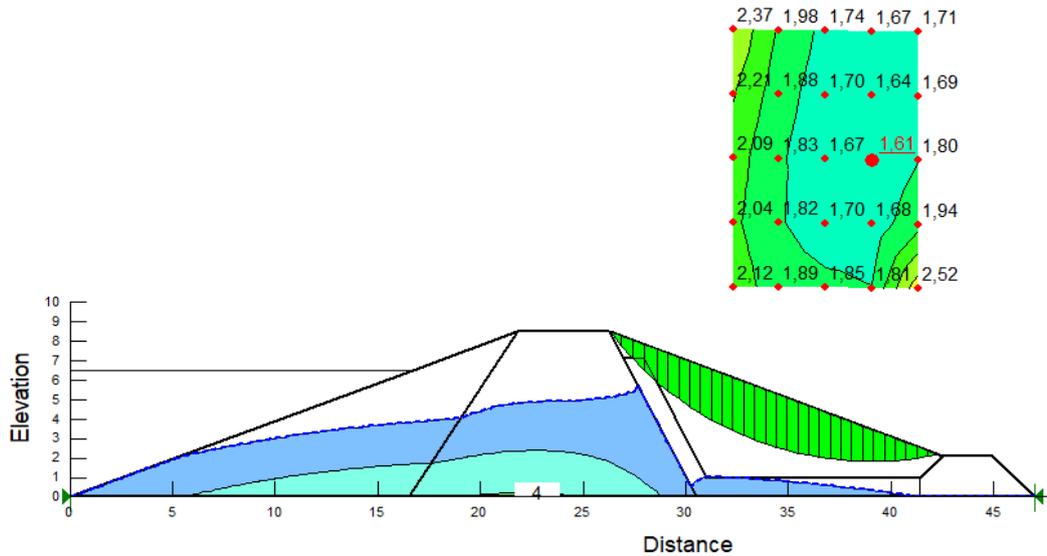


Figure 76: RESULTATS DE LA STABILITE, CAS DE VIDANGE RAPIDE AU 7EME JOUR, TALUS AVAL

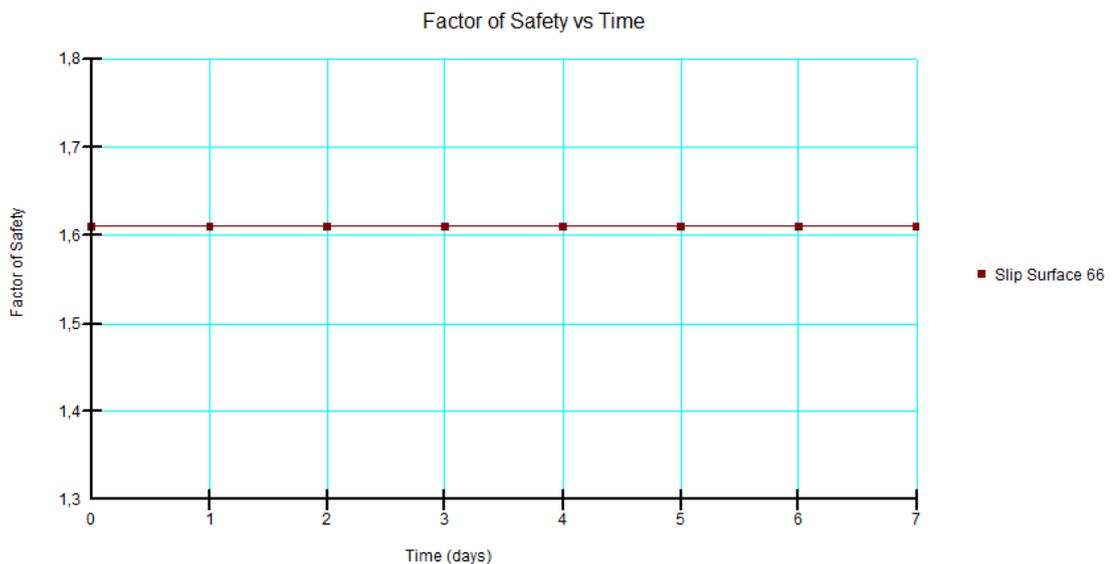


Figure 77: $f(t)=FC$, TALUS AVAL

Le coefficient de sécurité reste stable pendant toute la durée de vidange.

6. L'ANISOTROPIE DE PERMÉABILITÉ DU REMBLAI :

L'une des causes de l'inefficacité du drain d'un barrage est l'anisotropie de perméabilité du remblai caractérisée par le rapport k_h / k_v de la perméabilité horizontale

à la perméabilité verticale. L'anisotropie dépend des différences de granulométrie, de densité, de teneur en eau des sols et du mode de compactage. La technique de construction des remblais en terre par couches horizontales compactées favorise l'anisotropie de perméabilité surtout si l'on n'assure pas une bonne liaison entre les couches. La perméabilité horizontale est supérieure à la perméabilité verticale dans des rapports qui peuvent aller de 1 à 100 et plus.

Si le matériau de remblai n'est pas très homogène ou si la construction du barrage n'a fait l'objet d'aucun contrôle, il y a tout lieu de penser que l'on aura une forte anisotropie de perméabilité du massif. (32)

Que peut-on en attendre ?

Une piézométrie anormalement élevée et une réduction de la stabilité du talus aval.

Pour illustrer ce propos, nous avons calculé la position de la ligne phréatique d'équilibre pour différentes valeurs du rapport k_h / k_v de 3 à 15. (32)

6.1 Profil homogène :

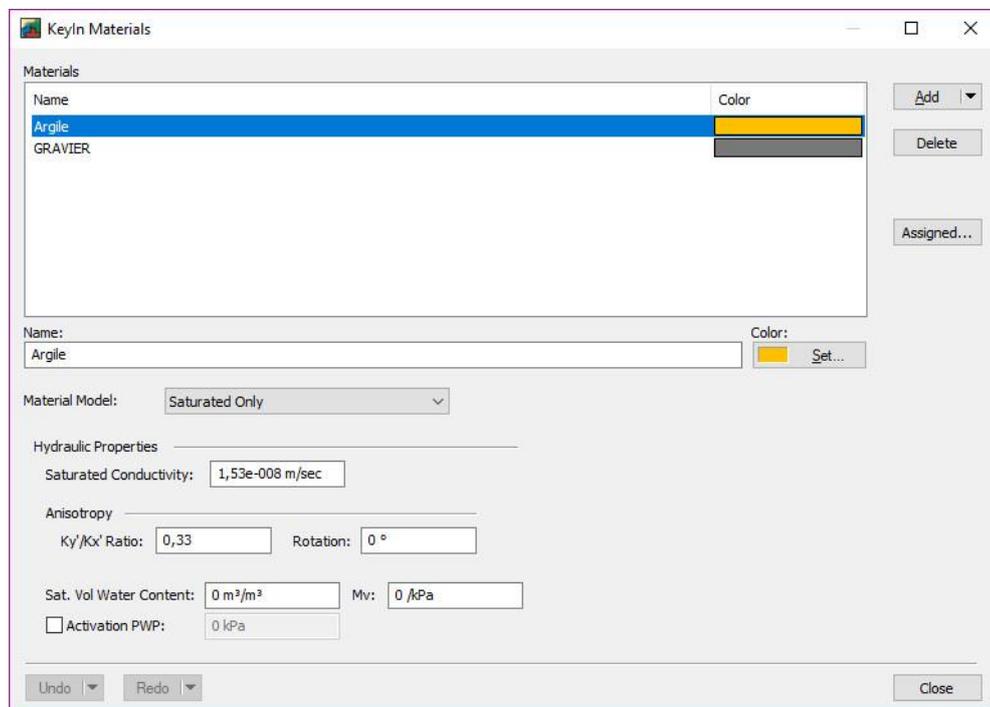


Figure 78: ENTRE DES DONNEES

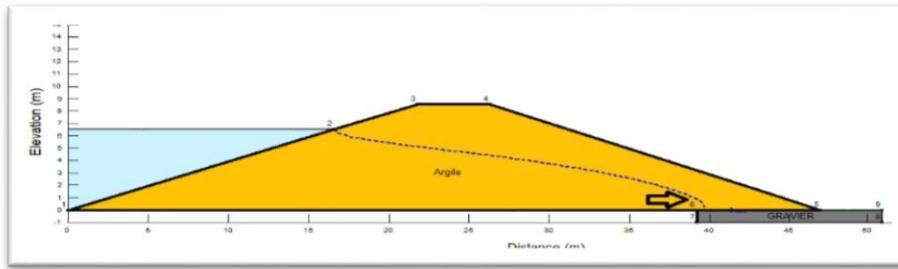


Figure 79: pour $k_x/k_y=3$

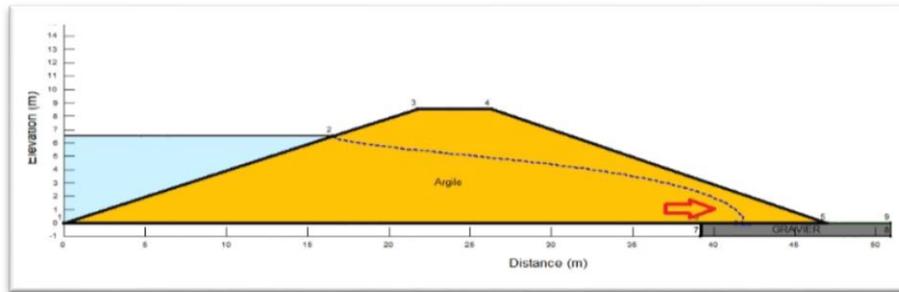


Figure 80: pour $k_x/k_y=9$

On remarque un déplacement horizontal de la ligne de saturation vers le coté aval.

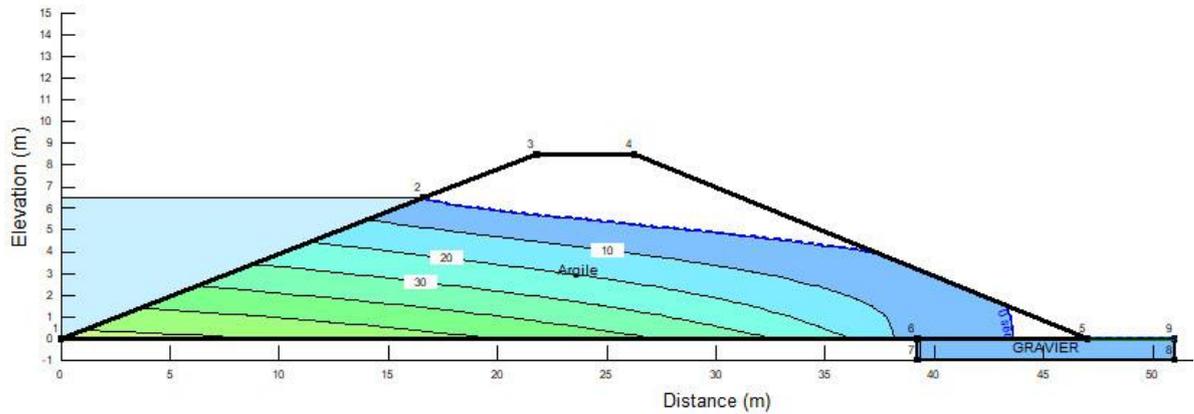


Figure 81: POSITION LA LIGNE DE SATURATION DE PROFIL HOMOGENE POUR $k_x/k_y=15$

On remarque un soulèvement de la ligne de saturation, dans ce cas le drain horizontal perd son efficacité.

Si on remplace ce tapis drainant par un drain cheminé on va obtenir ce résultat :

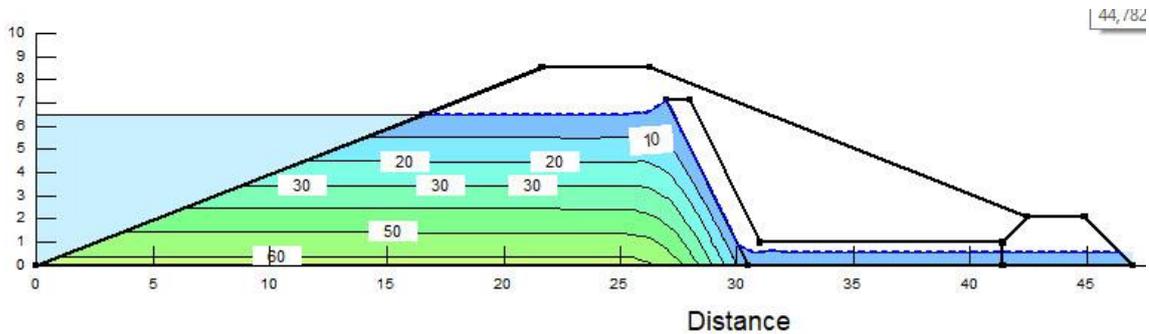


Figure 82: POSITION LA LIGNE DE SATURATION DE PROFIL HOMOGENE POUR $k_x/k_y=20$

6.2 Le profil zoné :

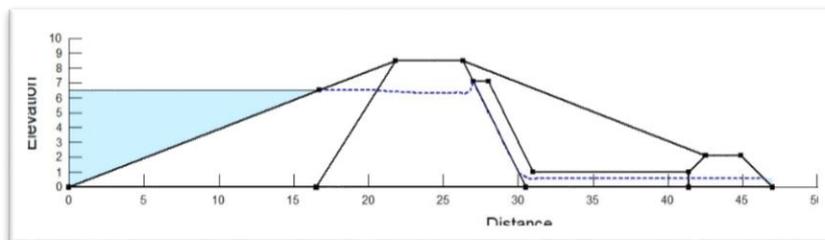


Figure 83: pour $k_x/k_y=9$

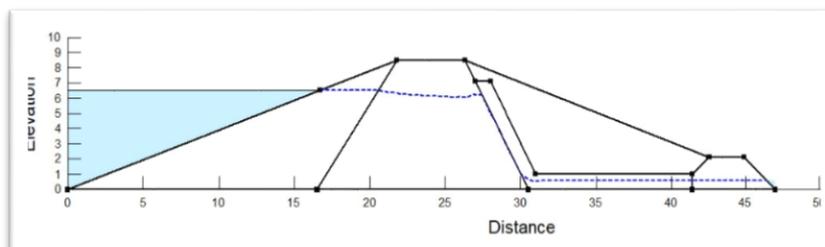


Figure 84: pour $k_x/k_y=3$

Dans le cas de drain cheminé le changement de rapport $\frac{k_x}{k_y}$ n'a aucune influence importante sur la position de la ligne de saturation dans le remblai.

Dans le cas où on n'est pas sûr d'obtenir (et de maintenir) dans le remblai un coefficient d'anisotropie de perméabilité très faible sur toute la hauteur, le seul dispositif drainant qui puisse assurer une totale maîtrise des écoulements dans le remblai sera le drain cheminé central jusqu'à la cote de retenue normale. Toutes les autres solutions sont risquées ou dangereuses.

7. Conclusion :

A travers les résultats de la modélisation, leur interprétation par rapport aux paramètres décisifs, il n'est pas enregistré de phénomènes liés à des comportements anormaux.

L'adoption de la variante définitive ne dépendra plus que de la disponibilité en quantités suffisantes des matériaux étanches pour ériger la totalité des remblais.

CHAPITRE V : LES OUVRAGES ANNEXES

<u>1.</u>	<u>Introduction :</u>	133
<u>2.</u>	<u>ETUDE DES CRUES</u>	133
<u>3.</u>	<u>Les ouvrages annexes</u>	139
<u>4.</u>	<u>Autre solution pour remplacer l'évacuateur des crues :</u>	152
<u>5.</u>	<u>Conclusion :</u>	155

1. Introduction :

Pour des raisons techniques et de sécurité des agglomérations, ce barrage nécessite l'installation d'un organe d'évacuation et de contrôle dit évacuateur de crue, son rôle est d'assurer le passage des crues exceptionnelles dans des conditions favorables à la sécurité. Ce dernier représente une partie considérable du coût globale du barrage. Ce coût serait important si la crue choisie est à grande période de retour, par conséquent les dimensions de l'évacuateur de crues seraient importantes. Il est possible de réduire les dimensions globales de l'évacuateur de crues ; ceci est réalisable en adoptant une forme non rectiligne de la crête du déversoir.

On va dimensionner l'évacuateur de crue adéquat pour permettre le transit des crues à travers le barrage de DAHRA en contrôlant les côtes maximales atteintes par le barrage de manière à ce qu'elles restent inférieures aux côtes assurant la stabilité de l'ouvrage. Ceci a permis de dégager les débits de différentes périodes de retour et choisir le débit de dimensionnement de l'évacuateur de crue.

2. ETUDE DES CRUES

2.1 Apports moyens annuels

En raison de l'absence des stations hydrométriques sur l'Oued ABRIR, l'estimation de l'apport moyen annuel est faite moyennant les formules empiriques :

- Formule de SAMIE
- Formule de MALLET et GAUTHIER
- Formule de SOGREAH
- Formule ANRH

2.2 Etude des pluies journalières de différentes fréquences

Pour l'étude des pluies journalières de différentes fréquences, nous adoptons la distribution LOG NORMALE ou loi de GALTON qui s'écrit :

$$PJ \text{ Max } f\% = \frac{PjMax.e^{u\sqrt{\ln(Cv^2+1)}}}{\sqrt{Cv^2+1}}$$

Où :

PJ max : pluie journalière moyenne maximale annuelle (mm)

Pjmaxf% : pluie journalière de fréquence donnée (mm)

Cv : coefficient de variation

U : variable de Gauss

Tableau 14: PJ max fréquentielle

Période	30ans	10ans
Fréquence	30%	10%
U	1,846	1.282
Pj max %	54.38	40.81

2.3 Pluies de courte durée

A partir des pluies journalières maximales nous calculons les pluies de courte durée de même fréquence en utilisant la relation suivante :

$$P_{tc} = P_{J \max} = [T_c / 24]^b$$

Où :

P_{tc} : pluie de courte durée de fréquence donnée, mm

PJ max : pluie max. journalière de même fréquence, mm

T_c : temps de concentration, heure

B : coefficient climatique 0,27.

Tableau 15: pluies de courte durée

Période	30ans	10ans
Fréquence	30%	10%
PJ max %	54.38	40.81
Pluie de courte durée ptc(mm)	32.17	24.14

2.4 Débits maximums des crues :

En raison de l'absence de mesures hydrométriques, la détermination des crues de projet a nécessité l'utilisation des formules de Turazza et de Giandotti qui donnent des résultats acceptables concernant les débits estimés de l'Oued.

- **FORMULE DE TURAZZA**

La formule de TURAZZA tient compte des pluies maximales de courtes durées, de l'intensité des pluies de la superficie et du temps de concentration :

$$Q_{\max} = \frac{C * p_{tc} * S}{3.6 * T_c} = \frac{1}{3.6} S \cdot I_t \cdot C$$

Où :

Ptc : pluie de courte durée pour un temps $t = T_c$

S : superficie du bassin versant, Km²

Tc : temps de concentration, heure

It : intensité de la pluie, mm/h

C : coefficient de ruissellement

- **FORMULE DE GIANDOTTI :**

La formule de Giandotti représente le rapport entre le débit instantané et le débit moyen journalier :

$$\frac{Q_{inst}}{QT} = \frac{ptc}{P_{jmax}} * \frac{24}{Tc}$$

Avec :

QT : débit moyen journalier de temps de retour T

QT : est calculé par la formule de SAMIE :

$$QT = \frac{Cr * PT * S}{108}$$

Cr : coefficient de ruissellement en grande crue Cr=0,90

Les résultats obtenus par les deux formules citées ci-dessus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 16: résultats de debit

Période de retour (année)	30	10
Formule de TERAZZA	21.48	12.09
Formule de GLANTOTTI	11.43	8.58
Débit proposé m ³ /s	21.48	12.09

Pour la raison de sécurité on a pris les valeurs de la formule de TURAZZA comme débits de projet.

2.5 HYDROGRAMME DES CRUES :

L'hydro gramme de crues présente la forme générale d'un courbe en cloche dissymétrique que l'on divise en quatre parties ; tarissement (avant la pluie nette), crue, déçue et tarissement après la recension hydro pluviométrique étudiée).

L'hydro gramme de crue permet de déterminer les caractéristiques de la crue ; forme, volume, temps de la montée et de la descente. La forme de l'hydro gramme est

déterminée selon la méthode de SOKOLOVSKY, qui assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques l'une traduisant la montée de la crue :

$$Q(t) = Q_{\max} \left[\frac{T}{T_m} \right]^2$$

Et l'équation de décrue :

$$Q(t) = Q_{\max} \left[\frac{T_d - T}{T_d} \right]^3$$

Où :

T_m : temps de montée de la crue il est égale au temps de concentration (t_m=t_c=1,994) (heure) **T_d** : temps de décrue. (Heure)

Avec : T_d = δ * T_m

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

Tableau 17: Valeurs de δ

Description du cours d'eau	Δ
Petite cour d'eau dans les bassins dénudés et de faible perméabilité	2 à 2.5
Petite cour d'eau dans les bassins versants boisés ou perméables, moyen cours d'eau avec terrasses de lite moyens normales	3 à 4
Grands et moyens d'eau avec des terrasses de débordement étendues	4 à 7

Pour notre versant la valeur d'est prise égale à (δ=2.5)

A.N :

$$T_d = 1,9 * 2,5 = 4,75 \text{ heures}$$

T_b : temps de base

$$T_b = T_m + T_d$$

$$T_b = 4,75 + 1,9 = 6,65 \text{ h}$$

$$V_T = (1,8 * Q_t * T_b) / 1000$$

$$T_b = 2 * T_c$$

V_T : volume de crue hm³

Q_t : débit maximal m³

T_c : temps de concentration heure

Tableau 18: Hydro gramme des crues

DT(h)	Q(m ³ /s)
0	0
0.5	1.099486088
1	4.39794435
1.5	9.895374788
2	17.5917774
2.21	21.48
2.5	18.27205896
3	13.52064406
3.5	9.673812687
4	6.63604387
4.5	4.311816648
6,65	0

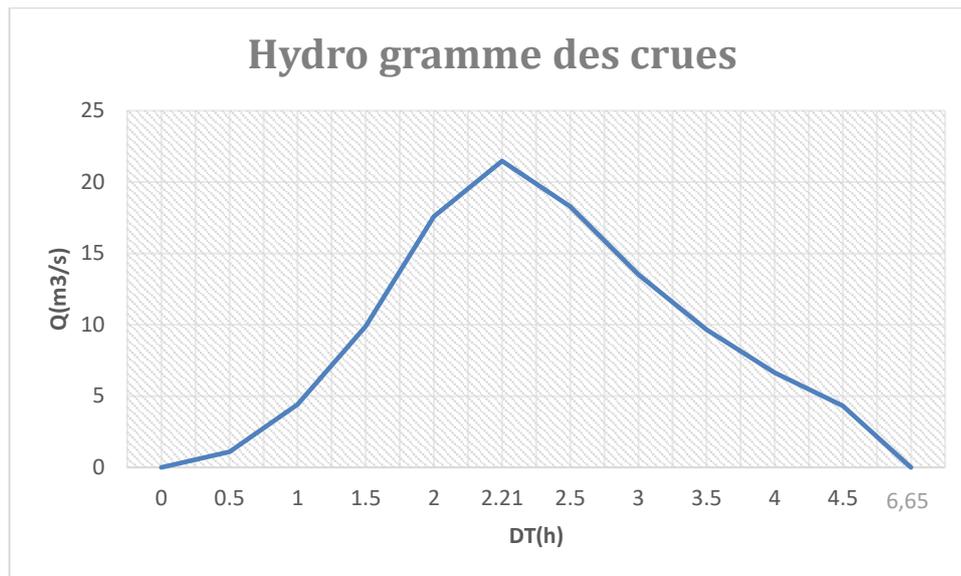


Figure 85: Hydrogramme des crues

3. Les ouvrages annexes

3.1 DERIVATION PROVISOIRE :

La dérivation provisoire est réalisée pour travailler à sec, pour notre barrage on va réaliser un Batardeau ; une digue d'hauteur maximum 2m.

3.2 VIDANGE DE FOND :

La vidange du fond est obligatoire dans les barrages et les retenus pour but de :

- ✓ Diminuer le volume mort ;
- ✓ Panne de l'évacuateur de crue ;
- ✓ Guerre (vidange total) ;
- ✓ Défaillance de la digue (fissure).

3.2.1 Temps de vidange :

L'ouvrage de prise d'eau et de vidange de fond doivent être conçus avec une capacité suffisante qui garantit le temps de vidange du barrage et qui n'affecte pas la stabilité de la pente du barrage. Mais en même temps, elle permettra la diminution du niveau d'eau de la cuvette en un temps préétabli en permettra la réparation de tous les problèmes qui se présentent dans cette dernière le temps de vidange est déterminé par l'expression suivante :

$$T=V/Q$$

Où :

T = temps de vidange (jours)

V = volume d'eau dans la cuvette à évacuer (m^3)

Q = débits (m^3/s)

Par mesure de sécurité on propose un diamètre de la conduite du fond et de 1 m.

3.2.2 Contact béton-sol :

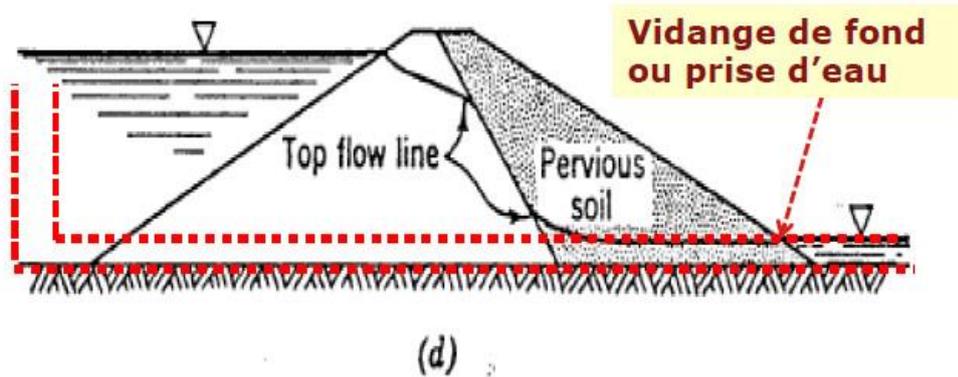


Figure 86 : vidange de fond dans une digue

✓ Les anti-renard :



Figure 87: phénomène d'érosion à cause de mauvais contact béton-sol

Pour éviter ce genre des problèmes affecté par l'augmentation de gradient hydraulique à la sortie (érosion, renard...); il faut Augmenter la longueur de l'écoulement par Placement Diaphragmes anti-renards



Figure 88: des anti-renard

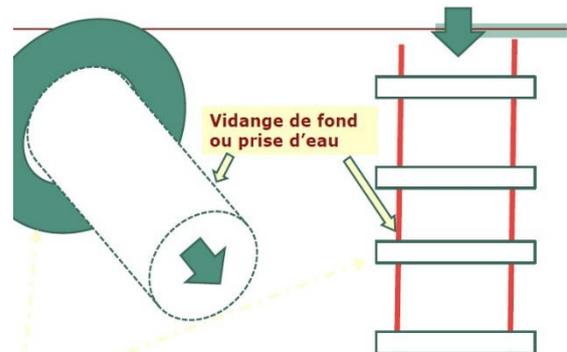


Figure 89 : schéma des anti-renard

✓ Filtres Diaphragmes :

Et il faut aussi Contrôle de l'écoulement par Placement des Filtres Diaphragmes.

Pour les petits barrages homogènes ; un seul collier filtrant est utilisé à la place des colliers anti-renard structurels. Si le barrage a un drain de cheminée, ce drain peut servir de collet de filtre.

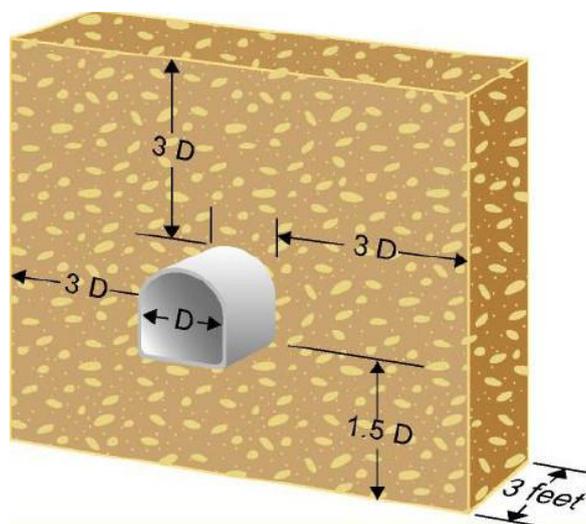


Figure 90: Placement des Filters Diaphragms

3.3 EVACUATEUR DE CRUES :

L'évacuateur de crue est un ouvrage de très grande importance pour la sécurité de l'ouvrage pour éviter la submersion de barrage au passage d'une fort crue dangereuse. Il est composé des parties suivantes :

- Déversoir
- Canal d'entre
- Transition
- Coursier
- Bassin d'amortissement

3.3.1 DEVERSOIR :

- Calcul de débit la longueur de déversoir :

$$Q_{dév} = Q_{max} = 12,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{dév} = U \cdot L_{dév} \sqrt{2g \cdot H_{dév}^{\frac{3}{2}}}$$

Où :

U = coefficient de débit égale 0.49

$L_{dév}$ = longueur du déversoir (m)

$$L_{dév} = Q_{dév} \cdot \frac{1}{U \cdot \sqrt{2g \cdot H_{dév}^{\frac{3}{2}}}}$$

A.N:

$$L_{dév} = 5,517 \text{ m}$$

Donc on va prendre : $L_{dév} = 6 \text{ m}$

3.3.2 CANAL D'ENTREE

Procédure pour le calcul des pertes dans le canal et la largeur du fond

Données du déversoir :

N.P.H.E = 724 m

N.N.R = 723 m

$$Q_{dév} = 12,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_d = L_{dév} = 6 \text{ m}$$

$L_{can} = 40\text{m}$

$V_{adm} = 1.2\text{m/s}$ pour éviter l'érosion

1. On suppose $H_0 = H = (\text{N.P.H.E-N.N.R})$

2. Calcul de la largeur du canal d'accès :

$$b_{can} = \frac{Q_d}{(P+H)V_{adm}}$$

A.N :

$$b_{can} = 16\text{ m}$$

a) Calcul du débit spécifique dans le canal d'accès :

$$q_s = \frac{Q_d}{b_{can}} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_s = 1.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calcul de la pente de canal :

$$i_0 = \left(\frac{n_0 V_{adm}}{R^{2/3}} \right)^2$$

$$i_0 = 0.01$$

Tableau 19: Résultat de canal d'entrée

Canal d'entrée		
Longueur	40	(m)
Longueur à l'entrée	16	(m)
Largeur à la sortie (largeur de la déversoir)	6	(m)
Pente	0.01	/

3.3.3 COURSIER :

3.3.3.1 Définition :

Le coursier est la partie de l'évacuateur de crues qui permet le passage l'eau de la côte du déversoir vers l'aval. Critères généraux pour le dimensionnement et la conception hydraulique d'un coursier implique la solution des aspects suivants :

- Tracé en plan.
- Tracé du profil Longitudinal.

- Obtention de la section transversale.
- Calcul de la hauteur des parois latérales.

Formules directes approximatives pour la détermination de la hauteur de l'écoulement d'eau :

- ✓ **La hauteur du coursier est déterminée par la formule générale suivante :**

$$Y_i = \frac{\gamma_{cr} b_{cour} (k_a b_{cour} + k_c L_i)}{(b^2_{cour} + k_b b_{cour} L_i + k_d L_i^2)}$$

Où :

K_a , k_b , k_c et K_d sont les coefficients qui dépendent de la pente du coursier ils sont calculés par les formules suivantes :

$$K_a = 0.959 - 0.184 i_o$$

$$k_b = 0.243 + 3.768 i_o$$

$$k_c = 0.280 + 0.189 i_o$$

$$K_d = 0.006 - 0.13 i_o$$

Y_{cr} : La hauteur d'eau critique au début du coursier, elle est déterminée par la formule suivante :

$$Y_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q_d^2 d}{g b^2_{cour}}}$$

Q_d : débit de projet (m^3 /s),

g : accélération de la gravité

b_{cour} : Largeur du coursier (m).

L_i : Distance depuis le début jusqu'à la section où l'on voudrait connaître la hauteur de l'eau. Ces formules seront utilisées dans les conditions suivantes :

$$0.05 \leq i_o \leq 0.30 \text{ (pente du fond du coursier)}$$

$$2.13 \leq q \leq 15.50 \text{ (débit spécifique) } q = \frac{Q_{dév}}{b_{cour}}$$

$$L \leq 150m \text{ (longueur totale du coursier)}$$

- b) Calcul de la hauteur des parois :**

La hauteur des parois doit être calculée par la formule suivante :

$$H_3 = Y_{crit} + HL$$

Où :

Y_{crit} : hauteur d'eau critique (m).

HL : hauteur libre (0.5m à 1.0m).

On prendre HL=1m

c) L'application de la méthodologie recommandée :

Données :

$$Q_{dév} = 12,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L_c = 109 \text{ m}$$

$$j_0 = 0.08 \text{ m}$$

$$b_c = b_t = 3.74 \text{ m}$$

$$h_3 = 2.33 \text{ m}$$

Puisque (i_0) est inférieur à 0.3 donc la valeur est acceptable :

$$q = \frac{Q_{dév}}{b_{cour}}$$

$$q = 4.84 \text{ m}^3/\text{s C.V}$$

Calcul des coefficients :

Tableau 20: Calcul des coefficients

Ka	Kb	Kc	Kd
0.944870826	0.53234092	0.294513119	0.005001743

Calcul de Y_{cr} :

$$Y_{cr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2 d}{g b^2 c_{our}}}$$

$$Y_{cr} = 1.33 \text{ m}$$

En remplaçant la valeur (Y_{cr}) dans la formule suivante :

$$Y_i = \frac{Y_{cr} b c_{our} (K_a b c_{our} + K_c L_i)}{b^2 c_{our} + k b b c_{our} L_i + K_d L_i^2}$$

On peut réaliser le tableau suivant pour obtenir la trace de la ligne d'eau dans le coursier par la formule précédente :

Tableau 21: Calcul de la ligne d'eau dans le coursier

Li(m)	Yi(m)
0	1.33
5	1.03252825
10	0.93492385
15	0.87750633
20	0.83818588
25	0.80861124
30	0.78492373
35	0.76509257
40	0.74794577
45	0.73275858
50	0.7190579
55	0.70652121
60	0.69492055
65	0.68408985
70	0.67390493
75	0.66427081
80	0.65511339
85	0.64637384
90	0.63800468
95	0.62996709
100	0.62222885
109	0.60897088

3.3.4 BASSIN D'AMORTISSEMENT :

3.3.4.1 Définition :

Les bassins d'amortissement sont des structures chargées d'alléger l'importante énergie que l'eau acquiert dans sa chute, le saut a lieu lors de l'union de deux régimes d'écoulement : l'un d'arrivée torrentielle et l'autre de sortie sub-critique. Le saut aura lieu dans une section du coursier rectangulaire horizontal dans laquelle sera satisfaite l'équation suivante :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{8Fr^2 + 1} - 1)$$

Où :

Y1 = hauteur d'écoulement de l'eau dans la section initiale du saut (m)

Y2 = hauteur d'écoulement de l'eau après le saut (conjugée d (Y₁))

Fr= nombre de Froude dans la section initiale du saut

1. Dimensionnement d'un bassin d'amortissement situé au pied d'un coursier :

a) Méthodologie de conception :

Cette méthodologie a été conçue en supposant les données suivantes :

- ✓ Niveau final du coursier C1 (m).
- ✓ Débit Qd (m³/s).
- ✓ Largueur du coursier b_{cour} (m).
- ✓ Accélération de la pesanteur g.
- ✓ Pente du coursier (i₀).
- ✓ Largeur du bassin d'amortissement (b_b).

On connaît la hauteur d'écoulement de l'eau à la du coursier qui est égale à celle d'entrée dans le bassin d'amortissement Y₁ (m).

On calcule la hauteur conjugée (Y₂) par la formule suivante :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2}(\sqrt{8Fr^2 + 1} - 1)$$

$$Fr = \frac{V1}{\sqrt{gY1}}$$

$$V1 = \frac{Qd}{b_b \cdot Y1}$$

$$Y3 = 1.25 \cdot Y1$$

Où, b_b est la largeur du bassin d'amortissement, laquelle sera la même que la largeur du coursier.

Données :

$$Qd = 12.09 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$b_c = 3.74 \text{ m}$$

$$Y_1 = 0.61 \text{ m}$$

Donc :

Tableau 22: Résultat de la hauteur conjuguée

Symbole	V	Fr	Y2	Y3
Résultat	7.94	3.2	1.39	0.76

b) Calcul de la longueur du bassin d'amortissement (L_b) :

$$L_b / Y2 = 5,4$$

Donc :

$$L_b = (5,4) \cdot (1,39) = 7,5 \text{ m}$$

c) Calcule de la hauteur des parois du bassin d'amortissement :

$$H_m = nY_2 + HL \text{ (m)}$$

Où :

HL est le bord libre qui on suppose $\approx 1 \text{ m}$

n : (1.0 à 1.05) pour Fr supérieur à 4.5

$$H_m = 1 \cdot 1,39 + 1 = 2,39 \text{ m}$$

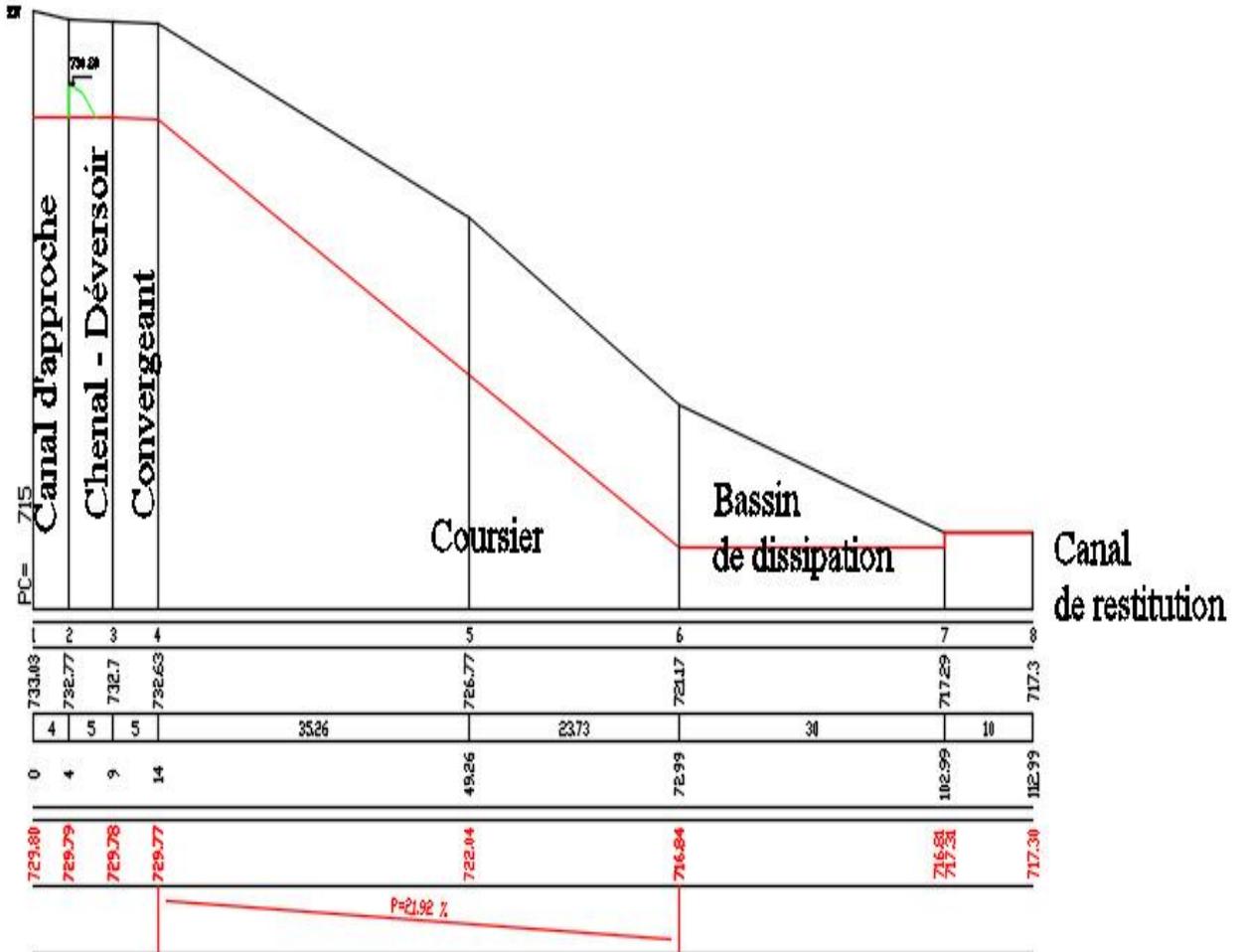


Figure 91: plan d'évacuateur des crues en AUTOCAD

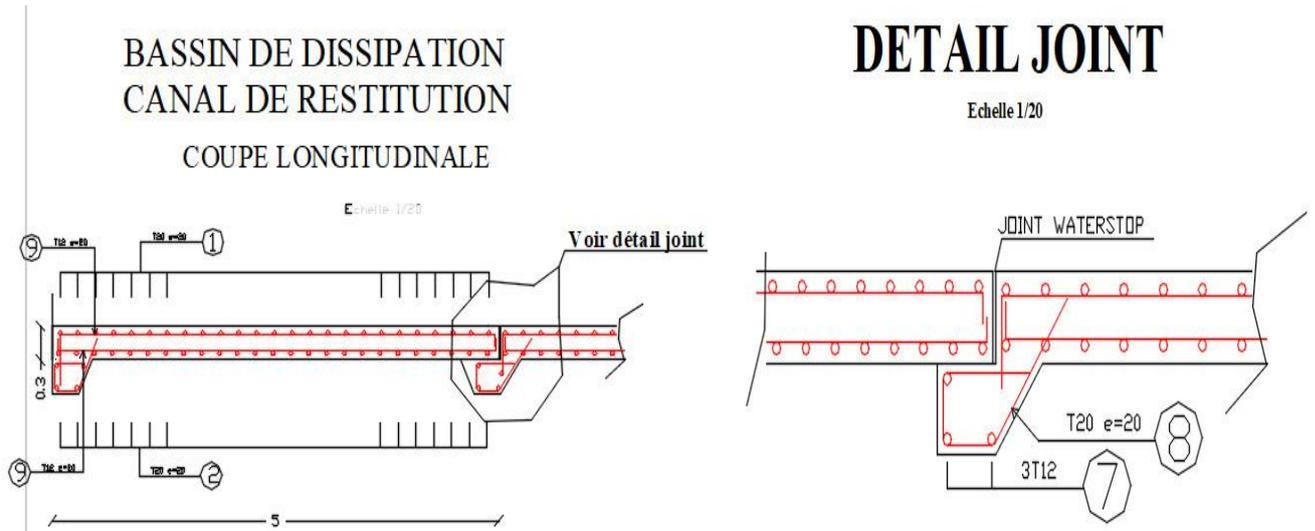


Figure 92: coupe longitudinale de bassin de dissipation et canal de restitution

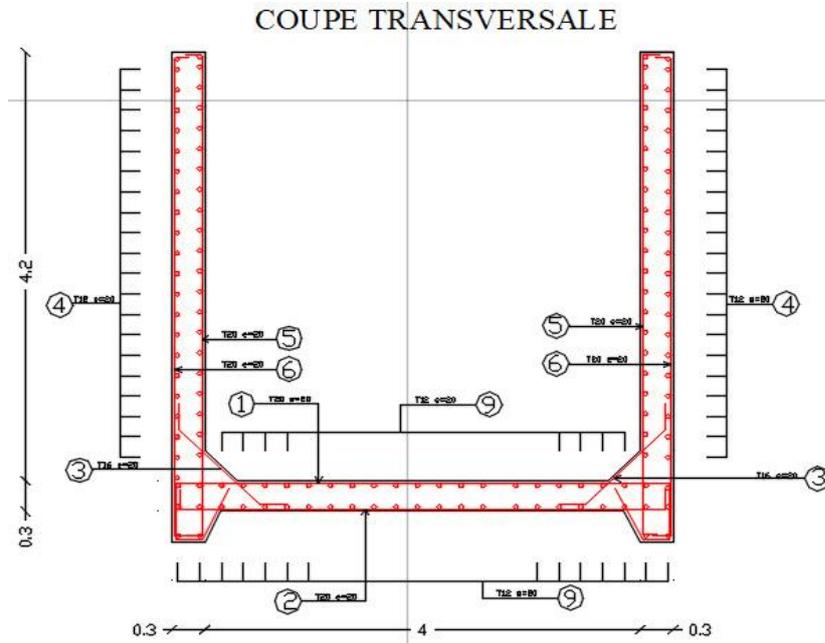


Figure 93: coupe transversale de bassin de dissipation

DETAIL DU RALENTISSEUR DE VITESSE A LA FIN DU B. DISSIPATION

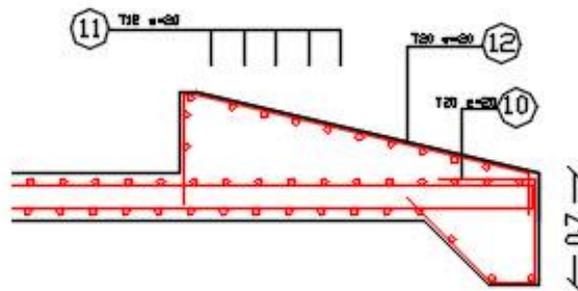


Figure 94: les ralentisseurs de vitesse

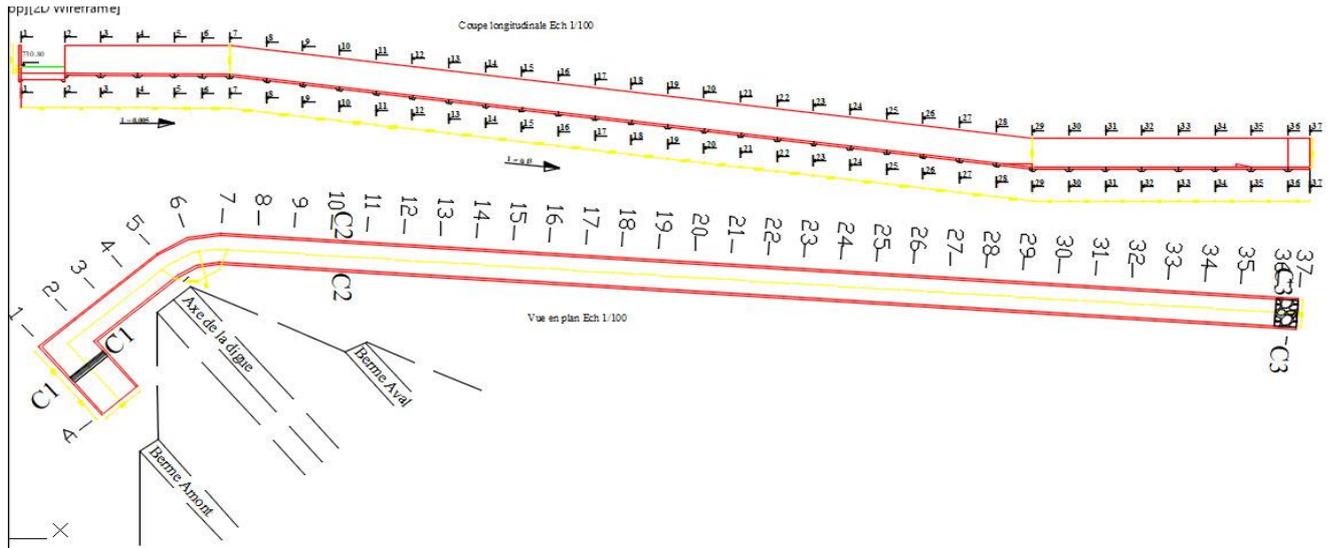


Figure 95: vue en plan d'EVC

Coupe C1-C1

Ech 1/100

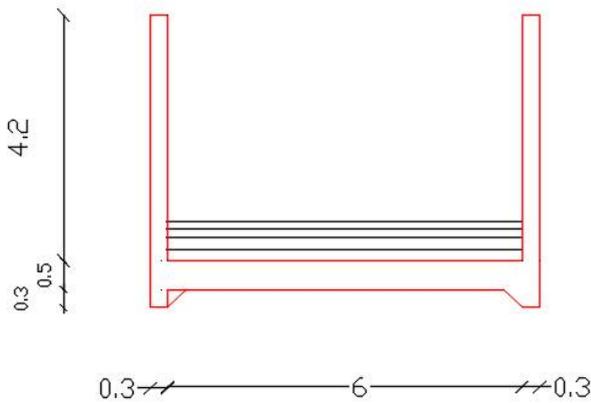


Figure 96: la coupe C1-C1

Coupe C3-C3

Ech 1/100

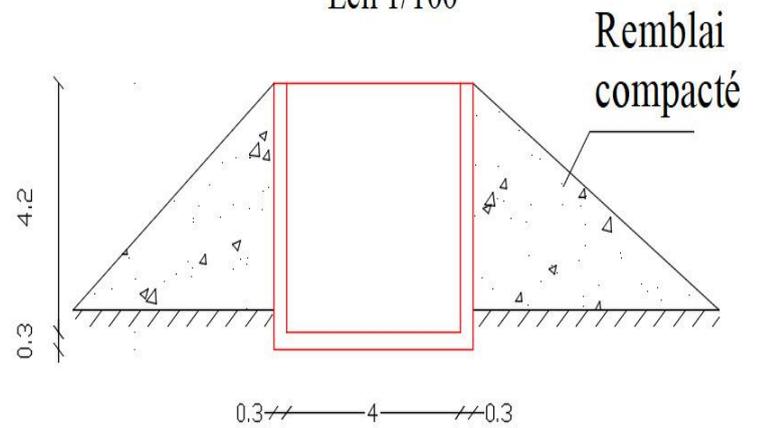
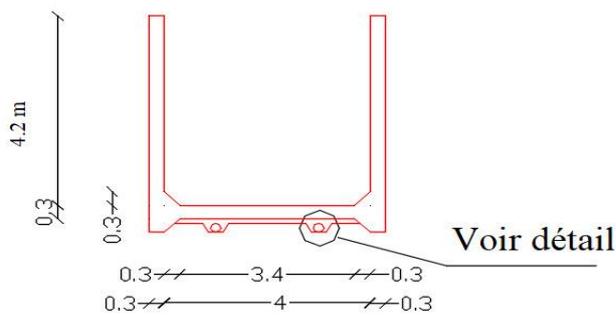


Figure 97: la coupe C3-C3

Coupe C2-C2

Ech 1/100



Détail

Ech 1/10

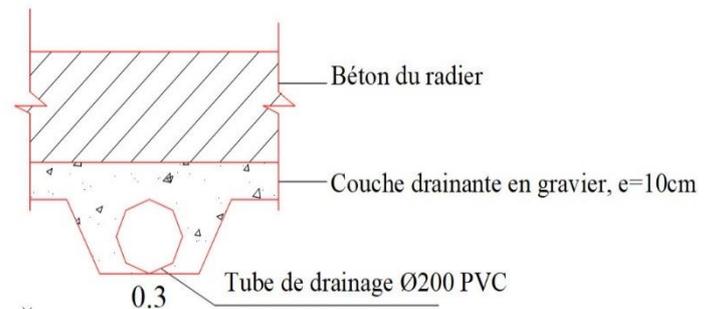


Figure 98: la coupe C2-C2 et ses détails

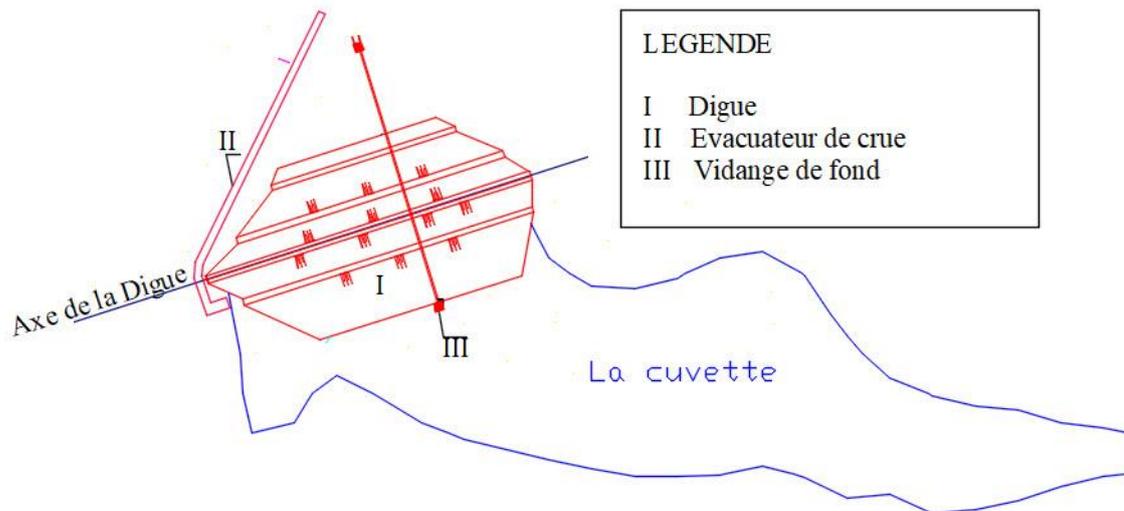


Figure 99: Plan final de la retenue collinaire

4. Autre solution pour remplacer l'évacuateur des crues :

Il y a beaucoup des cas où on ne peut pas réaliser l'évacuateur des crues soit pour des raisons techniques ou économiques.

4.1 Les puits de fond :

La plupart des petits barrages sont protégés contre le débordement par un déversoir d'urgence recouvert de végétation. Cependant, pour permettre l'abaissement par gravité et éviter que le déversoir en terre ne soit continuellement humide, une structure de sortie est généralement fournie. Cependant, dans les régions arides, les structures de débouchés ne sont souvent pas nécessaires et l'évacuateur de crue ou les fossés d'épandage sont utilisés comme débouchés. La structure de sortie est généralement conçue pour supporter le flux moyen. Cependant, si des culées abruptes ou souples empêchent l'utilisation sans danger d'un déversoir en terre pour supporter des débits de pointe, les travaux d'évacuation doivent être conçus pour supporter à la fois des débits moyens et des débits d'inondation. Cela peut être fait avec un déversoir ou une entrée à plusieurs étages. Un déversoir de goulotte ne doit être construit que sur un remblai de sol bien compacté et à forte portance. Cependant, une entrée à plusieurs étages, peut être conçue pour n'importe quel travail de sortie et offre une capacité de stockage des inondations. (33)

Les ouvrages de sortie (puit à fond) doivent être construits avec un matériau durable qui résistera aux dommages causés par les charges de sédimentation ou en mouvement.

Plusieurs combinaisons de base de structures de sortie sont utilisables pour les barrages d'étangs ; un bloc de béton ou entrée en béton armé avec un tuyau métallique ou un tuyau en béton avec des anti-renard, un conduit en CMP avec capuchon sans colonne montante ou, pour les plus grands bassins, une structure monolithique combinant colonne montante et baril. Cependant, la structure de sortie la plus populaire pour les retenues collinaires est un conduit CMP traversant le remblai avec une entrée de goutte du même matériau.

Une telle structure est plus durable que le béton, peut être assemblée en dehors du projet et mise en place en une seule opération, à la hauteur de remplissage appropriée. Pour la construction de plusieurs petits étangs, ce qui permet d'économiser du temps et de l'argent, ce type de sortie peut facilement être utilisé avec une vanne ou une porte pour permettre un abaissement pour l'irrigation ou d'autres utilisations de l'eau.

Le tuyau d'entrée de cette vanne ou de cette porte peut également servir à détourner les eaux de ruissellement à travers le barrage pendant la construction. (33)

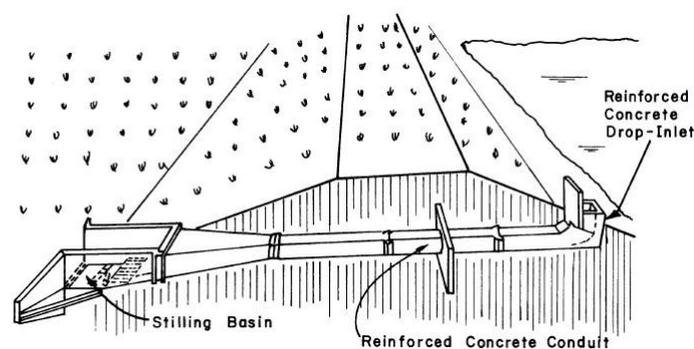


Figure 100: MONOLITHIC OUTLET WORKS

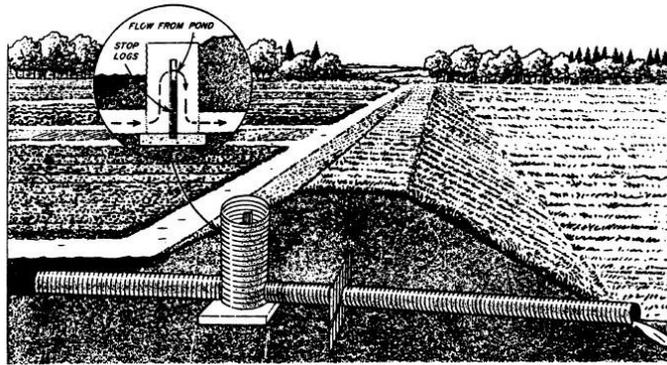


Figure 101: CMP OUTLET WITH STOP LOGS

Pour déterminer la taille de ces ouvrages nécessaires pour supporter le flux de conception, il faut passé par des calculs hydrauliques, disponible dans la référence suivante. (33)

Tous les conduits traversant le barrage devraient être équipés par des anti-renard pour empêcher l'érosion du sol le long de la surface extérieure du conduit. Ils peuvent être en métal, soudés au tuyau ou en béton, coulés dans des moules autour du conduit après sa mise en place dans le remblai.



Figure 102: Les anti-renard

4.2 Dignes résistantes à la surverse

Ce sont des digues anti submersion protégé par des enrochements bétonnés ; pour dimensionner ce genre des digues il faut passé par un calcul hydraulique et étude géotechnique très approfondis (plus de détails dans ce références (34), elles sont rarement utilisées car sont très couteux.

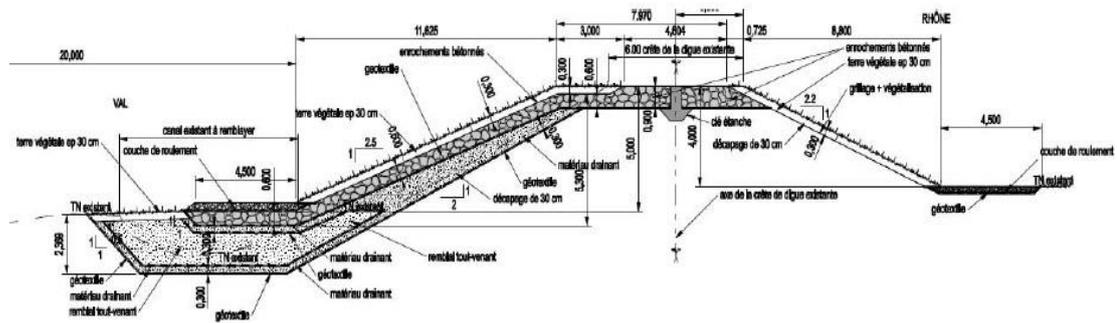


Figure 103 : SCHÉMA DE PRINCIPE DES DIGUES RÉSISTANTES À LA SURVERSE ENTRE BEAUCAIRE ET FOURQUES (France) (34)

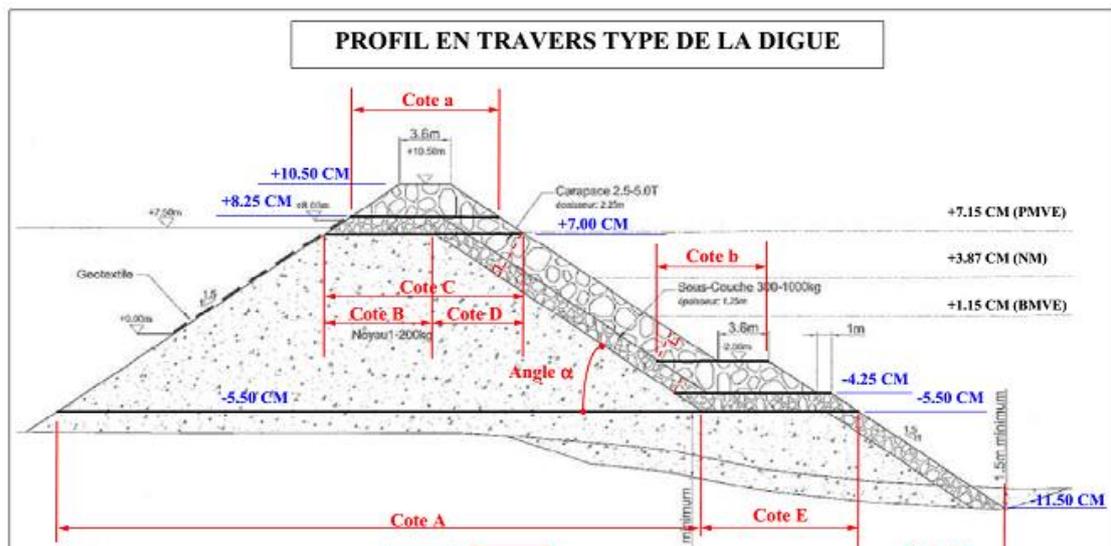


Figure 104 : autre modèle d'une digue anti-submersion (google)

5. Conclusion :

Les ouvrages annexes sont très importants pour le bon fonctionnement et la sécurité du barrage, pour cette raison leurs couts est presque égale au prix de la digue.

Après cette étude nous arrivons à conclure que l'installation de l'évacuateur des crues est réalisable de cotée technique et hydraulique, mais il faut faire une comparaison économique entre ce dernier et les autres techniques de protections (digue submersible, les puits à fonds...), et pour cela en choisit la solution la moindre couteuse et la plus favorable.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, nous avons bien défini les étapes pour la synthèse et pour la conceptualisation de petits barrages en terre, tout en commençant par une analyse des besoins, et après avoir défini les éléments physiques des barrages et montré l'interaction entre les composants du système d'un petit barrage, on a fait une analyse fonctionnelle.

Après on a entamé la conception du barrage en commençant par l'étude morphométrie du bassin versant, ce qui nous a permis de dimensionner la digue ; la hauteur de la digue calculée égale à 8,5m avec une crête de 4,5m de largeur et d'une base de 47m. On a proposé deux types de profils, en prenant compte de la disponibilité des matériaux de construction :

- Barrage homogène avec un tapis drainant horizontal.
- Barrage a noyau central avec un drain cheminé.

Après la conception des profils du barrage, on passe à la partie la plus importante qui est l'étude des infiltrations et de la stabilité ; on a réalisé une modélisation par le logiciel Géo-studio en vue d'analyser le comportement du corps du barrage pour les deux variantes étudiées. Cette modélisation a été menée d'une manière paramétrée avec analyse des éléments suivants :

- Variation de pression interstitielle et le position de la ligne de saturation à travers la digue dans différents cas ; cas d'une retenue pleine, et le cas de vidange rapide
- Analyse des critères liées à l'érosion mécanique par l'évaluation des gradients hydrauliques dans différentes zone du barrage en fonction des profils choisis pour cette analyse.

Et on a vérifié la stabilité de la digue en utilisant la méthode de Bishop dans les cas suivant :

- En fin de construction pour $U=0$ et en fonction de R_u , on a remarqué une instabilité lorsque on a changé le coefficient R_u ce qui montre l'importance de ce coefficient en fin de construction.

- En fonction normale (retenue pleine) les deux profils ont été stables en présence d'eau.
- En cas de vidange rapide il y a eu une chute du coefficient de sécurité dans les premières 24h et après commence l'augmentation ce qui montre l'influence de la vidange rapide sur la stabilité de la digue.

On a terminé par le dimensionnement des ouvrages annexes mais puisque c'est une retenue collinaire on ne peut pas réaliser tous les ouvrages à cause des raisons économiques donc on a proposé des solutions pour économiser le cout de réalisation et gagner du temps ; les puits à fond et les digues résistantes à la surverse.

Sites web

1. **CIGB ICOLD**. Synthèse Générale. *CIGB ICOLD*. [En ligne] 2018. https://www.icold-cigb.org/FR/registre_des_barrages/synthese_generale.asp.
2. **wikipedia**. Géographie de l'Algérie. *wikipedia*. [En ligne] 29 10 2018. https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_l%27Alg%C3%A9rie.
3. **ANBT**. Nos Barrages. *ANBT*. [En ligne] 2018. <http://anbt-dz.com/index.php/nos-barrages>.
6. **ministère , du commerce**. STATISTIQUES & BILANS. *Ministère du Commerce*. [En ligne] 27 06 2018. <https://www.commerce.gov.dz/statistiques/produits-alimentaires-nbsp-la-facture-des-importations-sur-les-5-premiers-mois-de-2018>.
7. **Bayer, Global**. L'Agriculture en Algérie. *Bayer global*. [En ligne] 01 03 2019. <https://www.algeria.cropscience.bayer.com/Qui-Sommes-nous/L-agriculture-en-Algerie.aspx>.
8. **Office National des Statistiques**. *Office National des Statistiques*. [En ligne] 26 02 2019. <http://www.ons.dz/>.
10. **CTH**. Projets de Barrages et Retenues Collinaires. *organisme national de controle technique de la construction hydraulique*. [En ligne] 03 03 2019. <https://www.cth.dz/index.php/references/9>.
25. **wikipedia**. Digue. *wikipedia*. [En ligne] 2017. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Digue>.
36. **wikipedia**. Chlef. *wikipedia*. [En ligne] 2018. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chlef>.
37. **climate-data**. CLIMAT CHLEF. *climate-data*. [En ligne] 2018. <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/chlef/chlef-3688/>.

Références

4. **DJAFFAR , SABRINA et KETTAB, AHMED .** SIMULATION STRATEGIQUE, POLITIQUE DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE A L'HORIZON 2030. Laboratoire de Recherches en Sciences de l'Eau (LRS-EAU) Ecole Nationale, 2015.
5. **FIDA.** Les petits barrages de décrue en Mauritanie, Recommandations pour la conception et la construction. 2012. Vol. 40p.
9. **Perennes, Jean-Jacques.** Un aspect de la question hydraulique au Maghreb. Égypte/Monde arabe, 2017, Vol. 12p.
11. **Salah, nasri et Salah, Selmi.** LES LACS ET RETENUES COLLINAIRES EN TUNISIE. HYDROMED, 1997, Vol. 54p.
12. **GROUPE DE RECHERCHE RHONE-ALPES.** les retenues collinaires quel fonctionnement et quels impacts ? les rendez vous graie, 2006, Vol. 76p.
13. **ElGhomari, Khalid.** LA POLITIQUE ET LES BIENFAITS DES BARRAGES AU MAROC. 2016, Vol. 50p.
14. **Nasser , ZERROUK et Isthn , ZSUFFA.** Dimensionnement hydrologique des retenues collinaires en Algérie. Hydrol, continent, 1988, Vol. 13p.
15. **BENLAOUKLI, Bachir et TOUAÏBIA, Bénina .** L'expérience Algérienne Dans Le Domaine Des Etudes De Retenues Collinaires. 2000, Vol. 2p.
16. **OUEDRAOGO, Pascal .** *DIAGNOSTIC ET VOIE DE REHABILITATION DES PETITS BARRAGES EN TERRE AU MAROC.* Rabat : Institut Agronomique et Vétérinaire HASSAN II, 2003.
17. **United States Bureau of reclamation.** *Design of Small Dams third edition.* USA : s.n., 1987. Vol. 860p.
18. **RHOUZLANE et ABOULHASSANE.** *Conception de barrages.* HASSANIA : Ecole hassania des travaux publics, 2014.
19. **Tricoli, Dario.** TRAINING COURSE ON HILL PONDS, ANNEX 3 CANEVAS POUR LE DIMENSIONNEMENT ET ETUDES DES RETENUES COLLINAIRES. 2003.
20. **COURS DE BARRAGES 2ème EDITION.** s.l. : E.I.E.R, 1996.
21. **MAHJOUB, Mohamed Raouf .** *Cours de Techniques des barrages en Terre.* MEDJEZ EL BAB : ECOLE SUPERIEUR DES INGENIEURS DE L'EQUIPEMENT RURAL , 2006.
22. **MAALEL , Khlifa et HAFSIA, Zouheir .** *OUVRAGES HYDRAULIQUES.* Tunis : Université de TUNIS EL MANAR, 2012.
23. **Project Management Institute.** *Guide du corpus des connaissances en management de projet-Quatrième édition.* [éd.] PMI Book Service Center. USA : s.n., 2008. Vol. 351p. 978-1-933890-65-4.
24. **M.L.COMPAORE.** *COURS DE BARRAGES 2ème EDITION.* s.l. : E.I.E.R, 1996.
26. **SNECOREP.** INSTALLATIONS DE POMPAGE D'EAU. 2010, Vol. 88.

27. Christian.k. *Earth and rockfill dams*. Netherland : A.A.belkalma, 1997.
28. BENZAZZA , Chahinez et BENARIBA , Kheira. *ETUDE DE CONCEPTION DU BARRAGE SUR L'OUED SIDI AISSA WILAYA DE TESSEMSSILT*. Tlemcen : Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen, 2013.
29. Femmam, Hadjira . *Analyse numérique de l'influence des pressions interstitielles sur la stabilité des talus*. Biskra : s.n., 2015.
30. BENHAMIDOUCHE, Walid et BEDIRA, Fouad . *ANALYSE DE L'EFFET DES INFILTRATIONS SUR LA STABILITE D'UN BARRAGE EN TERRE*. M'sila : Université Mohamed Boudiaf, 2018.
31. Bekkouche.A. *Les coefficients de pression interstitielle et leurs applications en mécanique des sols*. tlemcen : s.n., 2016. Vol. 79 p.
32. Lautrin, Danielle . *VIEILLISSEMENT ET RÉHABILITATION DES PETITS BARRAGES EN TERRE*. 2003. 2-85362-597-4.
33. Wood, A. D. et Richardson, E. V. . *DESIGN OF SMALL WATER STORAGE AND EROSION CONTROL DAMS*. Colorado : s.n., 1975.
34. Royet, P. et Bonelli, S. . *Digues maritimes et fluviales de protection contre les*. 2013. 9782746245365.
35. CHABBI , ZEYNEB et BENNAOUI , HOUSSEM EDDINE. *ETUDE D'UNE RETENUE COLLINAIRE A BIR BLED ZERROUG COMMUNE D'EL DJEZZAR W. DE BATNA*. ANNABA : Université Badji Mokhtar-ANNABA, Juin 2017.
36. wikipedia. Chlef. *wikipedia*. [En ligne] 2018. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chlef>.
38. Mohamed.R.M. *Cours de Techniques des barrages en Terre*. 2006. Vol. 48p.
39. *CELLULE DE COMMUNICATION WILAYA DE CHLEF. SITUATION SOCIO-ECONOMIQUE*. 2015, Vol. 26p.