PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHES CIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE«ARBAOUI Abdellah »

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour L'obtention du diplôme d'Ingénieur *d'Etat en Hydraulique*

Option : Conception Des Ouvrages Hydrotechniques

THEME:

ETUDE D´AVANT-PROGET DETAILLE DE LA DIGUE DU BARRAGE AZIB TIMIZAR (W.BEJAIA)

Présenté par :
M^r^: LOUNIS HAMZA

DEVANT LES MEMBRES DU JURY :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r^ M.K.MIHOUBI	**M.C.A**	Président
M^r^ A.HEBBOUCHE	**M.A.A**	Examinateur
M^me^ N. HADJ SADOK	**M.A.A**	Examinatrice
M^r^ M.D BENSALAH	**M.A.A**	Examinateur
M^r^ M. BOUKHELIFA	**M.A.B**	Examinateur
M^r^ B. BENLAOUKLI	**M.C.A**	Promoteur

MAIS-2014

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Remerciement

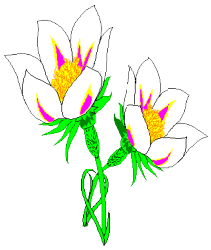
J'adresse en premier lieu ma reconnaissance à notre DIEU tout puissant, de m'avoir, donné le courage et la volonté pour mener à bien ce travail. Car sans lui rien n'est possible.

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à mon promoteur, Mr BACHIR BENAOUKLI qui m'a chaleureusement accueilli. Je le remercie pour les discussions, scientifiques que nous avons partagées, ainsi que pour son aide précieuse dans l'élaboration de ce mémoire.

- *A tout le corps enseignants et le personnel de l'ENSH qui ont contribué de prés où de loin a ma formation.*

Aux membres de jury qui me font l'honneur d'apprécier et de juger ce travail.

- *Une mention spéciale à ma famille et à mes amis pour m'avoir aéré l'esprit et pour la motivation qu'ils m'ont apportée tout au long de ce travail.*



LOUNIS hamza

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Dédicaces

Je dédié ce modeste travail :

- *A mes chers parents.*

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

- *A mes chères et adorable frères.*
- *A toute la famille :LOUNIS*
- *A mes amis et collègues de l'école nationale supérieure de l'hydraulique*

Ahmed, Khoya ali, Takfa, Belkacem, Miloda,Said Amrkou,KARIM Moh et Oussama.

- *Toute ma promotion, en générale et tous les étudiants d'ouvrage en particulier*

LOUNIS Hamza

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

ملخص

قمنا في هذا العمل بدراسة تقنية شاملة على مسافة قريبة من التقاء الوادين مشنوعة و فليدون (ولاية بجاية) لإنشاء سد من اجل تزويد المنطقة بالمياه الصالحة للشرب.

بعد دراسة جيولوجية و هيدرولوجية معمقة قمنا بتصميم السد و تحققنا من ثباته و فيما يتعلق بالإنجاز قمنا بشرح و تنظيم جميع مراحل الإنجاز.

Résumé

Dans le présent mémoire nous avons fait une étude technique complète après la confluence de Oued Machnouaa avec Oued Flidoun (Wilaya de Bejaia) pour l'implantation d'un barrage, destiné pour l'alimentation en eau potable.

Après avoir fait une étude géologique, suivie d'une étude hydrologique nous avons dimensionné notre ouvrage, ainsi une étude de stabilité ; et concernant la réalisation, nous avons fait une organisation de chantier.

Abstract

In our dissertation, we have done a complete technical study about oued Flidoun and Machnouaa (Wilaya of Bejaia) for the establishment of a dam, intended for supplying the région with drinking water.

After having made a geological study, followed by an hydrological one, we have designed our dam, after checking its stability; concerning the realization, we organized all the necessary steps.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Sommaire

Chapitre I : Synthèse de l'étude géologique, géotechnique et topographique

Introduction....1
I-1-Situation géographique et topographique....1
I-1-1-Localisation....1
I-1-2-Topographie....1
I-2-Cadre géologique général....2
I-3-Situation géologique....4
I-3-1-Reconnaissance réalisées....4
I-3-1-1-Reconnaissances en phase d'étude de faisabilité....4
I-3-1-2-Reconnaissances en phase d'Avant Projet Détaillé....4
I-3-3-Structure faille et fracturation....6
I-3-3-1-Structure générale....6
I-3-3-2-Fracturation....6
I-3-3-3-Faille....6
I-3-4-Cadre hydrogéologique....6
I-3-5-Géologie de la cuvette....7
I-3-6-Séismicité de la région....8
I-4-Caractérisation géotechnique de la fondation....9
I-4-1-Couverture colluviale et alluviale....9
I-4-2-Le substratum rocheux....11
I-5-Matériaux de construction....14
Conclusion....16

Chapitre II : Etude hydrologique et régularisation

INTRODUCTION :....17
II-1Caractéristiques morphométriques du bassin versant....17
II-1-1Caractéristiques géométriques....17
II-1-3 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)....18
II-2-Caractéristiques hydrographique....20
II-3 Caractéristiques climatiques....22
II-3-1 températures....22
II-3-3 pluviométrie....23
II-3-3-1-Etude fréquentielle des pluies maximales journalières :....23
II-3-3-2-Pluies a courtes durée et leurs intensités :....26

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

II-4 Etude des apports 27
II.4.1.Avec la série d'observations 28
II.4.1.1.Analogie de la station AZZEFOUN RN 24 28
II.4.2-LES FORMULES EMPIRIQUE 30
II.4.2 Caractéristiques de l'écoulement 31
II.4.3 Apports fréquentiels 31
II.4.3.1 Ajustement de la série des apports rapportés à la loi log normal : 32
II.4.3.2 Répartition de l'apport annuel estimé à une probabilité de 80% 32
II-5 Apport solide : 33
II-6-Etude des crues 36
II-5-1 Hydrogramme des crues 37
Conclusion sur le choix de la crue du projet : 38
II-6 Etude de Régularisation : 38
II-6-1 l courbes caractéristiques : 38
II-6-2Calcul de volume utile 41
II.6.2 Calcul du volume utile 41
II.6.3 Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes 42
II.6.4 Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes) 44
II.7 Laminage des crues 47
II.7.1 Méthode de KOTCHERINE 48
II.8 Etude d'optimisation 57
II.8.1 Revanche 57
II.8.1.1 Calcul de la revanche 57
II.8.2 Tassement 58
II.8.3 Largeur en crête. 58
II.9.Calcul des coûts 62
II.9.1 Coût de la digue 62
II.9.2 Calcul du coût de l'évacuateur de crues 63
II.9.2.1 Coût du déversoir 63
II.9.2.2 Calcul du coût du coursier 64
II.9.3 Ccoût total du barrage 66

Chapitre III : Etude de variantes

Introduction 67
III.1Choix du type du barrage 67
III-1-1 les variantes susceptibles d'être projetées sur le site 67

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

III-1-2 Selon les conditions géologiques et géotechniques 67
III-1-3 selon les matériaux de construction 68
III-2 le choix définitif du type du barrage 68
III.3 Cote en crête du barrage : 70
III.4-Conception de la digue : 70
III.4.1. Largeur en crête : 70
III.4.2. Longueur en crête : 70
III.4.3 Pente des talus 71
III.4.4 Les bermes 71
III.4.5.1Talus amont : 71
III.4.5.2Talus aval : 72
III.4.6 Protection des talus 72
III.4.6.1Talus aval 72
III.4.6.2Talus amont 72
III.4.7 Le noyau pour la variante 74
III.4.7-1. DIMENSIONNEMENT DU NOYAU 74
III.4.7.2 La côte en crête du noyau : 75
III.4.7.2 Etanchéité de la fondation 75
III.4.7.3 Drainage du barrage 75
III.4.8 Dispositif des drains et filtres 76
III.4.8.2-Les drains 76
III. 4.8.3 Calcul des filtres : 77
III.4.9.Détermination de la courbe granulométrique des filtres 77
III.5. Estimation du coût des variantes : 78
Conclusion 78

Chapitre IV : conception de la digue

Introduction 79
IV.1 Conception de La Digue 79
IV.1.1 la revanche du barrage 79
IV.1.2 la Hauteur du barrage 79
IV.1.3 largeur en crête : 79
IV.1.4 Classification de l'ouvrage : 79
IV.1.5 Les bermes : 80
IV.1.6 Pentes des talus : 80

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

IV.1.7 Protection des talus :.....81
IV.1.8 Drainage de la digue :.....81
IV.1.8.1 But du drainage :.....82
IV.1.8.2 Constitution et fonctionnement des filtres et drains :.....83
IV.1.8.3 Calcul des drains :.....84
IV.1.8.4 Calcul des filtres :.....86
IV.1.8.5 Détermination de la courbe granulométrique des filtres.....86
IV.2 Etanchéité du barrage :.....86
IV.2.1 La clé d'ancrage :.....86
IV.2.2 Protection de la crête :.....87
V.3 Calcul des infiltrations à travers la digue et la fondation.....87
IV.3.1 Ligne de saturation.....88
IV.3.2 Calcul d'infiltration.....90
IV.3.2.1 Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue.....90
IV.3.2.2 Fondation.....90
IV.3.2.3 Barrage (digue + fondation).....91
IV.3.3 Vérification de la résistance d'infiltration du sol du barrage.....91
Conclusion.....93

Chapitre V : La stabilité

V.1 Calcul de stabilité :.....95
V.1.1. Généralités sur la stabilité des barrages (Talus) :.....95
L'étude de stabilité d'un remblai peut se conduire de deux manières :.....95
V.1.2.Conséquences de l'instabilité des talus :.....95
V.1.3. Ordre de calcul (Méthode des tranches) :.....96
V.1.3.1 Calcul des forces appliquées à chaque tranche :.....98
V.1.3.2 Classement des forces :.....99
V.1.3.3 Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement.99
Conclusions et recommandations.....101

Chapitre VII : Organisation du chantier

VII.1 méthodes basées sur le réseau.....102
VII.1.1 Définition du réseau.....102
VII.2 Construction du réseau.....102
VII.3 Méthode C.P.M (méthode du chemin critique).....103
VIII.4 les paramètres de la méthode C.P.M.....103

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

VII.5 Chemin critique (C.C).....104
VII.6 Attribution des durées de chaque opération.....104
VII.7 Plannings.....104
VII.7.1 plan de travail au plus tôt.....104
VII.7.2Plan de travail au plus tard.....104
VII.8 Délai de construction et programme des travaux.....105
VII.9 Symboles des différentes opérations.....105
VII.10 Détermination des chemins critiques.....107

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Synthèse de l'étude géologique, géotechnique et topographique

Tableau 1. : Accélérations des séismes SBE et SMD 9
Tableau I-2 : les différentes valeurs de RQD.....12
Tableau I-3 :quantité des materions……...13

Chapitre II : Etude hydrologique et régularisation

Tableau II-1 : la répartition des surfaces en fonction des cotes 18
Tableau II-2 : récapitulatifs des caractéristiques hydromorphometrique 22
Tableau II-3 : les stations pluviométriques.....23
Tableau II-4 : caractéristiques de l'échantillon.....24
Tableau II-5: résultats d'ajustement à la loi de Gumbel.....25
Tableau II-6 : résultats d'ajustement à la loi de Galton (lognormale).....25
Tableau II-7 : les pluies et les intensités pour différentes périodes de retour.....28

Chapitre III : Etude de variantes

Tableau III-8 : Répartition mensuelle de l'apport moyen de la station.....29
Tableau II-9 : Répartition mensuelle de l'apport moyen du site 30
Tableau III-22 : Résultats de l'ajustement rapportés à la loi log normal 33
Tableau II-12 : caractéristiques de la loi de GUMBEL.....33
Tableau III-13 : Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel de fréquence 80%.....34
Tableau II.14 : récapitulatif des résultats de calcul du volume mort. 36
Tableau II-15: les résultats des hydrogrammes de crue par la méthode de SOKOLOVSKI...38
Tableau II-16 : cote-surface-capacité 40
Tableau II-17: la répartition mensuelle de W80% 42
Tableau II-18 : la répartition mensuelle des besoins 42
Tableau II-19 : Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes en (Mm^3)k 44
Tableau II-20 : Régularisation saisonnière compte tenu des pertes en (Mm^3) 47
Tableau II-20 : Données initiales pour la méthode de KOTCHERINE : 50
Tableau II-21: Résultats des calculs avec les formules précédant : 50
Tableau II-22 : Détermination de H_0 et Q en fonction de b.....52
Tableau II-23: Débits déversant en fonction de h et b et le volume de crue 53
Tableau II-24 : Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de Kotchrine.....57
Tableau II-25 : Variation de la hauteur du barrage 60
Tableau II-26 : Résultats des largeurs en crête obtenues par les formules précédentes.....62

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Tableau III-27 : Coût de la digue 63
Tableau II-28 : Coût de déversoir.....65
Tableau II-29 : Coût de coursier. 66
Tableau II-30 : Coût Totale de la Retenue.....67
Tableau II-48 : Tableau récapitulatif de l'étude de la régularisation et du laminage……....67
Tableau III-1 : les caractéristiques géomécanique de site 67
Tableau III-2 : les quantités des matériaux disponibles sur les zones d'emprunts 68
Tableau III.3: Valeurs indicatives des pentes des talus (CEMAGREF).....71
Tableau III.4: Valeurs de C en fonction des pentes de talus et δ. 73
Tableau III.3: Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues. 73
Tableau III.5: Valeur de I_{adm} en fonction du type d'ouvrage.....74
Tableau III.6: les coûts des variantes étudiées. 78

Chapitre IV: conception de la digue

Tableau IV.01 : Classe de barrage en terre en fonction du type de la fondation 80
Tableau IV.02 : Valeurs indicatives des pentes des talus. 81
Tableau IV.03 : Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues. 82
Tableau IV -04: Coordonnées de la ligne de saturation 89
Tableau IV.05 : Débit de fuite à travers la digue 90
Tableau IV -06 : Débit de fuite de la Fondation 91
Tableau IV -07 : Débit de fuite de barrage 91
Tableau IV -08 : Gradient hydraulique admissible. 92
Tableau IV -9 : Gradient d'infiltration admissible 93
Tableau IV -10 : Détermination du coefficient de sécurité……....93

Chapitre V : La stabilité

Tableau V.1: Coefficient de stabilité admissible des talus. 96
Tableau V.13 : valeurs de K1 et K2. 96
Tableau V.04 : coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement.....101

Chapitre VI : Organisation du chantier

Tableau VI.1: Symboles des opérations. 107

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Synthèse de l'étude géologique, géotechnique et topographique

Figure I-1 : localisation du barrage 2

Figure I-2 : contexte géologique de la zone d'étude 3

Figure I-3 : Carte des zones séismiques (RPA99-Version 2003). 9

Figure I-4 : Essais d'eau dans le substratum rocheux 12

Figure I-5 : RQD des différentes……..13

Chapitre II : Etude hydrologique et régularisation

Figure II-1: répartition des surfaces et courbe hypsométrique 19

Figure II-2: classification de l'écoulement selon SCHUM 21

Figure II-4 : Températeur moyenne mensuelle de la ville de Bejaia……..25

Figure II-4 : graphe ajustement a la loi de Galton.....26

Figure II-5 : graphe ajustement a la loi de Gumbel.....26

Figure II-6 : Répartition mensuelle de l'apport moyen 29

Figure III-7: Répartition mensuelle des apports 80%.....33

Figure II-8 : représentation graphique des hydrogrammes des crues.....38

Figure II-9 : courbe surface-volume.....39

Figure II-10 courbe cote -surface 40

Figure II-11 courbe cote-capacité 40

Figure II-12 : Courbes de H= f (Q, q) 54

Figure II-13: Courbes de V= f (Q, q) 55

Figure II-14 : courbe d'optimisation des coûts en fonction de la largeur b du déversoir……67

Chapitre III : Etude de variantes

Figure III.01 : barrage à noyau.....69

Figure III.02 : barrage homogène.....69

Figure III.03 : barrage à masque 70

Chapitre V : La stabilité

Figure V.1 : Schéma de calcul de stabilité.....98

Chapitre VI : Organisation de chantier

Figure VI.1 : Réseau à nœud.....106

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

LISTE DES PLANCHE

- PLANCHE- 1 : carte géologique
- PLANCHE -2 : vue en plan de la digue
- PLANCHE -3 : différentes variantes
- PLANCHE -4 : variantes choisie
- PLANCHE -5 : stabilité

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Introduction générale

L'eau est considérée comme source de la vie depuis le début de l'existence, elle a fait naître la vie sur Terre. C'est un élément qui reste, de nos jours aussi, quelque chose de vital pour l'existence d'un côté et pour la société de l'autre.

La maîtrise des ressources en eau, est une des conditions les plus pertinentes pour le développement du secteur hydraulique et qui suppose parmi lesquelles les eaux de surface qui ont une importance vitale pour l'homme, irrigation et l'industrie.

Pour une meilleure mobilisation des ressources en eau, l'édification de barrages a été depuis plusieurs décennies, une solution très largement utilisée.

De ce fait le barrage est un ouvrage hydraulique de stockage et même parfois de production d'énergie qui barre, sur toute la largeur, une section d'une vallée et qui crée ainsi une dépression topographique artificielle étanche à l'eau.

Et pour les mêmes objectifs que le ministère des ressources en eau s'est penché sur l'édification de ces ouvrages d'art à cause des effets de la sécheresse et de la pénurie.

Dans ce cadre nous proposons à travers ce projet de mémoire de fin d'étude de faire l'étude de l'avant-projet détaillé de la digue d'Azib Timizar située sur la confluence des deux oueds Feldoune et Mechnouaa, sis dans la wilaya de Bejaïa.

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

Chapitre I
Synthèse de l'étude géologique, géotechnique et topographique

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Introduction

Dans cette partie nous allons donner une synthèse de l'étude géologique et géotechnique faite par le bureau d'étude Dar Al-Handasah en 2003 dans le cadre de l'étude d'avant-projet détaille d'un barrage au site d'AZIB-TIMZAR dont l'objectif est le stockage des eaux s'écoulant dans l'oued Flidoun pour l'alimentation en eau et l'irrigation des terres agricoles.

I-1 Situation géographique et topographique

Le site se trouve à environ 50 Km au l′ouest de la ville de Tizi-Ouzou ; près de la localité de Déblai au nord et igzher abbas a l'ouest.

I-1-1 Localisation :

L'accès au site de futur barrage se fait soit de la partie sud, soit de partie nord respectivement.

- depuis RN12 (Bejaia,Tizi-Ouzou) à environ 1.5 km a l'est d'adekar au village de Ait Mamar en passant par Tizi -el karn et Ait Idim.
- depuis la RN24 (Dejaia-alger) à environ 6km a l'est de Beni Abbas en passant par les village d'Ait Mendil Djebla et souk es sebt.

Les coordonnées UTM (Fuseau 31) du site sont les suivantes: E = 652 450 m

N = 4 069 250m

La cote de l'oued au niveau du site est à 285 m NGA environ.

Les coordonnées UTM (Fuseau 31) du site sont les suivantes: X = 652 450 m

Y = 4 069 250m

I-1-2 Topographie :

Les documents de référence fournis par L'ANBT sont les suivants :

- Le fond topographique du site à l'échelle du cinq millième.
- Le fond topographique de la cuvette a l'échelle du vingt-cinq millième.
- Les altitudes du bassin versant variant entre 280m et 1495m au niveau du site.

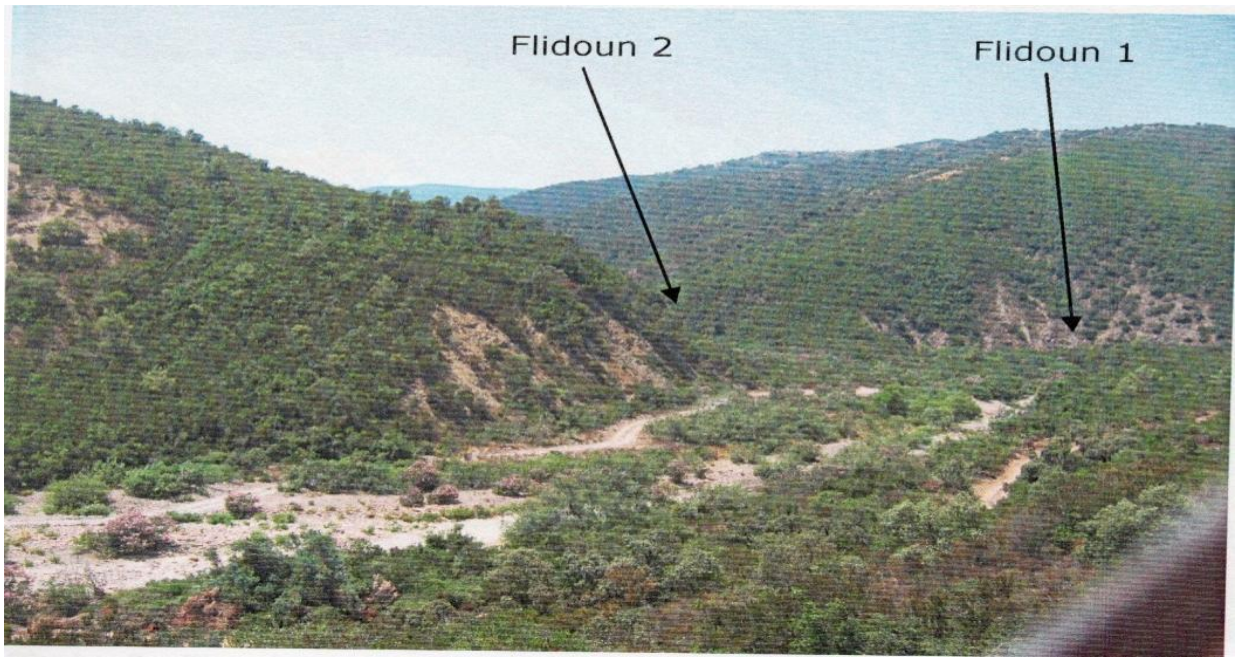


Figure I-1 : Localisation du barrage

I-2 Cadre géologique général

Le site du barrage s'inscrit dans la zone géographique de la chaîne nord-est de la grande Kabylie d'algérie de l'Atlas Tellien.

La structure géologique du Nord de l'Algérie comprend les trois structures géomorphologiques Suivantes :

- l'Atlas Tellien.
- Le Haut Plateau entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien.
- L'Atlas Saharien.

- L'Atlas Tellien consiste en une succession de chaines de montagne et de vallées parallèles au littoral avec des plateformes juxtaposées (bassins alluvionnaires) et un relief topographique haut avec un niveau maximal d'environ 2000 m.
- Le Haut Plateau entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien est une région de plaines élevées (à environ 1000 m) ayant une topographie relativement plate.
- L'Atlas Saharien est une chaîne de montagnes très plissées.
- Les massifs côtiers de la région de Beni Ksila-Toudja sont constitués de terrains allochtones crétacés de type flyschs, recouverts dans leur partie septentrionale par le Numidien argilo-gréseux, lui-même allochtone. Ces flyschs essentiellement massyliens sont en position nord-Kabyle par rapport à la chaîne calcaire du Djurdjura. Des massifs élevés (Djebel

Arbalou, Yemma Gouraya) constitués de terrains calcaires, jurassiques, relativement peu déplacés, affleurent au nord, dans ce complexe allochtone.

- L'accident le plus important de la région est la faille de Toudja, de direction NE-SW, qui cisaille la terminaison orientale du Djebel Arbalou et la terminaison nord-occidentale de l'anticlinal de Gouraya.
- La zone autour du site du barrage est située à la confluence de l'oued Flidoun et de l'oued Machnouâa à l'intérieur de la Grande Kabylie représentée surtout par les formations de flysch de la période du Crétacé-Oligocène avec une tectonique très complexe.

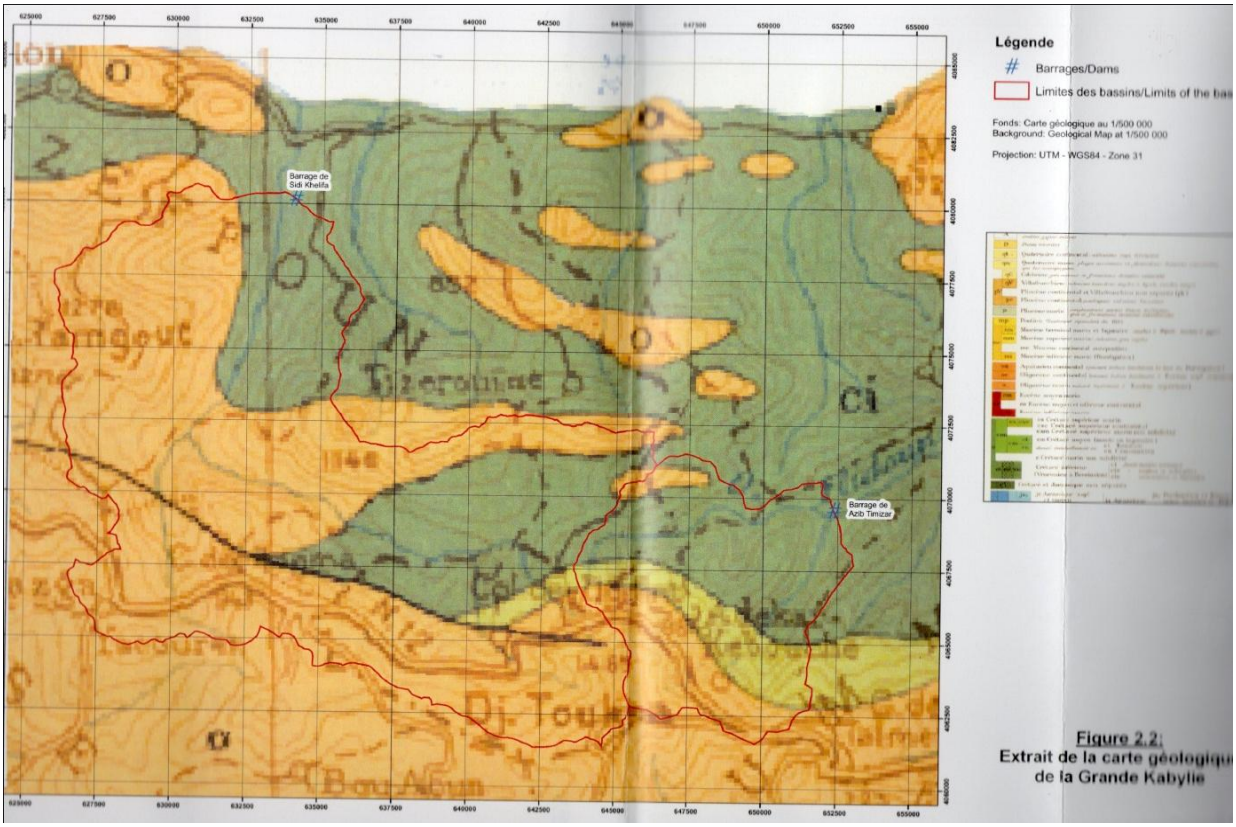


Figure I-2 : Contexte géologique de la zone d'étude L'échelle 1 :10000

I-3 Situation géologique

I-3-1 Reconnaissance réalisées :

Le site du barrage de AZIB TIMIZAR a fait l'objet de deux accompagnés de reconnaissances géologiques, la première s'est déroulée dans le cadre de l'étude de faisabilité, et la deuxième a été conduite en 2005 dans le cadre de l'étude d'avant-projet détaillé.

I-3-1-1 Reconnaissances en phase d'étude de faisabilité

Cette campagne a consisté en l'exécution de 3 sondages carottés numérotés S1, S2 et S3, situés près de l'axe de la variante aval (celui de l'étude de faisabilité).

Des essais Lugeon ont été effectués dans les sondages. Un total de 10 essais a été effectué au droit des trois sondages. Il n'a pas été installé de piézomètres dans les sondages de l'étude de faisabilité.

La recherche de matériaux de construction adéquats pour le barrage n'a pas fait l'objet d'une campagne de reconnaissance pendant la phase de faisabilité. Cette étude a signalé des sites potentiels d'emprunt de matériaux, en indiquant une évaluation très sommaire des quantités disponibles.

I-3-1-2 Reconnaissances en phase d'Avant Projet Détaillé

Le programme de reconnaissances réalisées sur l'emplacement de l'axe de barrage consiste en un compliment a celui de l'étude de faisabilité et comprend:

-7 Forages de reconnaissances (sondages carottés)

-3 Puits

-2 Tranchées

-55 Essais de perméabilité, de type Lefranc ou Lugeon, répartis au droit des sondages de reconnaissance

-Des piézomètres au droit des sondages

Une campagne d'investigation géophysique, par réfraction sismique, a été également menée sur le site du barrage projeté, dans le cadre de l'investigation géotechnique de la première phase d'APD, et comprend deux profils sismiques T1 et T2 sur la variante amont de l'axe du barrage. Ces profils ont été calibrés par les résultats des sondages.

Dans le cadre de l'étude de la Phase 1 de l'APD, des échantillons non remaniés et des échantillons remaniés ont été prélevés dans tous les sondages, représentant les différentes variétés lithologiques rencontrées. Ils ont été envoyés au laboratoire pour y subir une série d'essais suivant un programme établi.

D'autre part, des puits de reconnaissance ont été creusés dans les gîtes potentiels

de matériaux de construction, notamment les matériaux argileux, les colluvions des versants et les alluvions du lit de la rivière. Un total de 53 puits a été effectué (14 dans la zone d'argiles, 24 dans les zones d'alluvions et 15 dans les zones de colluvions).

Les profondeurs des sondages sont dans le tableau I-1.

a) Puits

Un total de 53 puits de 5 mètres de profondeur a été réalisé pour reconnaitre une zone d'emprunt de matériaux étanches de 4 m de profondeur environ a été réalisé pour reconnaitre une zone d'emprunt de matériaux granulaire, environ 4 km à l'amont du barrage.

b) Sondages carottés

-sondages réalisés dans la zone d'implantation du barrage.

-sondages réalisés dans les zones d'emprunts potentielles.

c)Essais de laboratoire : Les essais de laboratoire ont consisté en identification, essais de compactage, essais oédométriques et essais mécaniques.

I-3-2Géologie du site :

En rive gauche, la coupe géologique le long de l'axe du barrage, met en relief les résultats des sondages. En effet, cette coupe révèle une couverture colluviale allant de 3,2m jusqu'à 12m en épaisseur approximativement. Les olluvions surmontent un ancien lit de rivière, atteignant 5,25m d'épaisseur, puis l'unité supérieure du flysch massylien, dont l'épaisseur atteint 35m sous l'empreinte du barrage. Les 2-3m supérieurs approximativement de ces flysch sont plus altérés. Puis l'on retrouve en-dessous l'unité inférieure du flysch. du flysch, dont les 2,5m à 4m supérieurs approximativement sont plus altérés.

En rive droite, la coupe géologique le long de l'axe du barrage, met en relief les résultats des sondages. En effet, l'épaisseur de la couverture colluviale sur cette coupe varie entre 3m et 12m approximativement. Les colluvions surmontent l'unité supérieure du flysch massylien, dont l'épaisseur atteint 14,5m sous l'empreinte du barrage. Puis on retrouve en-dessous l'unité inférieure du flysch. Cette coupe est aussi caractérisée par un chevauchement sénestre traversant à une profondeur approximative de 58m sous l'empreinte du barrage.

Au droit de l'oued, cette coupe (AA') révèle une couverture alluviale atteignant une épaisseur de 6,5m au fond de l'oued sous la crête du barrage. Les alluvions surmontent l'unité inférieure du flysch, dont les 2,5m à 4m supérieurs approximativement sont plus altérés.

I-3-3 Structure faille et fracturation

I-3-3-1 Structure générale :

La structure du site est monoclinale avec un léger plongement des couches vers le nord: variations constatés entre 5° et 10° Nord. On note également des ondulations orientées au N.E/S.O dans les formations marno-gréseuses à l'aval du site (ceci confirme la tendance des poussées tectoniques orientées Nord-Sud).

I-3-3-2 Fracturation :

L'analyse statistique des mesures prises sur le site du barrage met en évidence 3 directions préférentielles des fractures :

- famille N°1 : à l'E.N.E/O.S.O : environ 30% des mesures :
- famille N°2 : au N.O/S.E : environ 24% des mesures.
- famille N°3 : à l'E.N.E./O.S.O : environ 15% des mesures.

Ces trois familles représentent près de 70% de la fracturation observée du site. Les 30 % restant se répartissent dans toutes les directions sans que l'on puisse dégager une tendance particulière.

I-3-3-3 Faille :

L'accident le plus important de la région est la faille de toudja ¸direction **NE-SW**¸qui cisaille la terminaison orientale du Djebel-arbalou et la terminaison nord-occidentale de l'anticlinal.

I-3-4 Cadre hydrogéologique

Les seules indications disponibles proviennent de l'équipement des sondages en piézomètres.

❖ **Piézométrie**

Les lectures piézométriques effectuées au cours des investigations géotechniques de la première et de la deuxième phase ont été analysées. Leur interprétation s'effectue de la façon suivante :

A première vue, les écoulements souterrains se font globalement à partir de la rive droite et de la rive gauche vers l'oued Flidoun. Dans l'oued, les écoulements souterrains se font de l'amont vers l'aval, dans le sens d'écoulement de la rivière, ce qui est bien raisonnable.

En analysant les gradients hydrauliques pour chaque rive vers le fond de l'oued, on constate que les gradients hydrauliques sur la rive droite sont plus importants que ceux de la rive gauche, confirmant les résultats des essais Lugeon, où de passages gréseux,

calcaires, sableux, terreux, ou bien très fragmentés, caractérisés par des perméabilité élevées, sont plus fréquents en rive droite.En effet, la présence de pélites et colluvions argileuses, ainsi que la structure plissée des strates, représentent des conditions peu probables de développement d'un système d'eau souterraine. Ces conditions sont favorables pour minimiser les pertes d'eau à travers le bord du réservoir. Cependant, l'épaisseur considérable des alluvions grossières du fond de l'oued, l'état fracturé et fissuré du flysch, notamment l'unité supérieure, et la présence d'intercalations gréseuses, calcaires ou sableuses dans les flyschs, confèrent la perméabilité à la fondation, et nécessitent un voile d'injection pour le barrage.

I-3-5 Géologie de la cuvette

La série stratigraphique de la cuvette est représentée de la base vers le sommet par :

- Le flysch Massylien, quartzito-pélitique et gréso-carbonaté, d'âge crétacé moyen à supérieur dont nous distinguons deux unités litho-structurales :
- une unité inférieure représentée par un flysch gréso-pélitique, parfois gréso-calcaire, compacte,
- une unité supérieure, de même nature lithologique que la précédente, moins carbonatée, mais surtout, décomprimée, voire dilacérée.
- Les colluvions pélito-gréseuses qui résultent de l'altération des flyschs.
- Les terrasses alluviales, dont on distingue deux niveaux, un niveau ancien et un autre plus récent.
- Le réseau hydrographique est représenté par l'oued Flidoun, à écoulement sud-ouest / nord avec un affluent important en rive gauche, à écoulement est-ouest et appelé oued Machnouâa.

La nature gréso-pélitique qui forme la majeure partie des versants est assez érodable ; ce qui a favorisé une accumulation systématique de colluvions argilo-graveleuses, de quelques mètres d'épaisseur, au bas de ces versants. La formation la plus exposée à l'érosion est l'unité supérieure du flysch, du fait de sa faible résistance héritée de la tectonique complexe. Cependant, malgré la raideur despentes, les versants sont assez réguliers, hormis quelques arrachements qui se produisent sur les berges immédiates des deux cours d'eau. De plus, la complexité géologique de la cuvette du barrage est accentuée par la présence d'une végétation dense et des recouvrements superficiels qui masquent une grande partie des flyschs sub-affleurants.

I-3-6 Séismicité de la région

1. Données de base

Une carte sismique du Nord-Est de l'Algérie a été préparée à la suite des études sismiques basées sur les données historiques et instrumentées pour la période 1357-1996,la carte indique les épicentres des tremblements de terre historiques et instrumentés. Ceux-ci ont une tendance à se concentrer aux épicentres des tremblements de terre dans les zones des failles principales où des tremblements ont eu lieu dans le passé. L'intensité en surface (MS) des tremblements de terre importants qui se sont produits dans le passé à l'intérieur d'un rayon de 150 km autour du site du barrage (Jijel, Gunzet, Kherrata et Mansourah) est comprise entre 4,4 et 5,7.

.2. Etudes sismiques

La pratique courante pour l'analyse sismique des barrages, basée sur les indications données dans le Bulletin ICOLD N° 72, est d'établir la sécurité du barrage pour deux tremblements de terre d'étude représentatifs qui sont les suivants :

- SBE – Le Séisme de Base d'Exploitation (OBE en anglais)
- SMD – Le Séisme Maximal de Dimensionnement (MCE en anglais)

Le rapport géologique « Géologie du barrage d'Azib Timizar et de la cuvette », daté d'Août 2006, fournit une étude détaillée de l'analyse sismique réalisée pour le site du barrage. En se basant sur les données géologiques, tectoniques et sismiques analysées dans cette étude, il peut être conclu que la zone où est situé le barrage a une activité sismique modérée. L'accélération horizontale de pointe du sol recommandée pour un SBE (ou Séisme de Base d'Exploitation) est 0,125g, lequel a typiquement une période de retour de plus de 200 ans.

L'accélération horizontale de pointe du sol recommandée pour un SMD (ou Séisme Maximal de Dimensionnement) est 0,20g, basée sur une approche déterministe et une hypothèse qu'un tremblement de terre ayant une intensité de 5,4 peut avoir lieu à 5 km au Nord du site.

Tableau 1. : Accélérations des séismes SBE et SMD

Approche	Accélération Horizontale	Hypothèse
Probabiliste – SBE	0.125g	Période de retour de plus de 200 ans
Déterministe - SMD	0.20g	Un tremblement de terre ayant une intensité de (Ms) 5,4 peut avoir lieu à 5 km au Nord du site

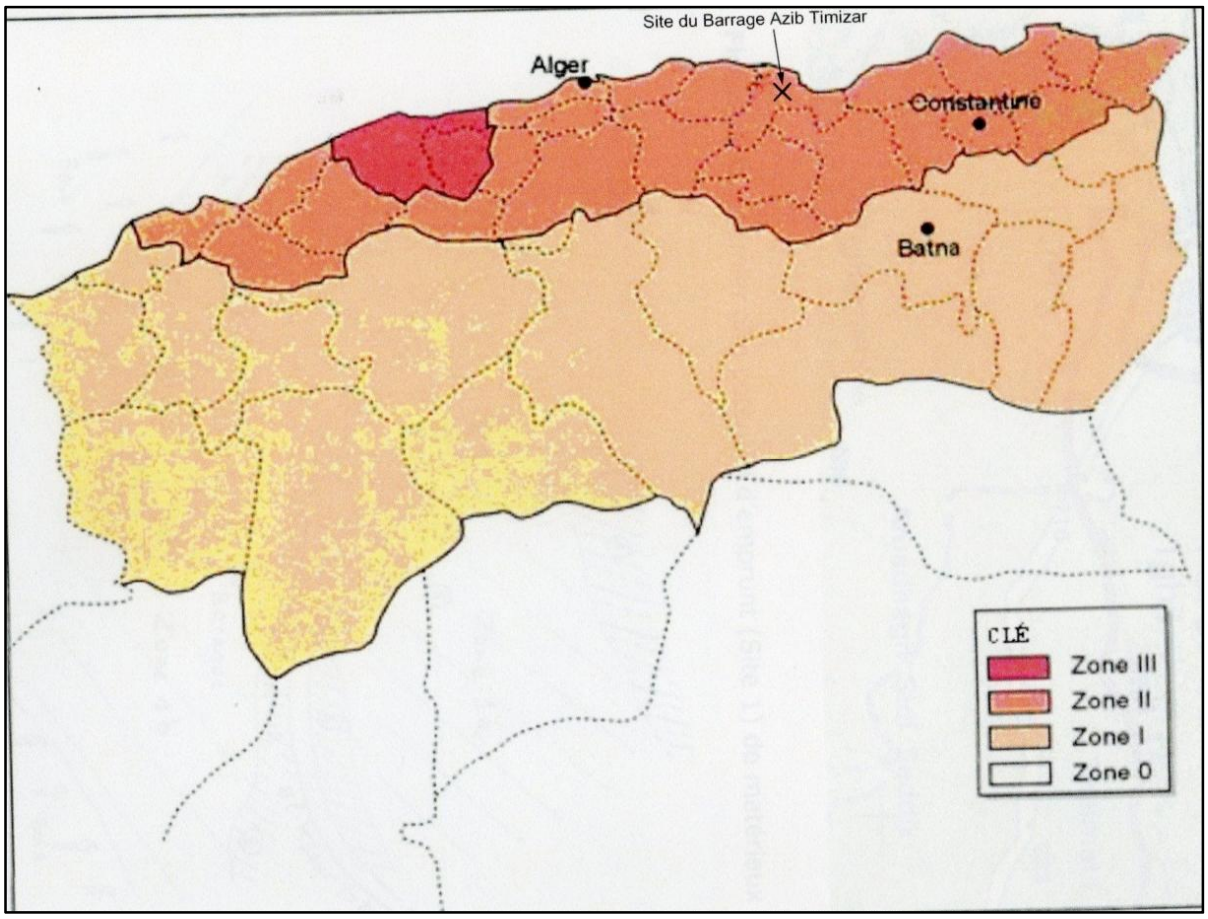


Figure I-3 : Carte des zones séismiques (RPA99-Version 2003).

I-4 Caractérisation géotechnique de la fondation

I-4-1 Couverture colluviale et alluviale

Les colluvions, matériaux argileux, gréseux et gréso-calcaires sont caractérisées par les propriétés physiques suivantes :

- Les limites de liquidité des colluvions sont comprises entre 27,4 et 48,6%, avec une moyenne de38, 7%,

- Les indices de plasticité des colluvions varient entre 10,7 et 25,4%, avec une moyenne de

17,8%,

- L'indice de consistance varie entre 0,7% et 1,9%, avec une moyenne de 1,5%.
- La teneur en eau des colluvions varie entre 1,63 et 18,80%, avec une moyenne de 8,93%.
- La densité apparente déterminée pour un échantillon est de 2,17 g/cm 3.
- La densité sèche déterminée pour un échantillon est de 2,03 g/cm 3.

Ces matériaux sont classés comme CL (argile de faible plasticité).

Les alluvions, de nature gréso-calcaire et calcaire, sont caractérisées par les propriétés physiques suivantes :

- La teneur en eau des alluvions varie entre 0,22% et 10,44%, avec une moyenne de 3,77%,
- La densité apparente varie entre 2,44 et 2,65 g/cm 3, avec une moyenne de 2,55 g/cm 3 ,
- La densité sèche varie entre 2,43 et 2,65 g/cm 3 , avec une moyenne de 2,54 g/cm 3 ,
- La résistance à la compression simple des blocs d'alluvions varie entre 296 et 358 bars, avec une moyenne de 327 bars,
- La teneur en carbonates de calcium d'un échantillon d'alluvions est de 5%.

Les essais pressiométriques sur les alluvions (2 résultats) ont fourni les résultats suivants :

- Les modules pressiométriques sont compris entre 273 et 299 bars, avec une moyenne de 286 bars pour les alluvions.
- Les pressions limites p l sont comprises entre 31 et 39 bars, et possèdent une moyenne de 35 bars (3,5 MPa). Ces valeurs de p l , indiquent que les alluvions sont classées comme sables et graves compacts (sables, graves de classe C).
- Le module de déformation des alluvions déterminé à partir des essais pressiométriques sera égal à 63MPa à court et à long terme.

a) Perméabilité

La perméabilité du remplissage alluvial a été mesurée par des essais Lefranc, les valeurs mesurées varient entre 0.4cm/s et 2.4cm/s. Cette forte variabilité traduit la variabilité granulométrique du matériau en place.

La perméabilité du remplissage colluviale été mesurée par des essais Lefranc, les valeurs mesurées varient entre 001cm/s et 0.08cm/s.

b) Caractéristiques mécaniques

On retient de manière conservative une cohésion nulle et un angle de frottement de 35° dans ces formations.

I-4-2 Le substratum rocheux

Dans la cuvette du barrage, l'unité inférieure des flyschs crétacés constitue la formation rocheuse la plus résistante. Cependant, elle n'offre pas les qualités de résistance mécanique requise pour son emploi comme matériau d'enrochements.

L'investigation de la première phase d'APD a identifié le calcaire jurassique (Lias) formant le Djebel Arbalou comme la formation la plus proche du site susceptible de fournir des matériaux rocheux de bonne qualité. Cette formation est située, en tenant compte des accès possibles, à une quarantaine de km du barrage, dans la commune de Toudja.Deux sites de calcaire ont été examinés :

• Le premier site (Site S1r), celui de la carrière de Toudja qui exploite la bordure Orientale du Djebel Arbalou, situé à environ 40 km du barrage.

• Le deuxième site (Site S2r) correspond à une ancienne carrière abandonnée située à Arbalou, à environ 35 km du barrage. Cette carrière forme la continuité orographique de la carrière de Toudja.

a) perméabilité :

Les essais d'eau mettent en évidence deux zones différenciées :

• Une zone supérieure (au-dessus de la cote 80 approximativement, c'est à dire le (niveau de l'oued), de perméabilité homogène et modérée, augmentant avec la cote.

• Une zone inférieure (en-dessous de la cote 80 approximativement), de perméabilité très variable, avec un certain nombre de perméabilités très fortes.

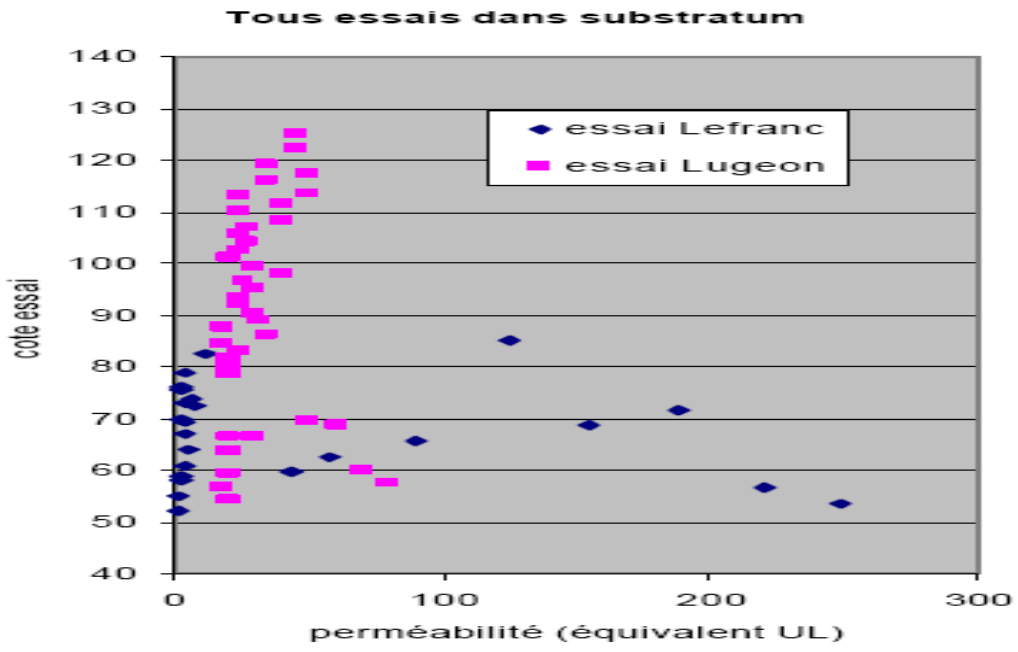


Figure I-4 : Essais d'eau dans le substratum rocheux

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

b) Densité de fracturation (RQD)

Les valeurs moyennes sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau I-2 : les différentes valeurs de RQD

Formation	Unité 3	Unite2	Unité 1	Unité 1 peu cimente	silt stone
RQD moy (%)	29	56	57	28	19

(Source ANBT)

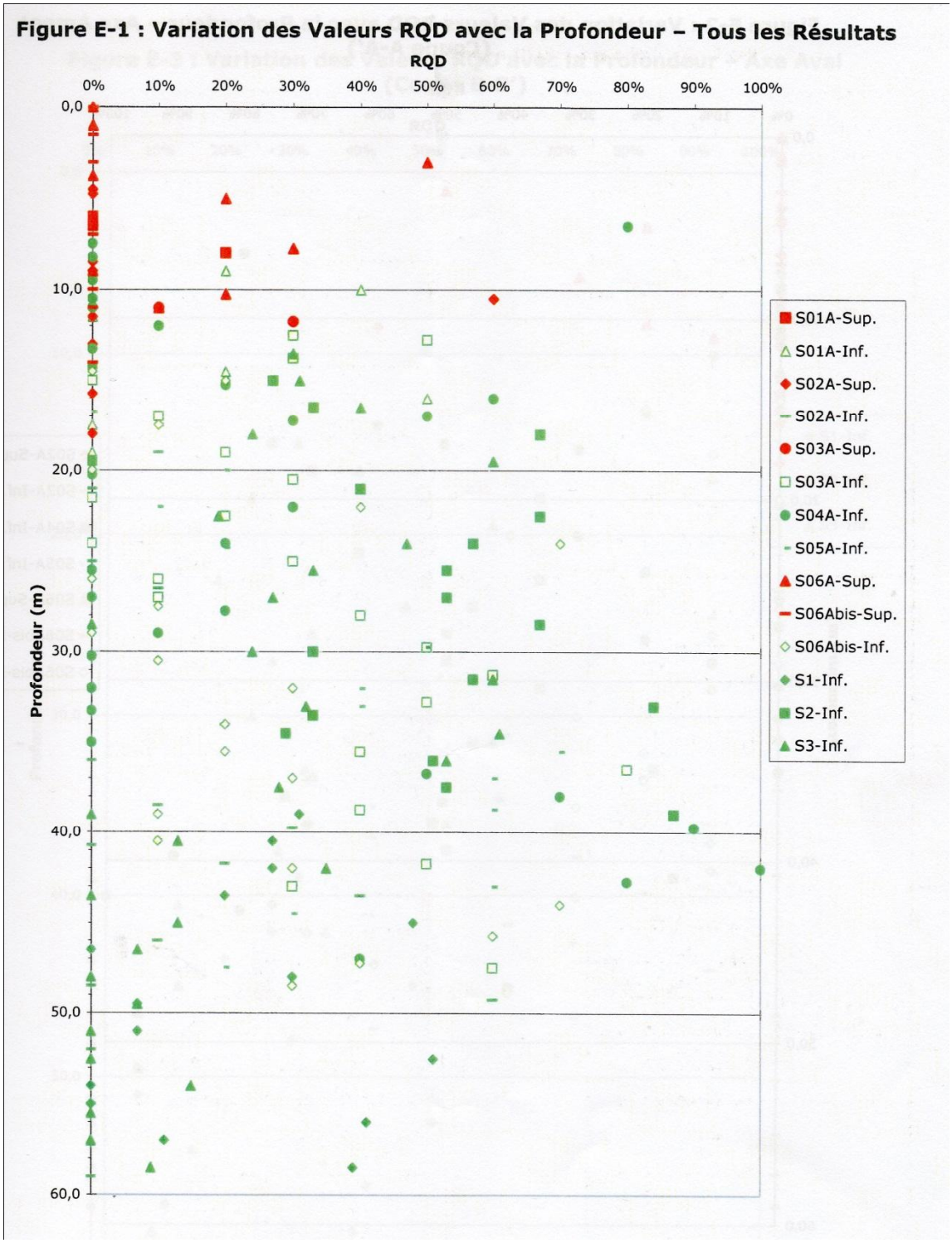


Figure I-5 : RQD des différentes

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

c) Synthèse du modèle géomécanique

Le modèle géomécanique suivant est proposé pour le site du barrage. Frottement 30°). Les volumes de remblais nécessaires pour construire le barrage sont disponibles en quantités suffisantes. Le tableau ci-dessous contient une comparaison des quantités disponibles dans la cuvette, et celles estimées pour le barrage :

Tableau I-3 :quantité des materions

Matériaux	Quantité requise (m3)	Quantité disponible (m3)	Source
Argile	231 600	30 000 - 40 000	El-Kseur
		186 191 m3 par broyage et traitement des colluvions investiguées ; plus de 300 000 m3 par broyage et traitement des colluvions de la cuvette	Colluvions de la cuvette
Flysch et colluvions pour recharge	1 050 000	Quantité illimitée d'une carrière ou plusieurs carrières de flysch dans la cuvette ; les colluvions de la cuvette de volume total de 803 600 m3 ne sont pas suffisantes pour les recharges du barrage.	Flyschs de la cuvette (et colluvions de la cuvette)
Alluvions pour recharge amont et pour drains et filtres*	596 500	530 000 - Alluvions investiguées 927 500 - Alluvions de la cuvette	Alluvions de la cuvette
Roche pour rip-rap et couche d'assise	101 400	Quantité illimitée	Carrière de Toudja

Les agrégats pour drains et filtres peuvent être aussi obtenus à partir du concassage des enrochements.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

I-5 Matériaux de construction :

Généralement, des matériaux cohésifs de faible plasticité (CL) sont préférés pour le noyau étanche, vu qu'ils permettent un meilleur contrôle des travaux de compactage durant la mise en place. Cependant, des matériaux de plasticité élevée (CH) peuvent aussi être employés, dans la limite où ils sont bien compactés, et que les autres critères d'imperméabilité et de résistance recommandés pour les noyaux étanches soient satisfaits.

D'autre part, un pourcentage de gravier limité pourrait être toléré mais des blocs plus larges que la moitié de l'épaisseur de la couche compactée devraient être enlevés à la main en mettant en place l'argile. De plus, une densité et teneur en eau naturelle égales ou légèrement inférieures aux valeurs proctor optimales sont requises pour le noyau compacté. Pour cela, la teneur en eau initiale du matériau brut à employer dans le noyau ne doit pas différer de plus de 10% de la valeur optimale, afin de permettre le compactage convenable durant la mise en place.

Et finalement, vu sa fonction principale d'imperméabilisation, une faible perméabilité, généralement inférieure à 10 -7 m/s, est recommandée pour le noyau.

Zone 2 (El Kseur)

L'argile rencontrée est carbonatée, limoneuse, parfois sableuse et rarement graveleuse. Elle est caractérisée par les limites d'Atterberg suivantes :

- Limite de liquidité 38,0% < Wl < 73,0%, moyenne = 55,0%
- Indice de plasticité 18,0% < Ip < 43,0%, moyenne = 25,6%

Parmi les 10 échantillons testés, 3 sont classés comme CL (argile de faible plasticité) et 7 echantillons sont classés comme CH (argile de haute plasticité). La majorité de cette zone peut être considérée comme CH.

Les courbes granulométriques indiquent un pourcentage de fines (particules inférieures à 80 µm) compris entre 41% et 91%, avec une valeur moyenne de 71%. Le pourcentage minimal de fines étant supérieur à 35%, ceci garantit que les particules du noyau restent enrobées par des fines, et ainsi l'étanchéité du noyau reste assurée avec les argiles de la zone 2. Les résultats des analyses chimiques indiquent l'absence de sulfates et de matières organiques.

La teneur en chlorures moyenne est de 0,26%. Les teneurs modérées en carbonates varient entre 16,4% et 37,2%, et le PH moyen est égal à 8,46, indiquant donc le caractère basique de l'argile.

Dix essais Proctor standard ont été effectués sur des échantillons argileux de la zone 2.

Les caractéristiques de compactage se résument comme suit :

- Densité sèche maximale : 14,2 < γmax < 18,1 kN/m 3 , moyenne = 16 kN/m 3
- Teneur en eau optimale : 8,5 < Wopt < 12,0%, moyenne =11,2%

La teneur en eau naturelle des échantillons prélevés varie entre 12,8% et 28,3%, avec une moyenne de 22,8%.La teneur en eau naturelle dans 7 parmi les 10 échantillons testés est Légèrement supérieure à wopt + 2%, indiquant ainsi l'état humide des argiles et la nécessité de leur séchage avant la mise en œuvre. Des essais de cisaillement triaxial et de cisaillement direct ont été effectués sur des échantillons d'argile d'El Kseur, recompactés à la densité Proctor, et ont donné les résultats suivants :

Cisaillement triaxial UU : Nombre d'échantillons 3

- 0 < Φ U < 5,5°, avec une moyenne de 2,9°
- 48 < c U < 65 kPa ; avec une moyenne de 55 kPa

Cisaillement triaxial CU+U : Nombre d'échantillons 2

- Φ U moyen = 20,6° ; c U moyen = 39 kPa
- Φ effectif moyen = 30,2° ; c effectif moyen = 34 kPa

Cisaillement direct UU : Nombre d'échantillons 6

- 2 < Φ U < 9°, avec une moyenne de 5,2°
- 37 < c U < 102 kPa ; avec une moyenne de 73 kPa

Cisaillement direct CU : Nombre d'échantillons 5

- 12 < Φ U < 20,8°, avec une moyenne de 16,8°
- 18 < c U < 55 kPa, avec une moyenne de 34 kPa

Cisaillement direct CD : Nombre d'échantillons 5

- 21,1 < Φ effectif < 24,5° ; avec une moyenne de 22,6°
- 4 < c effectif < 29 kPa ; avec une moyenne de 15 kPa

Ces valeurs sont suffisantes pour assurer des caractéristiques de résistance satisfaisantes pour un noyau étanche.

Ces mêmes échantillons ont été aussi testés à l'œdomètre, avec mesure de la perméabilité pour différents chargements. . Les contraintes de pré-consolidation obtenues indiquent l'état sur-consolidé des échantillons compactés. Les indices de compression C C sont proches et varient entre 0,14 et 0,35 ; correspondant à des matériaux de compressibilité faible à modérée. Les perméabilités obtenues varient entre 0,24 x 10 -8 et 17 x 10 -8 cm/s, et sont donc largement inférieures que la valeur limite de 10 -7 m/s. Les valeurs moyennes de perméabilité varient entre 0,24 x 10 -8 et 8,37 x 10 -8 cm/s pour les différents chargements.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Conclusion

A travers cette synthèse géologique et géotechnique nous pouvons conclure que les caractéristiques mécaniques de la zone d'implantation de l'ouvrage sont médiocres à savoir :

- la présence en partie basse d'un horizon de silt stone de médiocres caractéristiques mécaniques, dont la qualité ne semble pas s'améliorer avec la profondeur, et qui présente probablement un contraste fort de déformabilité avec les grès sus-jacents.
- la présence d'un horizon de grès peu cimentés, qui doit être considéré du point de vue mécanique comme un horizon sableux.

Quel que soit le type de barrage qui sera envisagé on doit procéder au traitement de la fondation.

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

Chapitre II
Etude hydrologique et régularisation

INTRODUCTION :

Le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrauliques sont liés à une évaluation correcte de l'importance de la crue. Dans ce cadre nous procédons dans une étude hydrologique du bassin versant de l'Oued Boug-doura pour 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.

II-1Caractéristiques morphométriques du bassin versant

II-1-1Caractéristiques géométriques

a) La surface :

La surface est obtenue après avoir déterminé les limites du bassin versant la surface est environ S=62Km^2

b) Le périmètre : P=33.6Km

c) Longueur du talweg principal :

L_{cp}=12.4 Km

II-1-2 Caractéristiques de forme :

a) Indice de compacité de Kc :

$$K_c = \frac{\text{perimetre du bassin versant}}{\text{perimetre du cercle de surface équivalente}} = \frac{p}{p'} = \frac{p}{2\pi R}$$

$$k_c = \frac{p}{2\pi\sqrt{S/\pi}} = 0.28\frac{P}{\sqrt{S}} \qquad Kc=0.28\,\frac{33.6}{\sqrt{62}}=1.19$$ notre bassin est de forme allongé

b) Rectangle équivalent

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L et l) ayant la même surface que le bassin versant. Il permet de comparer les bassins versants entre eux de point de vue de l'écoulement. Les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire est l'un de ces petits cotés. Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement:

P = 2 (L+ l) et $S = L \times l$

La longueur L et la largeur l en Km sont données par la résolution de P et S

$$\text{La longueur } L = \frac{Kc\ .\sqrt{S}}{1,12}\left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2}\right]$$

$$\text{La largeur } l = \frac{Kc\ .\sqrt{S}}{1,12}\left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2}\right]$$

Donc L=11.46km et l=5.4 Km

II-1-3 Caractéristiques des altitudes (hypsométrie)

La courbe hypsométrique donne la surface S en % de la surface totale ou les altitudes sont supérieures a une cote h donnée, cette courbe est établie en planimétrant pour différentes altitudes les surfaces situées au-dessus de la courbe de niveau correspondantes.

La répartition des surfaces en fonction des cotes est donnée dans le tableau1

Tableau II-1 : la répartition des surfaces en fonction des cotes

Altitude (m)	Surface partielle (Km^2)	Surface partielle (%)	Surface cumulées (%)
1458-1400	0.125	0.20	0.2
1400-1300	1.052	1.7	1.9
1300-1200	1.25	2.02	3.92
1200-1100	1.83	2.96	6.88
1100-1000	2.6	4.2	11.08
1000-900	5.52	8.92	20
900-800	7	11.32	31.32
800-700	7.68	12.42	43.74
700-600	10.17	16.45	60.19
600-500	11.6	18.76	78.95
500-400	8.4	13.58	92.53
400-300	4.6	7.44	100

La courbe hypsométrique est représentée dans la figure II-1

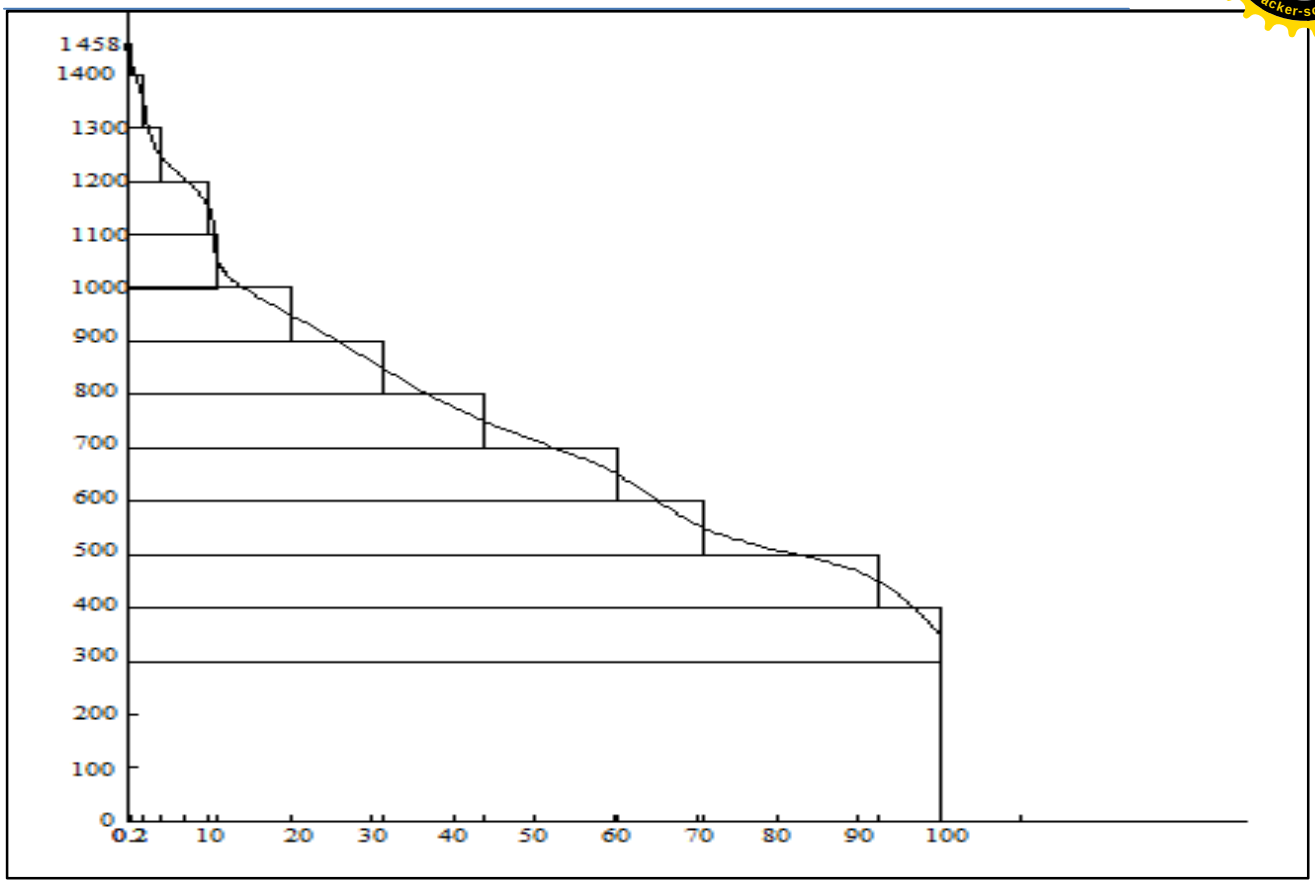


Figure II-1: Répartition des surfaces et courbe hypsométrique

a) Altitude médiane

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

Donc de graphe $H_{50\%}$= 714.18 m

b) Altitude moyenne

$H_{moy}=\sum\frac{Si*Hi}{Si}$: H_{moy}=700.91 m

c) Indice de pente globale Ig

$Ig=\frac{D}{L}=\frac{H5\%-H95\%}{L}$ tel que L : longueur de rectangle équivalent (Km)

L=11.46 Km , H5%=1230.27m et H95%=425.4m donc Ig= 70.23 m/km

Ig> 0.05 alors relief très fort

d) Indice de pente de roche Ip

$I_p=\frac{1}{\sqrt{L}}\left[\sum_{i=1}^{n}\sqrt{Si\,(Hi-Hi-1)}\right]$ tel que : L : longueur de rectangle équivalent (m) et

Si : surface partielle en (%) comprise entre 2 courbes de niveau consécutives

Ip=0.29 m/m

e) Pente moyenne du bassin

$$I_m = \frac{\Delta H.(0{,}5L1+L2+L3+ \ldots\ldots + 0{,}5Ln)}{S}$$ **tel que:**

ΔH : dénivelée (m)

Li : longueur de la courbe de niveau d'ordre 1,2 …. N

I_m= 0.33 m/m

II-2-Caractéristiques hydrographique

a) densité de drainage D_d

$D_d=\frac{\Sigma Li}{s}$ L: la longueur totale de tous les thalwegs ∑Li=Km

S : la surface totale de bassin versant

D_d=2.05

a) Le coefficient de torrentialité Ct

$Ct=Dd\frac{N}{S}$

N : nombre du thalweg d'ordre 1, N=19, La classification est donnée dans la Figure II-2

Ct=0.006

b) Temps de concentration Tc

Il peut être calcule par plusieurs formules

1-La formule de Giandotti :

$$Tc = \frac{4\sqrt{s} + 1.5Lcp}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec : Lcp : Longueur du cours d'eau principal (Km)=*12.4Km*

T_c = 3.12heurs

2-Formule de CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0{,}87.l_{cp}^{3}}{H_{max} - H_{min}}\right)^{0.386}$$

Avec : Lcp : Longueur du cours d'eau principal (Km)

H_{max} : Altitude maximal du bassin versant (m NGA) =1458 m

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant (m NGA) = 300 m

AN : **Tc = 1.14 heurs**

3-**Formule de KIRPICH :**

$$t_c = 0{,}6615 \cdot L_p^{0{,}77} \cdot im^{0{,}385}$$

Lc_P : Longueur du cours d'eau principal (km)

i_{moy} : Pente moyenne du bassin versant.

I_g : indice de pente globale.=70.23

AN **: T_c = 12.2heurs**

On adopte la valeur trouvé par la formule de Giandotti Tc =6.84 heures

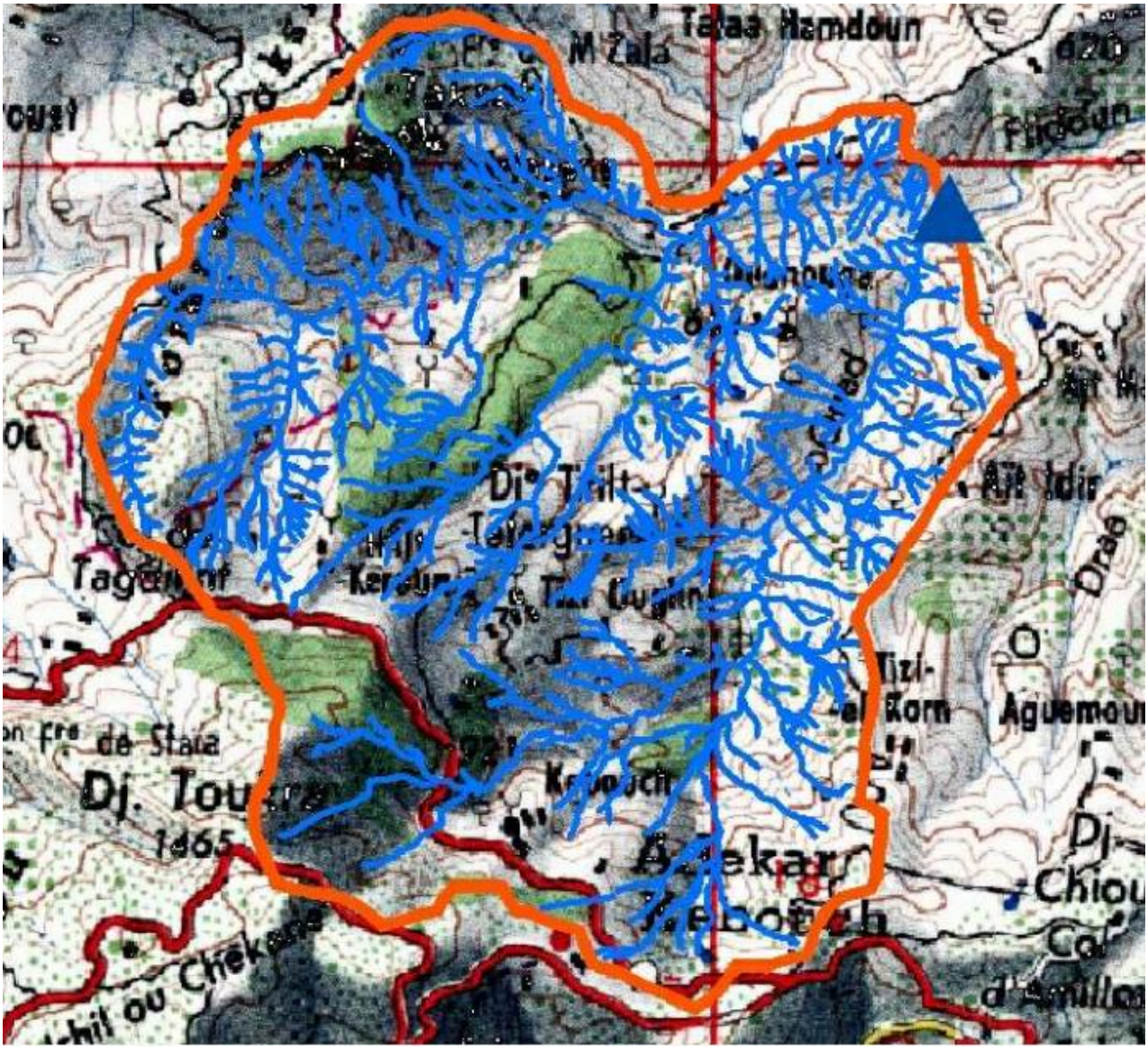


Figure II-2: Classification de l'écoulement selon SCHUM des bassin versons Azibe Timizar

Tableau II-2 : récapitulatifs des caractéristiques hydromorphometrique

Désignation		Symbole	Unités	Valeur
Superficie		S	Km^2	62
Périmètre		P	Km	33.6
Longueur du thalweg principal		L_P	Km	12.4
Pente du thalweg principal		I	%	5.7
Indice de compacité		K_C	-	1.19
Coefficient d'allongement		Ca	-	2.5
Rectangle équivalent	Longueur	L_r	Km	11.46
	Largeur	l_r	Km	5.4
Altitudes	Maximale	H_{max}	m	1458
	Moyenne	H_{moy}	m	700.18
	Médiane	H_{med}	m	714.18
	Minimale	H_{min}	m	300
Pente moyenne de B.V		I_{moy}	m/m	0.33
Indice de pente globale		I_g	m/Km	0.07
Indice de pente de roche		I_{pm}	m/m	0.29
Densité de drainage		D_d	Km/Km^2	2.05
Coefficient de torrentialité		Ct	Km^{-3}	0.006
Temps de concentration		T_c	h	6.84

II-3 Caractéristiques climatiques

II-3-1 Températures

La température moyenne mensuelle est de 17,3°C. La température moyenne du mois de janvier varie le plus souvent entre 3°C et l0°C, alors qu'en juillet elle est située entre 20°C et32,5°C.La température moyenne mensuelle calculée sur une base de 18 ans est illustrée par la figure suivante.

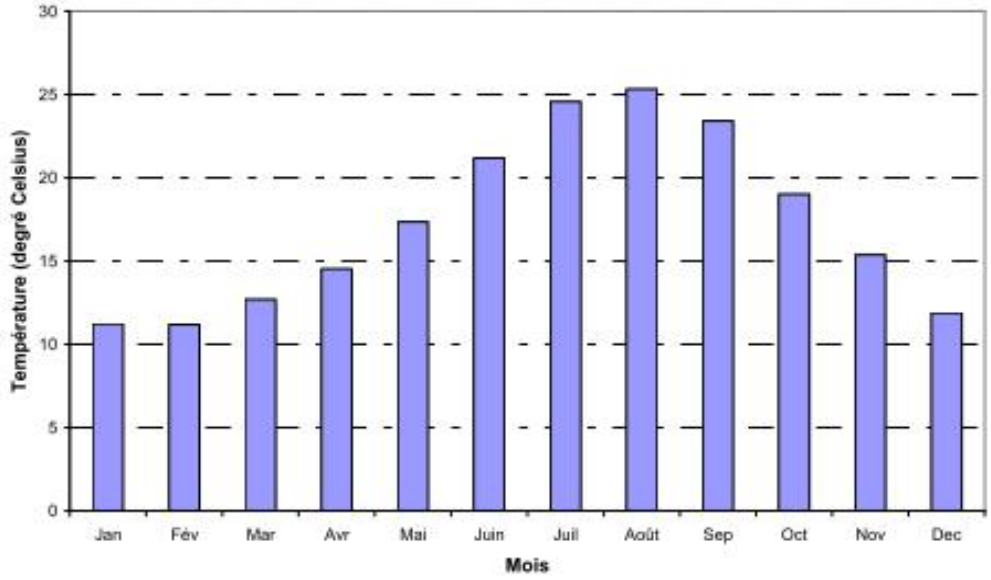


Figure 2 : Température Moyenne Mensuelle en la Ville de Bejaia

II.3.2.. La rose des vents

Le vents dominants charges d'humidité soufflent dans la direction O-NO entre le mois d'octobre et le mois de mai, et E-SE de juin à septembre .pour le dimensionnement de la cretre ,le vent maximal sera considéré dons la direction la plus critique, soit perpendiculaire à l'axe du barrage

II-3-3 la pluviométrie

Il existe 4 stations pluviométriques à l'intérieur du bassin, elle s'étend de 1967 jusqu'à 2006

Tableau II-3 : les stations pluviométriques

code	Nom	X (Km)	Y (Km)	Z (m NGA)
020808	azeffoun	647.22	400	
020902	yakouren	655.2	382.15	820
020602	Hamiz	558.55	367.4	130
020909	Tagma	660.25	382.95	950

Les pluies mensuelles et maximales journalières de la station AZEFFOUN sont données à l'annexes 1 (source ANRH).

II-3-3-1Etude fréquentielle des pluies maximales journalières :

On prendra la série 020808 pour étudier la pluie maximale journalière Etant donné que la série la plus proche de bassin

Caractéristique de l'échantillon

Tableau II-4 : caractéristiques de l'échantillon

Nombre d'années d'observation	42
La moyenne	23.4
Ecart-type	6.11
Coefficient de variation (Cv)	0.261
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.736

a) Ajustement a la loi de Gumbel :

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

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{X - X_0}{\alpha}}} \qquad \text{Avec : } y = \frac{x - x_0}{\alpha}$$

y : Variable réduite de Gumbel.

α : paramètre d'échelle α >0

x : Précipitation maximale journalière (mm)

x_0 : Paramètre de position (mode).

On peut écrire : y = - ln (- ln (F (x))) et l'équation de la droite de Gumbel est :

$X = \alpha * Y + X_0$

b) Ajustement a la loi de Galton :

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

$$F(X) = \frac{1}{\sqrt{2\,\Pi}} \int_u^{+\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2}\, du$$

$$\text{Ou : } u = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma_x} \qquad \text{(variable réduite de GAUSS)}$$

L'équation de la droite de Galton est la suivante :

$$\text{Log x } p_{\%} = \overline{Logx} + б \text{ Log Up}$$

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Tableau II-5: résultats d'ajustement à la loi de Gumbel

Période de retour (ans)	Probabilité	Pmaxj (mm)	Intervalle de confiance 95%
10000	0.9999	66.2	54.7-77.8
1000	0.999	54.8	45.9-63.6
200	0.995	46.8	39.8-53.6
100	0.99	43.3	37.2-49.5
50	0.98	39.9	34.5-45.2
10	0.9	31.7	28.1-35.2
5	0.8	27.9	25.2-30.2
2	0.5	22.3	20.5-24.1

X=10.22Y+26.20

Tableau II-6 : résultats d'ajustement à la loi de Galton (lognormale)

Période de retour (ans)	Probabilité	Pmaxj (mm)	Intervalle de confiance 95%
10000	0.9999	57.8	45.2-70.4
1000	0.999	49.3	40.2-58.5
200	0.995	43.3	36.3-50.3
100	0.99	40.7	34.6-46.7
50	0.98	37.9	32.8-43.1
10	0.9	31.2	28.0-34.4
5	0.8	27.9	25.4-30.4
2	0.5	22.6	20.8-24.3

$Log_{Pmxj\ P\%}=3.40+0.4U_{P\%}$

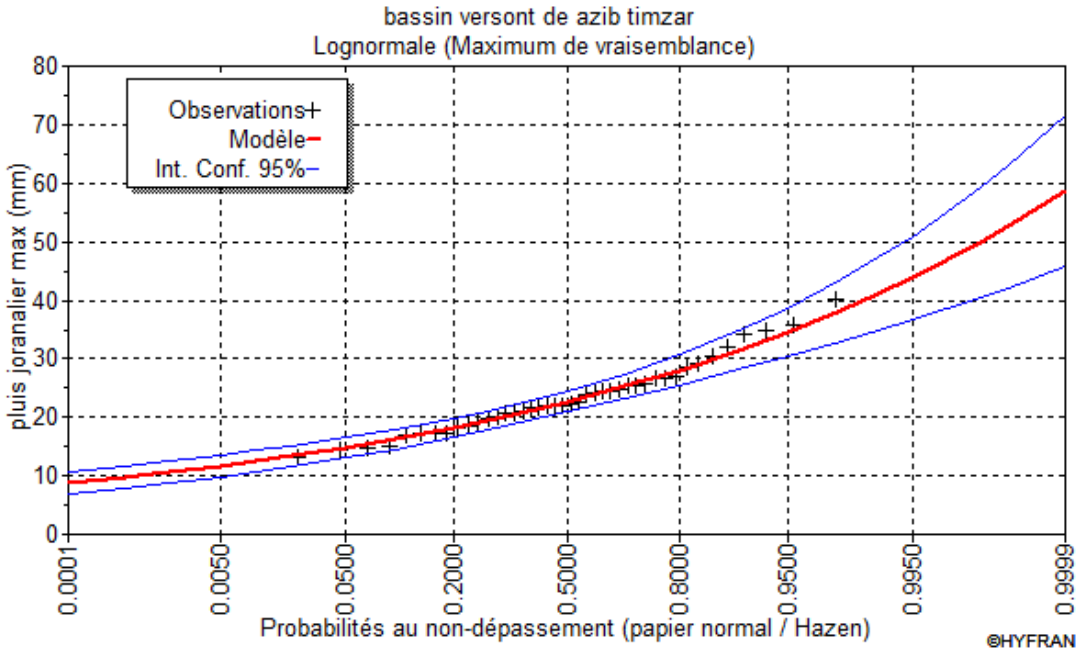


Figure II-4 : graphe ajustement a la loi de Galton

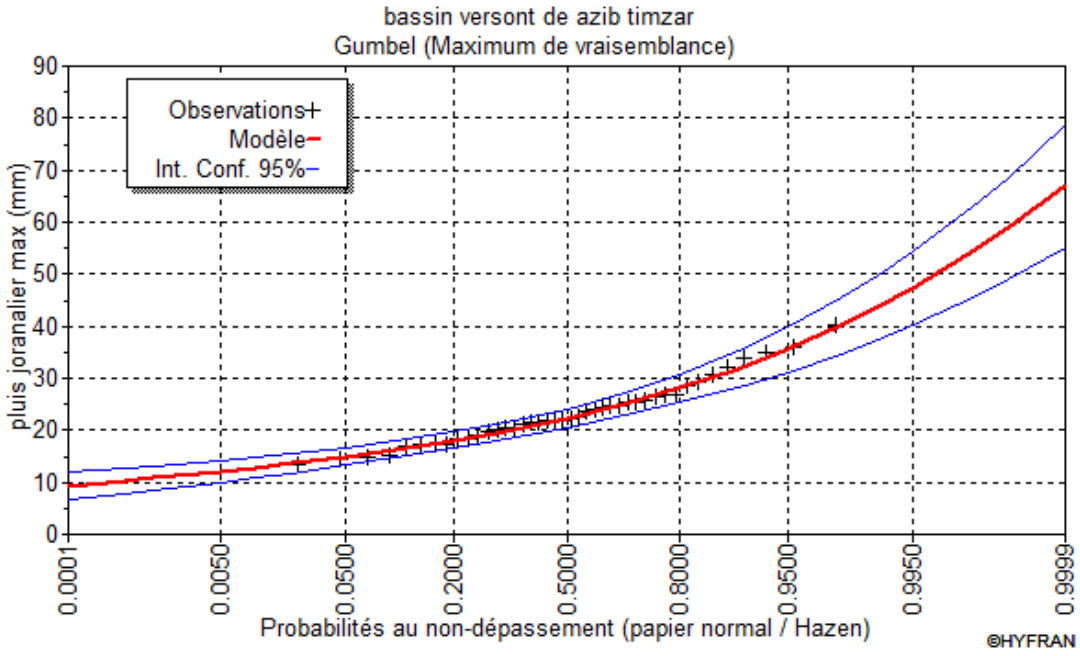


Figure II-5 : graphe ajustement a la loi de Gumbel

Le teste de χ^2 de Pearson montre que les deux ajustements (Gumbel, Galton) sont adéquats et leurs nombres de paramètres est le même alors par comparaison graphique on choisit la loi de Galton car tous les points sont plus proches a la droite de HENRY

II-3-3-2 Pluies a courtes durée et leurs intensités :

$$P_{ct} = P_{\max j}\left(\frac{t}{24}\right)^{b}$$

P_{ct}: pluies de courte durée (mm) de fréquence égale à celle de P_{maxj}.

P_{maxj}: pluies maximales fréquentielles.

t: temps en heure.

b: exposant climatique (b = 0,33).

L'intensité de pluies est donnée par la formule suivante:

$$I_t = \frac{P_{ct}}{t}$$

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Tableau II-7 : les pluies et les intensités pour différentes périodes de retour

Période de ret	10		20		50		100		1000	
Temps (h)	Pct	It	Pct	It	Pct	It	Pct	It	Pct	It
1	17.66	17.66	20.46	20.46	24.21	24.21	27.05	27.05	36.79	36.79
2	22.20	11.10	25.72	12.86	30.43	15.22	34.00	17.00	46.24	23.12
3	25.38	8.46	29.40	9.80	34.79	11.60	38.87	12.96	52.87	17.62
4	27.90	6.98	32.33	8.08	38.25	9.56	42.74	10.68	58.13	14.53
5	30.03	6.01	34.80	6.96	41.18	8.24	46.01	9.20	62.57	12.51
6	31.90	5.32	36.96	6.16	43.73	7.29	48.86	8.14	66.45	11.08
7	33.56	4.79	38.89	5.56	46.01	6.57	51.41	7.34	69.92	9.99
8	35.07	4.38	40.64	5.08	48.09	6.01	53.72	6.72	73.07	9.13
9	36.46	4.05	42.25	4.69	49.99	5.55	55.85	6.21	75.97	8.44
10	37.75	3.78	43.75	4.37	51.76	5.18	57.83	5.78	78.65	7.87
11	38.96	3.54	45.14	4.10	53.42	4.86	59.68	5.43	81.17	7.38
12	40.10	3.34	46.46	3.87	54.97	4.58	61.42	5.12	83.53	6.96
13	41.17	3.17	47.70	3.67	56.44	4.34	63.06	4.85	85.77	6.60
14	42.19	3.01	48.88	3.49	57.84	4.13	64.62	4.62	87.89	6.28
15	43.16	2.88	50.01	3.33	59.17	3.94	66.11	4.41	89.91	5.99
16	44.09	2.72	50.47	3.15	59.72	3.73	66.72	4.17	90.74	5.67
17	44.98	2.62	51.58	3.03	61.03	3.59	68.19	4.01	92.74	5.46
18	45.84	2.52	52.65	2.93	62.30	3.46	69.60	3.87	94.67	5.26
19	46.66	2.44	53.69	2.83	63.53	3.34	70.97	3.74	96.53	5.08
20	47.46	2.36	54.69	2.73	64.71	3.24	72.30	3.61	98.33	4.92
21	48.23	2.29	55.66	2.65	65.86	3.14	73.58	3.50	100.07	4.77
22	48.97	2.22	56.60	2.57	66.97	3.04	74.82	3.40	101.76	4.63
23	49.70	2.16	57.51	2.50	68.05	2.96	76.03	3.31	103.40	4.50
24	50.40	2.10	58.40	2.43	69.10	2.88	77.20	3.22	105.00	4.38

II-4 Etude des apports

Il n'existe aucune station hydrométrique sur l'Oued Mechnoua ou Flidoun; en revanche pour les bassins voisins on trouve la station d'Azzeffoun :

- La station d'Azzefoun (Code 020808) sur l'Oued Mtela, correspondant à un bassin

versant de 35,8 Km^2

-La détermination des apports est orientée de préférence vers les observations hydrométriques, lorsqu'elles existent sur le bassin versant propre du site à étudier **II-**, ou par analogie avec un bassin voisin. A défaut de ces dernières, des modèles et des formules empiriques basées sur la pluviométrie peuvent êtres utilisés.

Ces modèles dépendent de la précipitation et du déficit.

L'estimation de l'apport moyen annuel du bassin versant de la retenue est calculée grâce à deux approches :

- Les formules empiriques.
- La série d'observations de la station hydrométrique.

II.4.1 Avec la série d'observations

II.4.1.1 Analogie de la station AZZEFOUN RN 24

Etant donné que la station 020808(Azzeffoun RN24) au niveau de notre site, nous donne les apports de deux sous bassins versant de surface totale égale à 97.8Km^2

St=Set+Sr

St : surface totale du bassin versant où se trouve la station20808 (97.8Km^2)

Set : surface de notre bassin versant (62Km^2)

Sr : surface restante (35.8Km^2).

L'apport moyen annuel de la station est de 51.007Mm^3

Tableau III-8 : Répartition mensuelle de l'apport moyen de la station

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mars	Avar	Mais	Juin	Juil	Août	Total
A (Mm^3)	0.73	0.4	3.66	10.08	5.27	9.57	8.77	5.17	2.03	0.16	0	5.11	51.007
Apport (%)	1.45	0.79	7.18	19.79	10.34	18.78	17.2	10.15	3.98	0.32	0	10.02	100

Source A.N.R.H

Dans ces conditions, nous optons pour la méthode analogique, à l'aide de la relation suivante, pour tirer les apports moyens annuels de notre bassin versant à partir de la série d'observations de la station 020808(voir Annexes)

$$A\ site = \frac{S_{bv}^{site}}{S_{bv}^{site}} \times A_{st} \quad \text{..... (III.29)}$$

Avec :

A_{site} : Apport moyen annuel estimé du site.

A_{st} : Apport moyen annuel de la station.

S_{bv}^{site} : Surface du bassin versant du site qui est de 62Km^2

S_{bv}^{site} : Surface du bassin versant où se trouve la station qui est de 97.8Km^2

L'apport moyen annuel du site est de : 29.45Mm^3

Tableau II-9 : Répartition mensuelle de l'apport moyen du site

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	jan	Fév	Mars	Avar	Mais	Juin	Juil	Août	Total
A (Mm^3)	0.42	0.23	2.11	5.82	3.045	5.53	5.06	2.98	1.172	0.094	0	2.95	29.45
Apport (%)	1.45	0.79	7.18	19.79	10.34	18.78	17.2	10.15	3.98	0.32	0	10.02	100

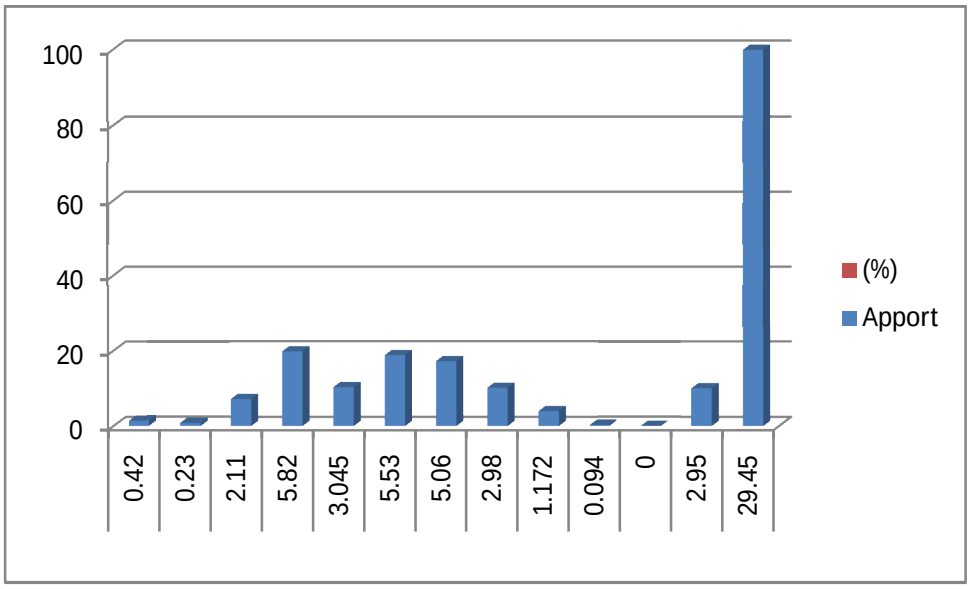


Figure II-6 : Répartition mensuelle de l'apport moyen

D'après la série d'observations de la station hydrométrique azzefoun(020808) et en appliquant la méthode d'analogie (III.29) nous aurons un apport moyen interannuel de :

A0 = 29.45 Mm^3

II4.2-LES FORMULES EMPIRIQUE

a). Formule de dari

$$A=0.513*P^{-2.683}*Dd^{0.5}*S^{0.842}$$

Ou:

p:precipetation moyenne du bassin versant azib timizar en (m)

S:surface du bassin versant en (Km^2)

AN:

A=23.72 10^6 m^3

b-formule du l'ANRH

$$A=0.915*P^{-2.683}*S^{-0.842}$$

ou:

p:precipetation moyenne du bassin versant azib timizar en (m)

S:surface du bassin versant en (Km^2)

$$A=0.915*(1)^{-2.684}*(62)^{0.842}$$

A=29.55 10^6 m^3

C-formule de mallet-gauthier

$$Le=0.6*p*(1-10)^{0.36p^2}$$

p:pluie moyenne en (m)

Le=0.338m

d'où

A=Le*s

A=20.936 10^6 m^3

Les résultats de calcul sont récapitulés dons les tableau N°10

Méthode	A(Mm^3)
Analogie avec la station hydrométrique	29.45

Nous remarquons qu´il Ya différence entre les résultats trouvés ; par conséquence nous tiendrons compte uniquement du résultat de la série d'observation de la station d'azeffoun alors ;

A=29.45Mm^3

II.4.2 Caractéristiques de l'écoulement

A) -Module de l'écoulement

Il est donné par : $Me = A_0 / T$ …… (III.30)

A0 : Apport moyen annuel (mm);

T : Temps d'une année en secondes T = 3,1536.107 s.

M_0= 933.85l/s

B) -Module de l'écoulement relatif

On a: $M_0 = Me / S$ …… (III.31)

Me: Module de l'écoulement (l/s);

S : Superficie du bassin (Km^2).

M_0= 15.06l/s/Km^2

C) -Lame d'eau écoulée

$L e = A_0/S.$ …… (III.32)

Le=475mm

D) -Coefficient de l'écoulement:

Il est donné par : Ce = Le / Pmoy …… (III.33)

Ce= 1.28

II.4.3 Apports fréquentiels

Le calcul des apports fréquentiels se fait par l'ajustement de la série des apports rapportée au site.

II.4.3.1 Ajustement de la série des apports rapportés à la loi log normal :

Tableau III-22 : Résultats de l'ajustement rapportés à la loi log normal

Période de retour (ans)	Probabilité de fréquance (q)	Xt en (Mm^3)	Ecart type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	61.4	13.6	34.8-88.0
2000	0.9995	51.7	11.2	29.7-73.7
1000	0.9990	47.5	10.2	27.7-67.6
200	0.9950	37.8	7.94	22.2-53.4
100	0.9900	33.6	6.95	20.0-47.3
50	0.9800	29.4	5.97	17.7-41.1
20	0.9500	23.8	4.67	14.6-33.0
10	0.9000	19.5	3.70	12.2-26.7
5	0.8000	15	2.74	9.59-20.3
2	0.5000	8.13	1.63	4.94-11.3

Tableau II-12 : caractéristiques de la loi de GUMBEL

Paramètres	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0.06
Maximum	29.8
Moyenne	9.4
Ecart-type	7.72
Médiane	7.39
Coefficient de variation (Cv)	0.822
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.2
Coefficient d'aplatissement (C_k)	3.38

D'après la loi d'analogie on à :

A80%=15,Mm^3/s

II.4.3.2 Répartition de l'apport annuel estimé à une probabilité de 80%

La répartition mensuelle de l'apport annuel suit la même répartition mensuelle des précipitations ; on a : **A80%= 15Mm^3**

Tableau III-13 : Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel de fréquence 80%.

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc.	jan	Fév	Mars	Avar	Mais	Juin	Juil	Août
A (80%)%	0.46	0.25	2.27	2.26	3.27	5.94	5.44	3.21	1.26	0.1	0	10.02
A (80%) (Mm3)	2.27	0.25	0.44	2.26	3.27	5.94	5.44	3.21	1.26	0.10	0	3.26

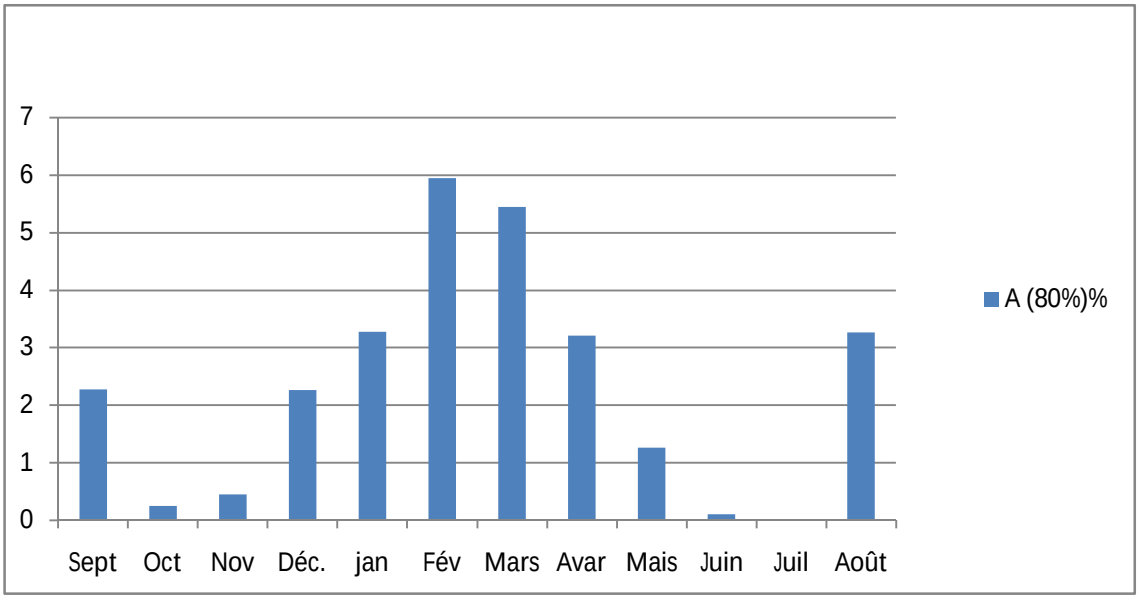


Figure III-7: Répartition mensuelle des apports 80%

II-5 Apport solide :

Comme le processus de transport et la suspension des apports solide dans la retenus est assez complexe et nécessite une information précise dont ne disposons pas pour le bassin de azib timizar,

Nous ferons recoure aux, formule empiriques pour la quantification de l'apport solide.

A-FORMULE DE TIXERONT

Le volume mort est donné par la formule suivante :

$$V_m = (1.05 \div 1.10)\frac{Q_s * T}{\gamma_s} \quad \text{..... (III.46).}$$

Avec : $Q_s = T_s * S$ ..... (III.47).

Q_s : Le débit solide (t/an)

γ_s : Poids spécifique de la vase humide (γ_s = 1,4 t/m^3).

T : Durée de vie du barrage (50 ans).

Ts : Transport solide (t/Km^2/an).

S : Surface du bassin versant (km^2).

A.N :. Q_s = 560*62 =34720

$V_m = 1.10 * \frac{34720*50}{1.4} = 1.24$ **V_m = 1.24 hm^3**

b-formule de fournier:

$$T_a=(1/36)\times(P_m{}^2/P_a)^{2.65} \times (H^2/S)^{0.16}$$

Avec

$\boldsymbol{T_a}$:taux d'abrasion (t/k$\boldsymbol{m^2}$/an)

P_m:195mm valeur moyenne des précipitation du mois les plus pluviaux

P_a:1000mm pluie moyenne du bassin versant

H=45%(H_{max}-H_{min})

H=45%(1458-300)

H=521.1m

S:surface du bassin versant (Km^2)

T_a=0.194(t/Km^2/an).

Le volume mort est de :

V_m=(T_a*T*S)/ δ_s

T:durée de vie du barrage (50an)

δ_s :poids spécifique des sédiments

D'où :

V_m=0.429hm^3

C-FORMULE DE CAVIRILLIE

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

$$V_m = \frac{T_0 * T * S}{\gamma_s}$$

$t_a = t_{ap} * G_{rm}$

Soit ;

t_{ap} :taux d'abrasion (t/Km^2 an)

G_{rm}:taux de rétention des sédiments produit par le bassin

$$t_{ap}=T\,\overline{p}\;\pi\sqrt{\tau^3}$$

T= $\sqrt{\frac{Z_0}{10}}$:coefficient de température

$\overline{p}$:pluie moyenne annuelle (1000mm)

τ :coefficients à l'érosion (0.4)

T= $\sqrt{\frac{Z_0}{10}}$

T=1.38

$$t_{ap}=T\,\overline{p}\;\pi\sqrt{\tau^3}$$

t_{ap}=1096.78

$$G_{rm}=\left(\frac{\sqrt{p}*H_{moy}}{0.2*(L+10)}\right)$$

d'où:

p:périmetre du bassin versant (Km)=33.6 Km

L:longeur du talweg principal (Km)=12.4 Km

H_{moy} : altitude moyenne en (m) =700.91m

G_{rm} =0.906

t_a=0.906*1096.78

t_a =994.65

$$\boldsymbol{v_m}=\mathbf{2.2h}\boldsymbol{m^3}$$

Tableau II.14 : récapitulatif des résultats de calcul du volume mort.

Formule	Volume mort pour 50 ans (hm^3)
Caverillie	2.2
Tixeront	1.24
Fournier	0.429

Pour des raisons de sécurité on opte pour le volume obtenu par la formule de caverillie donc le volume mort estimé à 50ans de service est **2.2hm^3.**

II-6-Etude des crues

Le but de cette étude est de déterminer les paramètres qui caractérisent une crue

-Le débit de pointe

-le volume de la crue

-le temps de base

-l'hydrogramme de la crue

Pour le calcul de débit de pointe on a opté pour les formules empiriques suivantes qui tiennent en compte de plusieurs paramètres de bassin versant

a-Formule de GIANDOTTI :

$$Q_{\max .P\%} = \frac{C.S.H_{tc.P\%}\sqrt{H_{moy} - H_{\min}}}{4\sqrt{S} + 1.5L_p} \quad \text{avec}$$

C : coefficient topographique variant entre 100 et 166 dans notre cas est pris 166

S : surface du B.V S=62Km^2

$H_{tc,p\%}$: pluie courte durée (pout t=tc =17h) en m

Hmoy : altitude moyenne en m Hmoy=700.91m

Hmin : altitude minimale en m Hmin=300m

Lp : longueur de thalweg principale en Km Lp=12.4km

Période de retour	10	20	50	100	1000	10000
Qmax (m^3/s)	109.048	133.67	165.33	189.95	267.34	348.25

b-Formule de Mallet-Gauthier :

$$Q_{\max .P\%} = \frac{2.K.\log(1 + AP_{an}).S\sqrt{1 + 4\log T - \log S}}{\sqrt{L_P}} \quad \text{avec :}$$

K : représente la géomorphologie du bassin versent comprise entre 1et 3 prise 1.6

A : représente les conditions climatiques compris entre 20 et 30 prises 20

T : période de retour (année)

Période de retour	10	20	50	100	1000	10000
Qmax (m^3/s)	33.94	53.12	70.92	81.85	110.677	133.41

- la formule de Giandotti donne des valeurs supérieures pour les différentes périodes de retour, alors les crues qui seront adoptés sont celles de Giandotti

II-5-1 Hydrogramme des crues

On utilisera la méthode de SOKOLOVSKI pour tracer les Hydrogrammes des différentes crues.

$$Q_{montée} = Q_{max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^2$$

$$Q_{déc} = Q_{max} \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^3$$

$Q_{max\,(\%)}$: Débit maximum de fréquence donnée.

Q_t: Débit instantané au moment (t).

t_m, ,t_d: Temps de montée et de décrue.

Temps de base: $t_b = t_m + t_d$

On considère généralement que: $t_d = 3t_m$, et $t_m = t_c$

t_m=3.12h t_d=9.36h t_b=12.48h

Tableau II-15: les résultats des hydrogrammes de crue par la méthode de SOKOLOVSKI

Temps (heure)	Période de Retour (ans)					
	10	20	50	100	1000	10000
0	0	0	0	0	0	0
1	11.197	13.66	16.95	19.41	27.42	35.77
2	44.78	54.65	67.8007	77.66	109.71	143.1007
3	100.77	122.966	152.55	174.74	246.85	321.976
3.12	**109**	**133**	**165**	**189**	**267**	**348.25**
1	77.66	94.76	117.56	134.66	190.24	248.13
2	52.99	64.66	80.22	91.88	129.81	169.31
3	34.195	41.72	51.76	59.29	83.76	109.253
4	20.46	24.975	30.98	35.49	50.139	65.39
5	11.01	13.44	16.67	19.102	26.98	35.198
6	5.042	6.15	7.63	8.742	12.35	16.109
7	1.74	2.13	2.644	3.029	4.27	5.582
8	0.334	0.407	0.506	0.579	0.81	1.0682
9	0.0062	0.00757	0.0093	0.0107	0.015	0.0198

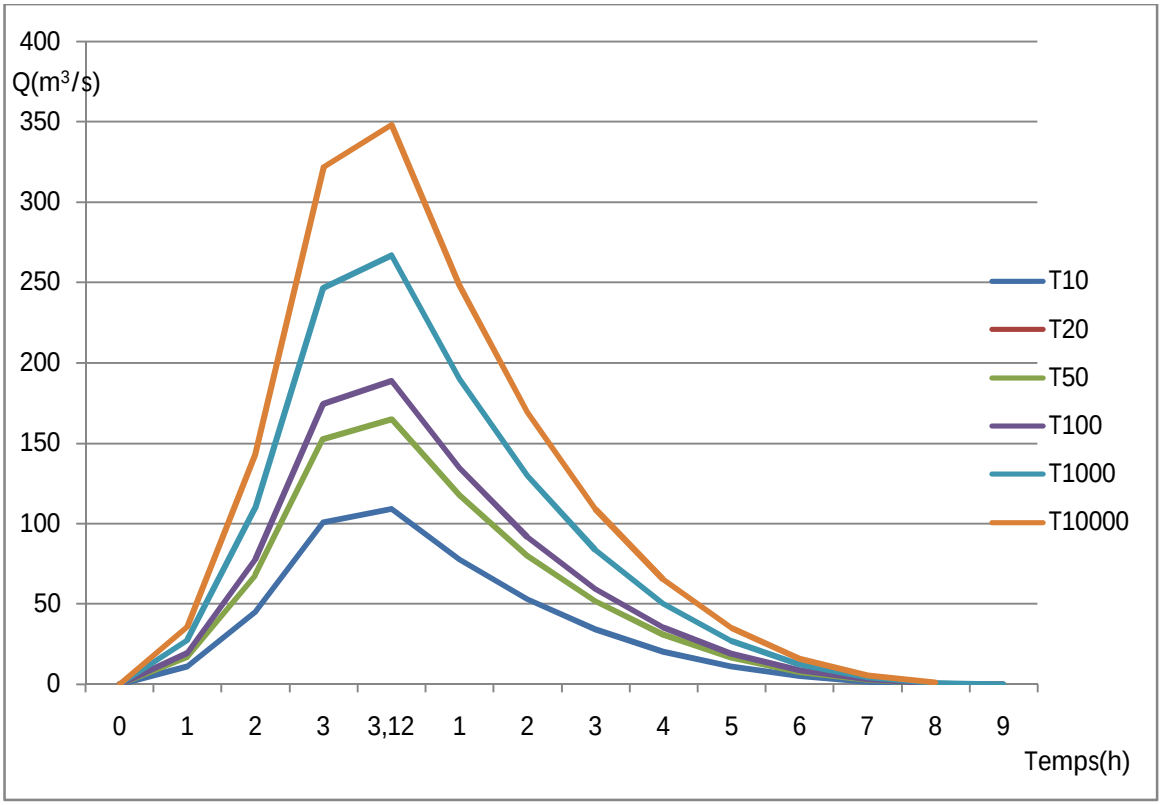


Figure II-8 : représentation graphique des hydrogrammes des crues

Conclusion sur le choix de la crue du projet :

En général, l´estimation de la crue de projet résulte non seulement de l´influence des facteur hydrologiques sur le projet lui-même et du cout de l´ouvrage ,mais également du risque potentiel de rupture du barrage sure la vie des personnes et sur pertes économiques résultant de cette rupture.

Autrement dit ; il s'agit de chercher un compris optimum entre l'aspect économique de la construction et les risques à l'aval; on se reporte alors, aux recommandations du comité national australien les grands barrages.

Donc pour notre cas nous considérons que les connaissances hydrologiques sont moyennes le risque en aval est un peu élevé alors on opte pour la crue dix Milian

Qmax, 1=384.25m^3/s

II-6 Etude de Régularisation :

L'étude de régularisation a pour objectif de préciser en fonction de la capacité de la retenue le débit garanti qui peut être fourni par l'aménagement

II-6-1 les courbes caractéristiques :

A partir de plan topographique on mesure les surfaces correspondantes à chaque cote et on calcule le volume;

$$V_1 = \frac{2}{3} \times S_1 \times H_1$$

$$V_n = V_{n-1} + (S_{n-1} + S_n).\Delta H/2$$

Tableau II-16 : cote-surface-capacité

Cote (m)	v(Mm^3)	s (km^3)
285	0.0	0.00
290	0.049	0.0297
295	0.315	0.0806
300	0.866	0.1429
305	1.829	0.2472
310	3.289	0.3389
315	5.231	0.4403
320	7.779	0.5823
325	11.103	0.7508
330	15.35	0.9519
335	20.578	1.1423
340	26.755	1.3308
345	33.893	1.5268
350	42.021	1.7265

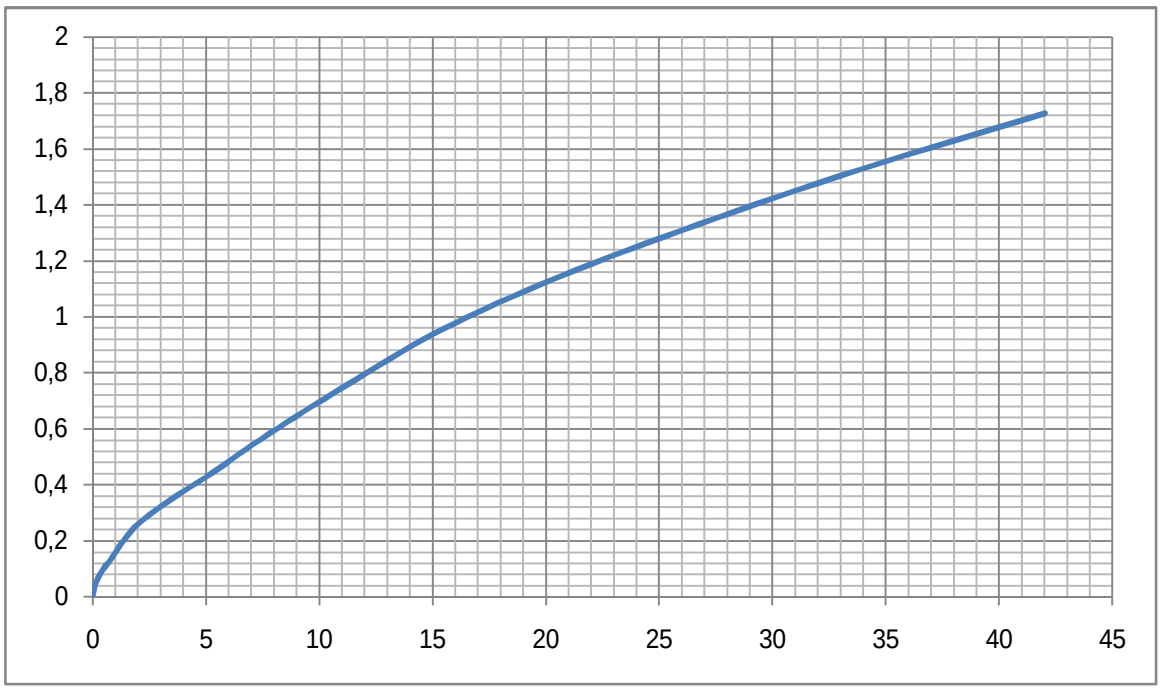


Figure II-9 : courbe surface-volume

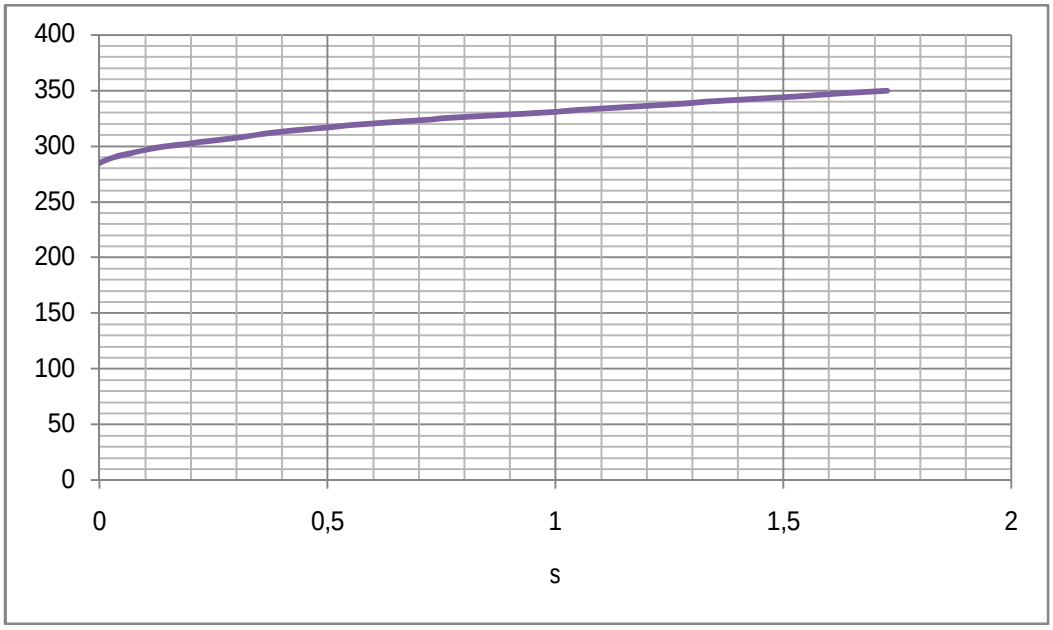


Figure II-10 courbe cote -surface

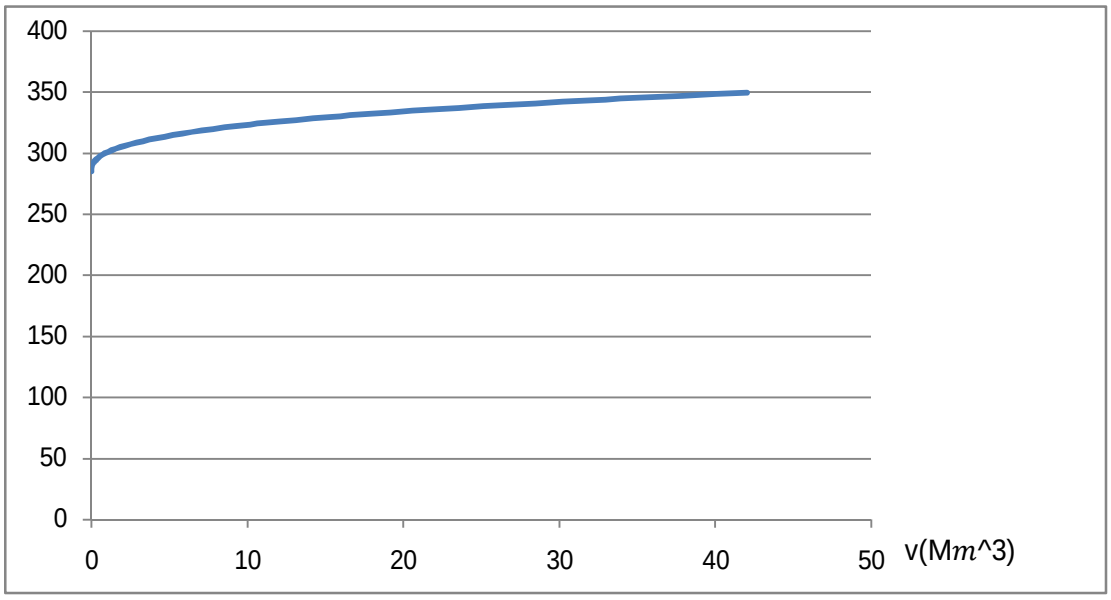


Figure II-11 courbe cote-capacité

II-6-2Calcul de volume utile

Tableau II-17: la répartition mensuelle de W80%

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc.	jan	Fév	Mars	Avar	Mais	Juin	Juil	Août
A (80%) %	0.46	0.25	2.27	2.26	3.27	5.94	5.44	3.21	1.26	0.1	0	10.02
A (80%) (Mm3)	2.27	0.25	0.44	2.26	3.27	5.94	5.44	3.21	1.26	0.10	0	3.26

Tableau II-18 : la répartition mensuelle des besoins

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
Consommation (Mm^2)	2.13	2.63	2.63	2.13	1.97	1.97	1.97	1.97	2.7	2.7	2.7	2.2	27.7
Consommation (%)	7.68	9.49	9.49	7.68	7.11	7.11	7.11	7.11	9.74	9.74	9.74	9.74	100

Remarque :

Du moment que nos apports sont supérieurs aux besoins, on opte pour une régularisation saisonnière.

II.6.2 Calcul du volume utile

Pour calculer le volume utile du barrage, nous avons besoin de :

- L'apport annuel A80%.
- La consommation totale.
- Le volume mort de la retenue.
- Le calcul de la régularisation qui est effectué en utilisant "la méthode du bilan d'eau".

Procédé de calcul

- Détermination de la période de bonne hydraulicité.
- Détermination des périodes excédentaires et déficitaires sur un cycle hydrologique.
- Calcul des volumes excédentaires et déficitaires "Vs" et "Vd".
- Détermination du type de fonctionnement de la retenue et calcul du volume utile.

La période de bonne hydraulicité est celle du mois de Novembre jusqu'au mois d'Octobre.

Les calculs se font comme suit : $V_{rf} = V_{ri} + (W-U)$.

Avec :

V_{rf} : Volume de remplissage final.

V_{ri} : Volume de remplissage initial.

S : Volume excédentaire à évacuer.

II.6.3 Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes

La capacité utile détermine le niveau de remplissage possible de la retenue dans les conditions normales d'exploitation. C'est-à-dire à la côte du niveau normal de la retenue NNR.

L'alternance de la période de remplissage ou de restitution, s'appelle temps de fonctionnement. A ce dernier s'ajoutent les consignes d'exploitation qui sont au nombre de deux :

- **Première consigne d'exploitation :** Elle consiste à remplir le barrage, lors des crues, jusqu'au niveau normal de la retenue (NNR). Ensuite restituer l'excédent d'eau qui est déversée par l'évacuateur de surface.

Le niveau de remplissage initial est fixé au remplissage final qui est déterminé pour chaque mois, en tenant compte du NNR et du niveau du volume mort NVM que l'on ne doit pas dépasser.

- **Deuxième Consigne d'exploitation :** Cette consigne consiste à faire évacuer les eaux excédentaires à travers l'évacuateur de surface.

Les résultats de calcul de la régularisation saisonnière sont donnés dans le tableau suivant :

Régularisation saisonnière sans tenir compte les pertes									
Mois	A80%(Mm^3)	U80%(Mm^3)	A-U(Mm^3)	Première consigne d'exploitation			Deuxième consigne d'exploitation		
				Vrf(Mm^3)	Vri(Mm^3)	S(Mm^3)	Vrfi(Mm^3)	Vri(Mm^3)	S(Mm^3)
dec	2.26	2.13	0.13		2.2			2.2	
jan	3.27	1.97	1.3	2.33	2.33		2.33	2.33	
fev	5.94	1.97	3.97	3.63	3.63		3.63	3.63	
mar	5.44	1.97	3.47	7.6	7.6		7.6	7.6	
avr	3.21	1.97	1.24	11.07	11.07		11.07	11.07	
mai	1.26	2.7	-1.44	12.31	12.31		12.31	12.31	
juin	0.1	2.7	-2.6	10.87	10.87		10.87	10.87	
juil	0	2.7	-2.7	8.27	8.27		8.27	8.27	
aout	3.26	2.2	1.06	5.57	5.57		5.57	5.57	
sep	2.27	2.13	0.14	6.63	6.63		6.63	6.63	
oct	0.25	2.63	-2.38	6.77	6.77		6.77	6.77	
nv	0.44	2.63	-2.19	4.39	4.39		4.39	4.39	
				2.2	2.2		2.2	2.2	
						S=00			S=00

Tableau II-19 : Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes en (Mm^3)k

Du tableau précédent, il ressort :

V_{s1} = 10.11 M m^3.

V_{d1} =6.74 M m^3.

V_{s2} =1.2 M m^3.

V_{d2}=4.57 M m^3.

Donc: la retenue fonctionne à un seul temps.

$V_{s1} > V_{d1}$

$V_{s2} < V_{d1}$

$V_{s2} < V_{d2}$ Alors : D'où : Vu = $V_{d1}+V_{d2}-V_{s2}$

Vu=12.511Mm^3

Le volume de la retenue normale sera :

VNNR = Vu + Vm

D'où :

VNNR=Vm+VU=2.2+10.11=12.31Mm^3

II.6.4 Régularisation saisonnière (en tenant compte des pertes)

Deux types de pertes caractérisent la retenue :

- Pertes par évaporation.
- Pertes par infiltration.

A) Pertes par évaporation :

Nous avons :

$$V_{ep} = S_{moy} * E_s \quad \text{(III.43)}$$

Vep : volume perdu à cause de l'évaporation.

Es : Evaporation mensuelle (m).

S_{moy} : Surface du plan d'eau correspondant au volume moyen (Vmoy).

Vmoy : volume moyen.

$$Vmoy = \frac{V_{rf},i + V_{rf,i+1}}{2} \quad \text{(III.44)}$$

Vrf,i et Vrf,i+1 : les volumes de la retenue de deux mois successifs.

B- Pertes par infiltration

Le volume mensuel des pertes par infiltration est donné par :

$$V_{inf} = \frac{\delta \times Vmoy}{100} \quad \text{(III.45)}$$

V_{inf} : Volume perdu à cause de l'infiltration;

δ : Coefficient qui dépend des conditions hydrogéologiques de la cuvette;

Vmoy : Volume moyen;

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

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Mois	Vrf(Mm^3)	Vmoy (Mm^3)	s	Smoy (Km^2)	Es (mm)	Vinf(Mm^3)	Vevp (Mm^3)	$\prod$ (Mm^3)	W(Mm^3)	U(Mm^3)	W-U-$\prod$(Mm^3)	1er consigne d'exploitation			2eme consigne d'exploitation		
												Vrf(Mm^3)	Vri(Mm^3)	S(Mm^3)	Vrfi(Mm^3)	Vri(Mm^3)	S(Mm^3)
Dec	2,2	2,265	0,000069906	69,906	130	0,0219705	0,0090878	0,03105828	2,26	2,13	0,0989417		2,2		2,2	2,2	
	2,33											2,2989417	2,2989417		2,289617	2,289617	
Jan		2,98	0,000126225	126,2247	86	0,028906	0,0108553	0,03976132	3,27	1,97	1,2602387						
	3,63											3,5591804	3,5591804		3,59856	3,549856	
Fev		5,615	0,000677709	677,7087	42	0,0544655	0,0284638	0,08292927	5,94	1,97	3,8870707						
	7,6											7,4462511	7,4462511		7,436926	7,436926	
Mar		9,335	0,0031268	3126,8	55	0,0905495	0,171974	0,2625235	5,44	1,97	3,2074765						
	11,07											10,653728	10,653728		10,6444	10,6444	
Avr		11,69	0,0062469	6246,9	43	0,113393	0,2686167	0,3820097	3,21	1,97	0,8579903						
	12,31											11,511718	11,511718		11,50239	11,50239	
Mai		11,59	0,0060836	6083,6	54	0,112423	0,3285144	0,4409374	1,26	2,4	-1,5809374						
	10,87											9,9307805	9,9307805		9,927456	9,921456	
Juin		9,57	0,0033746	3374,6	71	0,092829	0,2395966	0,3324256	0,1	2,4	-2,6324256						
	8,27											7,2983549	7,2983549		7,28903	7,28903	
Juil		6,92	0,0012585	1258,5	94	0,067124	0,118299	0,185423	0	2	-2,185423						
	5,57											5,1129319	5,1129319		5,103607	5,103607	
Aout		6,1	0,000864193	864,1929	126	0,05917	0,1088883	0,16805831	3,26	2,2	0,8919417						
	6,63											6,0048736	6,0048736		5,995549	5,995549	
Sep		6,7	0,0011423	1142,3	168	0,06499	0,1919064	0,2568964	2,27	2	0,0131036						
	6,77											6,0179772	6,0179772		6,008652	6,008652	
Oct		5,58	0,000665485	665,4853	201	0,054126	0,1337625	0,18788855	0,25	2	-1,9378885						
	4,39											4,0800887	4,0800887		4,070767	4,070767	
nv		3,295	0,000160033	160,0329	180	0,0319615	0,0288059	0,06076742	0,44	2,25	-1,8707674						
	2,2											2,2093213	2,2093213		2,2	2,2	

Tableau II-20 : Régularisation saisonnière compte tenu des pertes en (Mm^3)

Du tableau précédant, il ressort :

V_{s1} = 9.311M m^3.

V_{d1}=7.198M m^3.

V_{s2} =0.9050Mm^3

V_{d2} =4.608MM^3

Donc, la retenue fonctionne à deux temps.

$V_{s1} > V_{d1}$ D'ou : Vu = V_{d1}+V_{d2}-V_{s2} Alors : V_u=7.198+0.905+4.608

$V_{s2} < V_{d1}$ V_u=12.71

$V_{s2} < V_{d2}$

Le volume normal de la retenue sera :

VNNR = Vu + Vm

D'où :

VNNR=Vm+V_U=12.71+2.2=14.91Mm^3

VNNR=14.91Mm^3

Nous avons :

E = (Vu'-Vu)/Vu

E = (12.71 -.12.51)/12.51 = 1.59 % < 2%

Donc, le volume utile saisonnier est de 14.91Mm^3.

Il correspond à un niveau NNR = 329.51m

II.7 Laminage des crues

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

$$Qdt=q.dt+S.dt \quad \text{..... (III.46)}$$

Q : Le débit entrant de la crue;

q : Le débit déversé par l'évacuateur de crue (débit laminé);

S : La surface du plan d'eau de la cuvette;

Le débit cumule à l'instant t est :

$$Q-q=S.\frac{dh}{dt} \quad \text{..... (III.47)}$$

D'où :

$\frac{dh}{dt}$: La vitesse de remplissage ou de montée de la retenue.

Il existe plusieurs procèdes de calcul comme ceux de Hildenblate, Sorensen, Blakmore, Kotcherine, Patapov, Step by step ainsi que d'autres méthodes, nous retenons la méthode de Kotcherine.

II.7.1 Méthode de KOTCHERINE

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

1. l'hydrogramme de crue est considère comme un triangle ou un trapèze,
2. les débits transitant par l'évacuateur de crue se déversent selon une fonction linéaire,
3. le laminage commence avec le remplissage de la cuvette au niveau normal de la retenue (NNR).
4. les pertes par infiltration et évaporation sont considérées comme nulles au moment de la crue.

A) Estimation de la charge au-dessus du déversoir

En faisant transiter ces volumes par un évacuateur de crues aux dimensions que l'on définit, on analyse plusieurs variantes, Le débit de crue transitant par l'évacuateur de crue se calcule alors avec la relation :

$$\mathbf{Q}= m.b.\sqrt{2.g}\,(H)^{\frac{3}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.48)}$$

Où :

m : Coefficient de débit, dépendant notamment de l'épaisseur du déversoir par rapport à la charge **H** et de la forme de la crête du déversoir. Pour notre cas, il est constant et égal à **0,49**.

g : L'accélération de pesanteur;[g = 9,81tm²/s];

b :L largeur de déversoir. (On la fait varier de 20 à 100 m);

H : La charge sur le déversoir (on la fait varier de 0,5 à 8.5 m).

Connaissant ce débit et parce qu'aussi :

$$Q = Vmoy.S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.49)}$$

$$S = b.(H + P) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.50)}$$

P : La hauteur de pelle.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Il est possible d'extraire la vitesse moyenne (Vmoy) comme suit :

$$Vmoy = \frac{q}{L.(H+P)} \quad \text{..... (III.51)}$$

Tableau II-20 : Données initiales pour la méthode de KOTCHERINE :

Données initiales	
G	9,81 m^2/s
A	1
$Q_{0.1\%}$	384.25 m^3/s
$V_{crue\ 1\%}$	17263584m^3
M	0,49
P	1 m

Tous les résultats sont rassemblés dans les tableaux ci-après:

Tableau II-21: Résultats des calculs avec les formules précédant :

b	H	débit	surface	vitesse	$V_{forcé}$
(m)	(m)	($s/^3m$)	(m^2)	(m/s)	(^3Mm)
20	8	982,21363	160	6,1388352	8638200
25	7,5	1114,4816	187,5	5,9439016	8025300
30	7	1205,8944	210	5,7423545	7421900
35	6,5	1258,8647	227,5	5,5334713	6827900
40	6	1275,9329	240	5,3163872	6243300
45	5,5	1259,7882	247,5	5,0900533	5668000
50	5	1213,2938	250	4,8531754	5102100
55	4,5	1139,5213	247,5	4,6041264	4565500
60	4	1128,6111	260	4,340812	3998500
65	3,5	994,81217	245	4,0604578	3460900
70	3	845,83203	225	3,7592535	2933000
75	2,5	686,34264	200	3,4317132	2414800
80	2	521,80099	170	3,0694176	1906300
85	1,5	358,85614	135	2,6581936	1407600
90	1	206,18857	95	2,170406	918800
95	0,5	76,73544	50	1,5347088	440000

En utilisons, toujours la formule III.48 et en variant la largeur déverssante nous obtenons les débits indiqués dans le tableau III.39 (L comprise entre 5 et 24 mètres).

$$\mathbf{Q} = m.b.\sqrt{2.g}\,(H)^{\frac{3}{2}}$$

$$H_0 = H + \frac{\alpha Vmoy^2}{2g} \quad \text{..... (III.52)}$$

Où :

Ho : est la charge globale;

$\frac{\alpha \cdot V_{moy}}{2g}$: La charge dynamique liée à la vitesse d'écoulement;

Les résultats sont représentés dans les tableaux suivants :

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Tableau II-22 : Détermination de H_0 et Q en fonction de b

hauteur	vitesse	hauteur tot			debit m3/s														
m	m/s	m	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0,5	1,53	0,62	21,2	26,5	31,8	37,1	42,4	47,7	53,0	58,3	63,6	68,9	74,2	79,5	84,8	90,1	95,4	100,7	106,0
1	2,17	1,24	59,9	74,9	89,9	104,9	119,9	134,9	149,9	164,9	179,8	194,8	209,8	224,8	239,8	254,8	269,8	284,7	299,7
1,5	2,66	1,86	110,1	137,7	165,2	192,7	220,3	247,8	275,3	302,9	330,4	357,9	385,4	413,0	440,5	468,0	495,6	523,1	550,6
2	3,07	2,48	169,6	211,9	254,3	296,7	339,1	381,5	423,9	466,3	508,7	551,1	593,4	635,8	678,2	720,6	763,0	805,4	847,8
2,5	3,43	3,10	237,0	296,2	355,4	414,7	473,9	533,2	592,4	651,6	710,9	770,1	829,4	888,6	947,8	1007,1	1066,3	1125,6	1184,8
3	3,76	3,72	311,5	389,4	467,2	545,1	623,0	700,9	778,7	856,6	934,5	1012,3	1090,2	1168,1	1246,0	1323,8	1401,7	1479,6	1557,5
3,5	4,06	4,34	392,5	490,7	588,8	686,9	785,0	883,2	981,3	1079,4	1177,6	1275,7	1373,8	1472,0	1570,1	1668,2	1766,4	1864,5	1962,6
4	4,34	4,96	479,6	599,5	719,4	839,2	959,1	1079,0	1198,9	1318,8	1438,7	1558,6	1678,5	1798,4	1918,3	2038,2	2158,1	2278,0	2397,9
4,5	4,60	5,58	572,2	715,3	858,4	1001,4	1144,5	1287,5	1430,6	1573,7	1716,7	1859,8	2002,9	2145,9	2289,0	2432,0	2575,1	2718,2	2861,2
5	4,85	6,20	670,2	837,8	1005,3	1172,9	1340,4	1508,0	1675,6	1843,1	2010,7	2178,2	2345,8	2513,3	2680,9	2848,4	3016,0	3183,5	3351,1
5,5	5,09	6,82	773,2	966,5	1159,8	1353,1	1546,5	1739,8	1933,1	2126,4	2319,7	2513,0	2706,3	2899,6	3092,9	3286,2	3479,5	3672,8	3866,1
6	5,32	7,44	881,0	1101,3	1321,5	1541,8	1762,1	1982,3	2202,6	2422,8	2643,1	2863,3	3083,6	3303,9	3524,1	3744,4	3964,6	4184,9	4405,1
6,5	5,53	8,06	993,4	1241,8	1490,1	1738,5	1986,8	2235,2	2483,5	2731,9	2980,3	3228,6	3477,0	3725,3	3973,7	4222,0	4470,4	4718,7	4967,1
7	5,74	8,68	1110,2	1387,8	1665,3	1942,9	2220,4	2498,0	2775,6	3053,1	3330,7	3608,2	3885,8	4163,3	4440,9	4718,4	4996,0	5273,6	5551,1
7,5	5,94	9,30	1231,3	1539,1	1846,9	2154,7	2462,5	2770,4	3078,2	3386,0	3693,8	4001,6	4309,5	4617,3	4925,1	5232,9	5540,7	5848,6	6156,4
8	6,14	9,92	1356,4	1695,5	2034,6	2373,8	2712,9	3052,0	3391,1	3730,2	4069,3	4408,4	4747,5	5086,6	5425,7	5764,8	6103,9	6443,0	6782,2
8,5	6,33	10,54	1485,6	1857,0	2228,3	2599,7	2971,1	3342,5	3713,9	4085,3	4456,7	4828,1	5199,5	5570,9	5942,3	6313,6	6685,0	7056,4	7427,8

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Tableau II-23: Débits déversant en fonction de h et b et le volume de crue

h	**Vch**	**q**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**85**	**90**	**95**	**100**
0,5	**440000**	**374,5**	**21,2**	**26,5**	**31,8**	**37,1**	**42,4**	**47,7**	**53,0**	**58,3**	**63,6**	**68,9**	**74,2**	**79,5**	**84,8**	**90,1**	**95,4**	**100,7**	**106,0**
1	**918800**	**363,8**	**59,9**	**74,9**	**89,9**	**104,9**	**119,9**	**134,9**	**149,9**	**164,9**	**179,8**	**194,8**	**209,8**	**224,8**	**239,8**	**254,8**	**269,8**	**284,7**	**299,7**
1,5	**1407600**	**352,9**	**110,1**	**137,7**	**165,2**	**192,7**	**220,3**	**247,8**	**275,3**	**302,9**	**330,4**	**357,9**	**385,4**	**413,0**	**440,5**	**468,0**	**495,6**	**523,1**	**550,6**
2	**1906300**	**341,8**	**169,6**	**211,9**	**254,3**	**296,7**	**339,1**	**381,5**	**423,9**	**466,3**	**508,7**	**551,1**	**593,4**	**635,8**	**678,2**	**720,6**	**763,0**	**805,4**	**847,8**
2,5	**2414800**	**330,5**	**237,0**	**296,2**	**355,4**	**414,7**	**473,9**	**533,2**	**592,4**	**651,6**	**710,9**	**770,1**	**829,4**	**888,6**	**947,8**	**1007,1**	**1066,3**	**1125,6**	**1184,8**
3	**2933000**	**319,0**	**311,5**	**389,4**	**467,2**	**545,1**	**623,0**	**700,9**	**778,7**	**856,6**	**934,5**	**1012,3**	**1090,2**	**1168,1**	**1246,0**	**1323,8**	**1401,7**	**1479,6**	**1557,5**
3,5	**3460900**	**307,2**	**392,5**	**490,7**	**588,8**	**686,9**	**785,0**	**883,2**	**981,3**	**1079,4**	**1177,6**	**1275,7**	**1373,8**	**1472,0**	**1570,1**	**1668,2**	**1766,4**	**1864,5**	**1962,6**
4	**3998500**	**295,3**	**479,6**	**599,5**	**719,4**	**839,2**	**959,1**	**1079,0**	**1198,9**	**1318,8**	**1438,7**	**1558,6**	**1678,5**	**1798,4**	**1918,3**	**2038,2**	**2158,1**	**2278,0**	**2397,9**
4,5	**4565500**	**282,6**	**572,2**	**715,3**	**858,4**	**1001,4**	**1144,5**	**1287,5**	**1430,6**	**1573,7**	**1716,7**	**1859,8**	**2002,9**	**2145,9**	**2289,0**	**2432,0**	**2575,1**	**2718,2**	**2861,2**
5	**5565500**	**260,4**	**670,2**	**837,8**	**1005,3**	**1172,9**	**1340,4**	**1508,0**	**1675,6**	**1843,1**	**2010,7**	**2178,2**	**2345,8**	**2513,3**	**2680,9**	**2848,4**	**3016,0**	**3183,5**	**3351,1**
5,5	**5102100**	**270,7**	**773,2**	**966,5**	**1159,8**	**1353,1**	**1546,5**	**1739,8**	**1933,1**	**2126,4**	**2319,7**	**2513,0**	**2706,3**	**2899,6**	**3092,9**	**3286,2**	**3479,5**	**3672,8**	**3866,1**
6	**5668000**	**258,1**	**881,0**	**1101,3**	**1321,5**	**1541,8**	**1762,1**	**1982,3**	**2202,6**	**2422,8**	**2643,1**	**2863,3**	**3083,6**	**3303,9**	**3524,1**	**3744,4**	**3964,6**	**4184,9**	**4405,1**
	6243300	**245,3**	**993,4**	**1241,8**	**1490,1**	**1738,5**	**1986,8**	**2235,2**	**2483,5**	**2731,9**	**2980,3**	**3228,6**	**3477,0**	**3725,3**	**3973,7**	**4222,0**	**4470,4**	**4718,7**	**4967,1**
7	**6827900**	**232,3**	**1110,2**	**1387,8**	**1665,3**	**1942,9**	**2220,4**	**2498,0**	**2775,6**	**3053,1**	**3330,7**	**3608,2**	**3885,8**	**4163,3**	**4440,9**	**4718,4**	**4996,0**	**5273,6**	**5551,1**
7,5	**7421900**	**219,1**	**1231,3**	**1539,1**	**1846,9**	**2154,7**	**2462,5**	**2770,4**	**3078,2**	**3386,0**	**3693,8**	**4001,6**	**4309,5**	**4617,3**	**4925,1**	**5232,9**	**5540,7**	**5848,6**	**6156,4**
8	**8025300**	**205,6**	**1356,4**	**1695,5**	**2034,6**	**2373,8**	**2712,9**	**3052,0**	**3391,1**	**3730,2**	**4069,3**	**4408,4**	**4747,5**	**5086,6**	**5425,7**	**5764,8**	**6103,9**	**6443,0**	**6782,2**
8,5	**8638200**	**192,0**	**1485,6**	**1857,0**	**2228,3**	**2599,7**	**2971,1**	**3342,5**	**3713,9**	**4085,3**	**4456,7**	**4828,1**	**5199,5**	**5570,9**	**5942,3**	**6313,6**	**6685,0**	**7056,4**	**7427,8**

La détermination de la largeur du déversoir, ainsi que le débit correspondant, se fait graphiquement après le traçage du graphe Qlam= f (h) déterminée par la formule

$$V_{lam}=Q\%(1-V_{ch}/V_{cr}) \quad \text{(III.53)}$$

Q%: Débit maximum de crue considérée en m^3/s.

V_{ch}: Volume de charge sur le déversoir déduit par la courbe capacité hauteur.

V_{cr}: Volume de la crue correspondant au Q% en m^3.

$$Vcr = \frac{1}{2} q T_b \quad \text{(III. 54)}$$

Tb: temps global de la crue.

D'après le tableau III.22, Nous tracerons des courbes croissantes représentées dans la Figure III-20

La courbe H=f (q, Q) nous permet de définir la largeur du déversoir optimale ainsi que le débit correspondant.

A travers le tableau II.23, nous tracerons les courbes de variation des volumes déversés pour chaque largeur du déversoir, puisque la courbe V=f (q, Q) qui nous permet de faire le choix de la largeur du déversoir économique
(Voir Figure II-13).

Pour choisir la largeur du déversoir la plus économique, nous devons faire une étude d'optimisation (c'est ce qu'on appelle une étude technico-économique) qui nécessite la détermination des volumes des travaux pour chaque largeur du déversoir, du remblai et du béton.

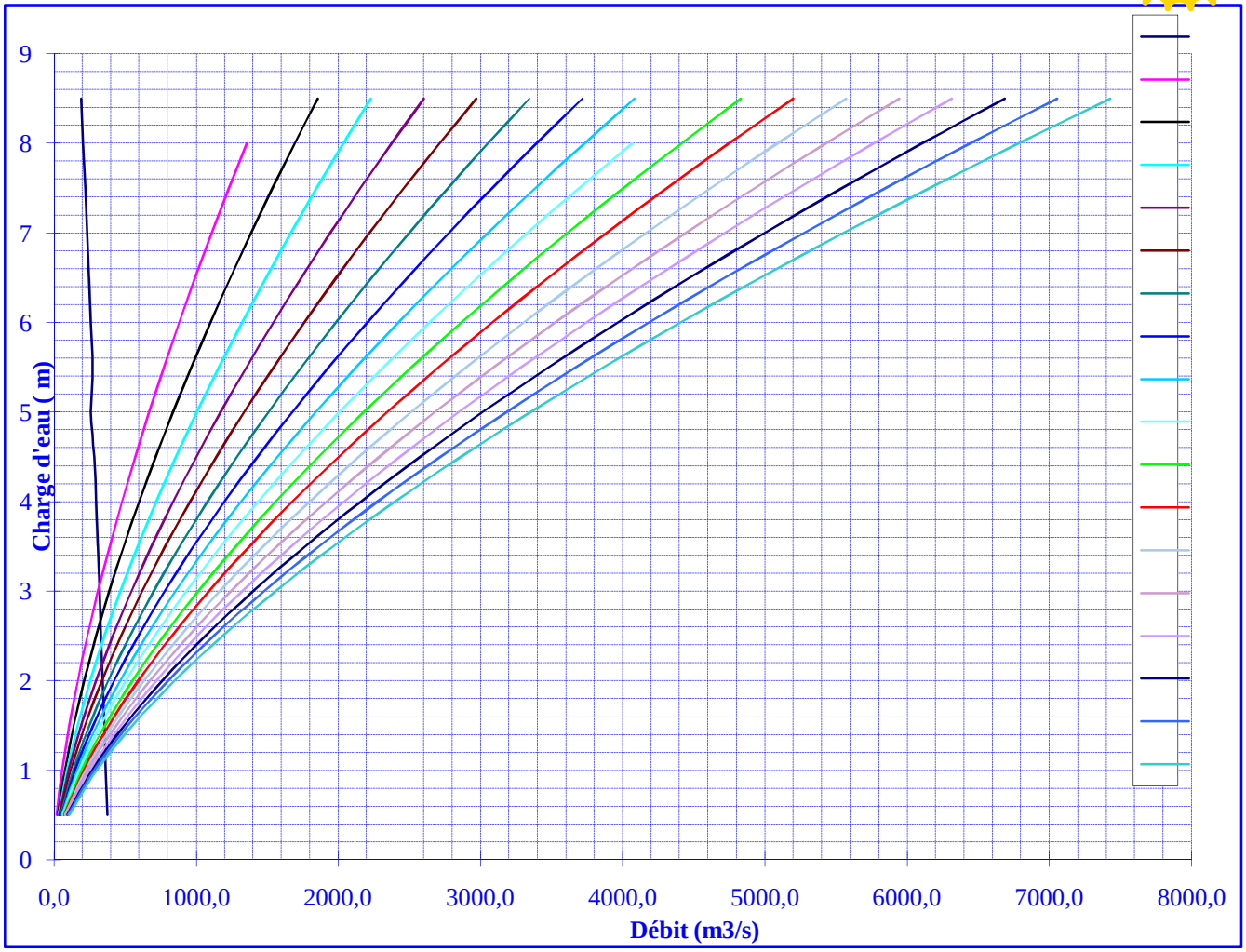


Figure II-12 : Courbes de H= f (Q, q)

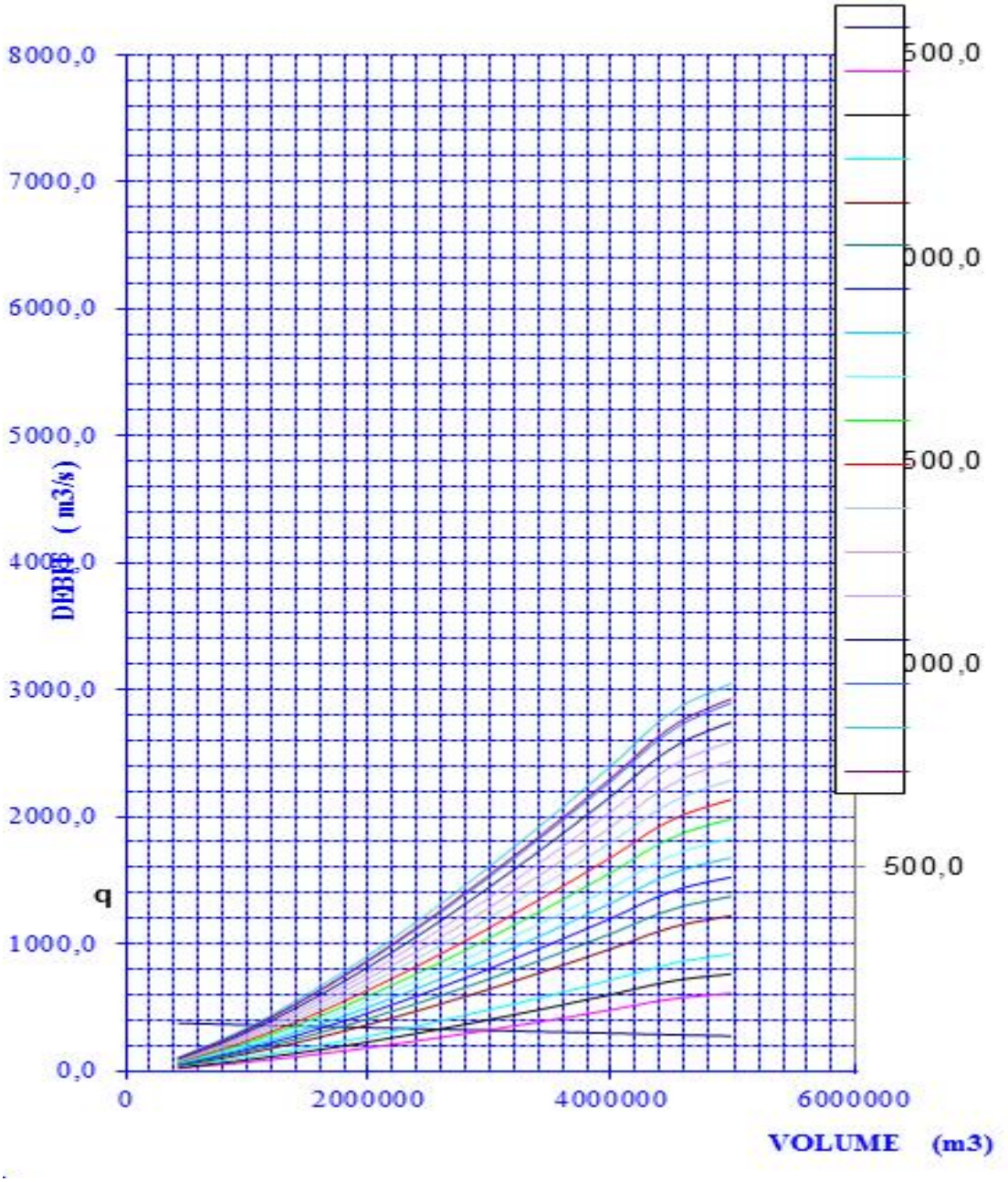


Figure II-13: Courbes de V= f (Q, q)

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Les caractéristiques de chaque largeur du déversoir proposé comme le débit évacuer, le volume forcé et la lame déversée sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II-24 : Tableau récapitulatif des résultats de la méthode de Kotchrine

b (m)	H (m)	NPHE (m)	q (m^3/s)	$Vf_{orcé}$ (m^3)
20	3	332.5	374.5	440000
25	2.68	332.18	363.8	918800
30	2.4	331.9	352.9	1407600
35	2.2	331.7	341.8	1906300
40	2	331.5	330.5	2414800
45	1.86	331.36	319.0	2933000
50	1.78	331.28	307.2	3460900
55	1.66	331.16	295.3	3998500
60	1.58	331.08	282.6	4565500
65	1.5	331	260.4	5565500
70	1.4	330.9	270.7	5102100
75	1.38	330.88	258.1	5668000
80	1.3	330.8	245.3	6243300
85	1.26	330.76	232.3	6827900
90	1.2	330.7	219.1	7421900
95	1.18	330.68	205.6	8025300
100	1.16	330.66	192.0	8638200

II.8 Etude d'optimisation

Le but de l'étude d'optimisation est de déterminer la largeur optimale de l'évacuateur de crue correspondante à la hauteur optimale de la digue, afin d'obtenir le devis le plus économique de l'aménagement. Le calcul consiste à évaluer le coût approximatif de l'ouvrage pour les différentes largeurs déversantes correspondantes aux différentes hauteurs de la digue.

II.8.1 Revanche

C'est la tranche comprise entre la crête du barrage et la côte des plus hautes eaux, elle est en fonction de la hauteur des vagues H, de la vitesse du vent U et de la vitesse de propagation des vagues V dans la retenue. La revanche minimale est donnée par la relation suivante :

II.8.1.1 Calcul de la revanche

Plusieurs formulas sont utilisées pour le calcul de la revanche :

a) Formule de STEVENSON GAILLARD

$$R = 0{,}75 + \frac{V^2}{2g} \quad \text{(III. 55)}$$

$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{F} - 0{,}26 \cdot \sqrt[4]{F} \quad \text{(III. 56)}$$

Avec :

V : Vitesse de propagation des vagues (m/s);

F : Largeur du plan d'eau suivant laquelle le vent souffle fréquemment et la direction du barrage appelée Fetch qui doit être supérieur à 18 kilomètres.

[F = 2.2km].

A.N :

$$H = 0.75 + 0.34 \cdot \sqrt{2.2} - 0{,}26 \cdot \sqrt[4]{2.2} = 0.87\text{m}$$

V=1,5+2.H=1,5+2.0,96 =3.24m/s

Donc :

$$R = 0{,}75 + \frac{3{,}24^2}{2.9{,}81} = 1.28\text{m}$$

b) Formule de MALLET et PAQUANT

$$R = 0{,}75 + \frac{V^2}{2g} \quad \text{..... (III. 57)}$$

$$H = 0{,}5 + 0{,}33\sqrt{F} \quad \text{..... (III. 58)}$$

Donc :

$H = 0{,}5 + 0{,}33\sqrt{2.2} = 0.9m$

$V = 1{,}5 + 2.H = 1{,}5 + 2*0.9 = 3.3m/s$

$$R = 0{,}75 + \frac{3{,}3^2}{2.9{,}81} = 1.3m$$

b) Formule Simplifiée

$$R = 1 + 0{,}3\sqrt{F} \quad \text{..... (III. 59)}$$

$R = 1 + 0{,}3.\ \sqrt{2.2} = 1{,}36m$

Conclusion : On prend la valeur la plus proche à la moyenne. Donc : **R=1,3m**

II.8.2 Tassement

Le tassement est calculé grâce aux formules suivantes :

- $T = 0.015\ H_b$ ..... (III. 60)
- $T = 0.001\ H_b^{3/2}$ ..... (III. 61)

D'où :

T=Tassement de la crête du barrage.

H_b=Hauteur du barrage.

Les tassements sont estimés à 0,73 m.

II.8.3 Largeur en crête : La crête facilite la circulation sur le barrage une fois terminé. Elle est nécessaire dans la finition de l'ouvrage avec des équipements de compactage. Le niveau de la crête définit la hauteur maximale que le barrage doit atteindre à terme.

La largeur de la crête dépend de plusieurs facteurs, notamment des risques de tremblement de terre et de la longueur minimum du chemin d'infiltration qui assure un gradient hydraulique suffisamment faible à travers le barrage lorsque le réservoir est plein. La largeur en crête peut être évaluée à l'aide des formules suivantes :

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

- Formule T.KNAPPEN $b=1{,}65H_b^{0.5}$…….. (III. 62)
- Formule E.F.PREECE $b=1{,}1H_b^{0.5}+1$…… (III. 63)
- Formule SIMPLIFIEE $b=3{,}6.H^{1/3}-3$…… (III. 64)
- Formule pratique $b=5/3\sqrt{Hb}$ …… (III. 65)

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

H_b= NNR – C_f + $h_{dév}$ + R + t+a …… (III. 66)

Tableau II-25 : Variation de la hauteur du barrage

b(m)	H(m)	NPHE(m)	q(m3/s)	V forcé (m_3)	R(m)	T(m)	a(m)	Cote de la crête(m)	H_b(m)
20	3	332.5	374.5	440000	1.3	0.3	0.6	334.7	49.7
25	2.68	332.18	363.8	918800	1.3	0.3	0.6	334.38	49.38
30	2.4	331.9	352.9	1407600	1.3	0.3	0.6	334.1	49.1
35	2.2	331.7	341.8	1906300	1.3	0.3	0.6	333.9	48.9
40	2	331.5	330.5	2414800	1.3	0.3	0.6	333.7	48.7
45	1.86	331.36	319.0	2933000	1.3	0.3	0.6	333.56	48.56
50	1.78	331.28	307.2	3460900	1.3	0.3	0.6	333.48	48.48
55	1.66	331.16	295.3	3998500	1.3	0.3	0.6	333.36	48.36
60	1.58	331.08	282.6	4565500	1.3	0.3	0.6	333.28	48.25
65	1.5	331	260.4	5565500	1.3	0.3	0.6	333.2	48.2
70	1.4	330.9	270.7	5102100	1.3	0.3	0.6	333.1	48.1
75	1.38	330.88	258.1	5668000	1.3	0.3	0.6	333.08	48.08
80	1.3	330.8	245.3	6243300	1.3	0.3	0.6	333	48
85	1.26	330.76	232.3	6827900	1.3	0.3	0.6	332.96	47.96
90	1.2	330.7	219.1	7421900	1.3	0.3	0.6	332.9	47.9
95	1.18	330.68	205.6	8025300	1.3	0.3	0.6	332.88	47.88
100	1.16	330.66	192	8638200	1.3	0.3	0.6	332.86	47.86

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Tableau II-26 : Résultats des largeurs en crête obtenues par les formules précédentes

Les formules utilisées	Les resultats obtenue							
	b=20m	b=25m	b=30m	b=35m	b=40m	b=45m	b=50m	b=55m
KNAPEEN	11,6322074	11,5946992	11,5617797	11,5382083	11,5145886	11,4980259	11,4885508	11,4743235
E .F.PREECE	8,75480496	8,72979948	8,70785314	8,69213884	8,67639238	8,66535061	8,65903388	8,64954901
Simplifiée	13,2359351	13,2074668	13,182456	13,1645329	13,1339511	13,1339511	13,1267346	13,115895
En pratique	11,7497045	11,7118174	11,6785654	11,6547558	11,6308975	11,6141676	11,6045968	11,5902258

	La largeur en crête								
Les formules utilisées	Les resultats obtenue								
	b=60m	b=65m	b=70m	b=75m	b=80m	b=85m	b=90m	b=95m	b=100m
KNAPEEN	11,4612663	11,4553263	11,443437	11,4410576	11,4315353	11,4267712	11,4196213	11,417237	11,4148522
E .F.PREECE	8,64084419	8,63688418	8,62895799	8,62737176	8,62102355	8,61784746	8,61308085	8,61149131	8,60990144
Simplifiée	13,105943	13,1014143	13,0923476	13,0905327	13,0832683	13,079633	13,0741763	13,0723564	13,070536
En pratique	11,5770367	11,5710366	11,5590273	11,5566239	11,5470054	11,5421931	11,534971	11,5325626	11,5301537

On opte pour une largeur optimale égale à **13**

II.9Calcul des coûts

II.9.1 Coût de la digue

Tableau III-27 : Coût de la digue

Largeur déversant (m)	Volume de la digue en (m^3)	Cout de la digue en (millions DA)
20	1.77	355.17
25	1.765	353
30	1.76	352
35	1.75	350
40	1.74	348
45	1.73	346
50	1.72	344
55	1.71	342
60	1.7	340
65	1.685	337
70	1.66	335
75	1.65	332
80	1.64	330
85	1.685	328
90	1.68	334
95	1.7	337
100	1.27	336

Pour les frais des talus de la digue amont et aval on prend respectivement 3 et 2, 5 mètre.
Le prix du mètre cube de remblai est estimé à 200 DA

II.9.2 Calcul du coût de l'évacuateur de crues

II.9.2.1 Coût du déversoir

Le déversoir sera construit en béton armé, de type profile Creager, celui-ci s'adapte mieux à l'écoulement puisque la lame déversante épouse toujours le profil, donc on aura une diminution des phénomènes hydrauliques dangereux (cavitation, dépression…), pouvant engendrer des dégâts importants et provoquant des problèmes d'instabilité de l'ouvrage.

Le coefficient de débit est m = 0.49

La section transversale du déversoir est obtenue en schématisant le profil du déversoir pour la charge déversante à l'aide de l'équation du profil donnée par :

$$\frac{Y}{H} = 0{,}47\left(\frac{X}{H}\right)^{1{,}80} \quad \text{..... (III. 67)}$$

Avec :

H : Charge sur le seuil;

Y : Ordonnée du profil (m);

X : Abscisse du profil (m).

Le volume du déversoir sera

$$V_{dev}=Sd_{ev}*L \quad \text{..... (III. 68)}$$

S : Section transversale (m^2).

L : Largeur déversante (m).

En fixant le mètre cube de béton à quinze mille dinars Algériens 7400 DA, le coût du déversoir pour les différentes largeurs déversantes sera de:

Tableau II-28 : Coût de déversoir.

Largeur déversante (m)	Volume du béton (m^3) 10^{-6}	Cout du déversoir (millions DA) 10^{-6}
20	22.2	164280
25	22.23	164559.27
30	22.26	164783.792
35	22.37	165550.432
40	22.61	167357.512
45	22.9	169517.794
50	22.95	169830
55	23.28	172281.531
60	24.06	178084.996
65	24.57	181857.96
70	24.73	183035.3
75	25.67	189989.82
80	26.68	197442.656
85	27.644	204569.67
90	28.62	211822.632
95	28.13	208192.044
100	29.045	214933

II.9.2.2 Calcul du coût du coursier

Nous optons pour un coursier de section rectangulaire pour assurer les bonnes conditions de l'écoulement. La longueur approximative du coursier est 65,8m (selon le plan topographique). A cet effet, le volume du béton de coursier est donné par :

$$V_{béton} = B_{éton} \times Lb_{éton} \quad \text{(III.69)}$$

L'épaisseur du radier et des murs bajoyers est de 0,5 mètre et le coût du mètre cube de béton est estimée 22000 DA/m^3.

La largeur du coursier est donnée par :

$$bcou=(Qe,max)^{0,4} \quad \text{(III. 70)}$$

Le Tableau ci-dessous, nous donne les résultats de calcul du coût du coursier pour les différentes largeurs déversantes.

Tableau II-29 : Coût de coursier.

Largeurs déversantes (m)	Débits déversants (m^3/s)	surface de béton (m^2)10^{+6}	volume de béton (m^3) 10^{+6}	coût total Millions (DA) 10^{+6}
20	1032.5	34.7	8156.56	60.35
25	1050.3	34.9	8213.5	60.77
30	1090.2	35.2	8321.3	61.57
35	1110.6	35.5	8421.3	62.31
40	1150.2	35.8	8523.5	63.073
45	1165.2	36	8652.1	64.02
50	1170	36.2	8723.1	64.55
55	1180.2	36.5	7895.6	58.42
60	1190.5	36.8	8002.9	59.22
65	1205.6	37	8052.1	59.58
70	1215.44	37.15	8174.72	60.49
75	1253.73	37.75	8306.43	61.46
80	1286.21	38.25	8414.97	62.27
85	1313.01	38.66	8505.31	62.93
90	1334.26	38.98	8576.33	63.46
95	1350.11	39.22	8627.96	63.84
100	1301.12	38.48	4866.3	36.01

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

II.9.3 coût total du barrage

Le coût total (Digue + Evacuateur de crues) est donné ci-dessous :

Le tableau III-47 qui récapitule le coût total du barrage

Tableau II-30 : Coût Totale de la Retenue.

Largeur déversant (m)	Cout de la digue (millions DA)10^{+6}	Cout de l'évacuateur de crue		Coût total (millions de DA) 10^{+6}
		Déversoir10^{+6}	coursier10^{+6}	
20	355.17	22,2	60,35	437.72
25	353	22,23	60,77	436
30	352	22,26	61,577	435.83
35	350	22,37	62,31	434.68
40	348	22,61	63,07	433.68
45	346	22,9	64,025	432.92
50	344	22,95	64,55	431.5
55	342	23,28	58,42	423.7
60	340	24,06	59,22	423.28
65	337	24,57	59,58	421.75
70	335	24,73	60,49	420.22
75	332	25,67	61,46	419.13
80	330	26,68	62,27	418.95
85	328	27,64	62,93	418.57
90	334	28,62	63,46	426.08
95	337	28,13	63,84	428.97
100	336	29,045	36,01	401.055

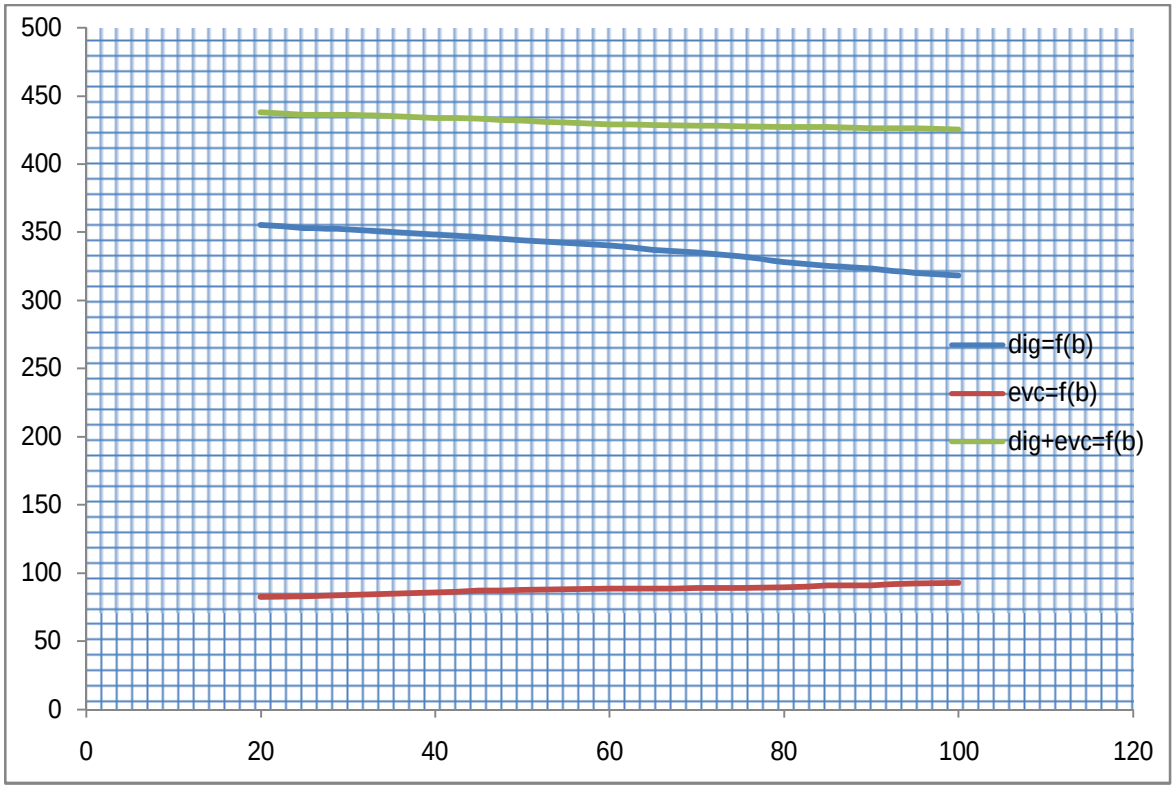


Figure II-14 : Courbe d'optimisation des coûts en fonction de la largeur b du déversoir.

Après avoir tracé la courbe d'optimisation de la digue, l'évacuateur de crue (respectivement les coûts en fonction de la hauteur) et au vu de cette figure, notre choix a été basé sur le coût total Optimal.

La courbe superposée des coûts totaux donne un point optimum correspondant à une largeur de déversoir optimale « b =90 m » Qui correspond Hb =47.9m.

On récapitule les résultats de l'étude de la régularisation et du laminage des crues dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-48 : Tableau récapitulatif de l'étude de la régularisation et du laminage

Dénomination	Unités	Valeurs
Volume mort	Mm^3	2.2
Volume utile	Mm^3	12.71
Volume au NNR	Mm^3	14.91
Cote du fond	m NGA	285
Cote NVM	m NGA	290
Cote NNR	m NGA	329.5
Cote en crête	m NGA	332.9
Largeur en crête	m	13

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

Chapitre III
Etude de variantes

Introduction

Le choix du type de barrage se fait en fonction des caractéristiques locales, en particulier de la nature du sol de fondation et de la forme de la vallée, des problèmes de transport et d'approvisionnement, des possibilités en matériel et en main-d'œuvre, de l'extraction des matériaux de construction de leurs zones d'emprunts ainsi que des conditions économiques.

La construction de la digue en matériaux disponibles aux environs du site de la retenue est un objet de première importance, la variante en béton est moins avantageuse du fait de la disponibilité des matériaux locaux à proximité du site.

III.1Choix du type du barrage

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

III-1-1 les variantes susceptibles d'être projetées sur le site

III-1-2 Selon les conditions géologiques et géotechniques

Comme nous l'avons déjà conclu dans le chapitre de l'étude géologique et géotechnique les caractéristiques géotechniques de la fondation sont médiocres la raison pour laquelle on écarte les barrages rigides

Tableau III-1 : les caractéristiques géomécanique de site

Localisation	Type de rocher	Densité	Résistance en compression simple (MPa)	Cohésion (KPa)	Angle de frottement	Module de déformation (MPa)
Unité 3 (Haute des rives)	grés, qualité moyenne	2.3-2.5	15	150	45°	1200
Unite2, unité1 (rives)	grés bonne qualité	2.3-2.5	25	200	50°	3000
Unité 1 (Base du barrage)	Sables et silts cimentés	1.6-2	0-10	0	30°	300
Veine charbonneuse	charbon	1.6	-	0	25°	1

III-1-3 selon les matériaux de construction

Nous avons quatre zones d'emprunts qui peuvent fournir des martiaux de construction

Tableau III-2 : les quantités des matériaux disponibles sur les zones d'emprunts

Zone d'emprunt	Type de matériaux	Quantité (m^3)
Av-F	Matériaux fin (50% d'argile)	2 500 000
Av-G3	Matériaux sablo- graveleux	250 000
Am-G1	Galet de nature gréseuse	250 000
Am-G4	Dépôt alluvionnaire	450 000

Comme nous remarquons dans le tableau nous disposons suffisamment de matériaux pour la construction du barrage en remblai

Nous pouvons conclure que les variantes qui peuvent être projetées sur notre site sont :

- ✓ 1er variante : digue en enrochement a masque en béton.
- ✓ 2eme variante : digue en remblai a noyau argile.
- ✓ 3eme variante: digue homogène.

III-2 le choix définitif du type du barrage

- ✓ Pour choisir l'une des variantes sélectionnées précédemment on fera une étude économique
- ✓ Pour les dimensions on prendra les paramètres adéquats sans vérification de stabilité

1eme variante : digue en remblai a noyau argile

- ✓ Le barrage à noyau est composé d'un noyau central, constitué d'un matériau imperméable, et de recharges, c'est-à-dire une couche supérieure qui recouvre les flancs du noyau. Les recharges peuvent être constituées d'enrochements ou d'alluvions. Elles permettent d'assurer la stabilité du barrage, alors que le noyau central assure son étanchéité.
- ✓ Plus stable qu'un barrage homogène, grâce aux recharges, les barrages à noyaux permettent de construire des talus plus raides. De plus le risque d'écoulement dans le corps du barrage est plus limité grâce à ces enrochements.

γ

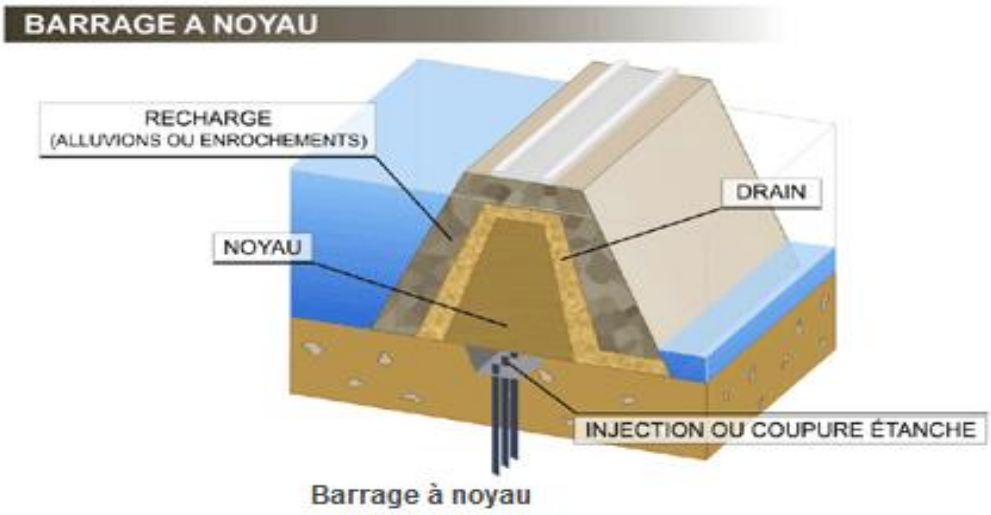


Figure III.01 : barrage à noyau

2eme variante: digue homogène

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

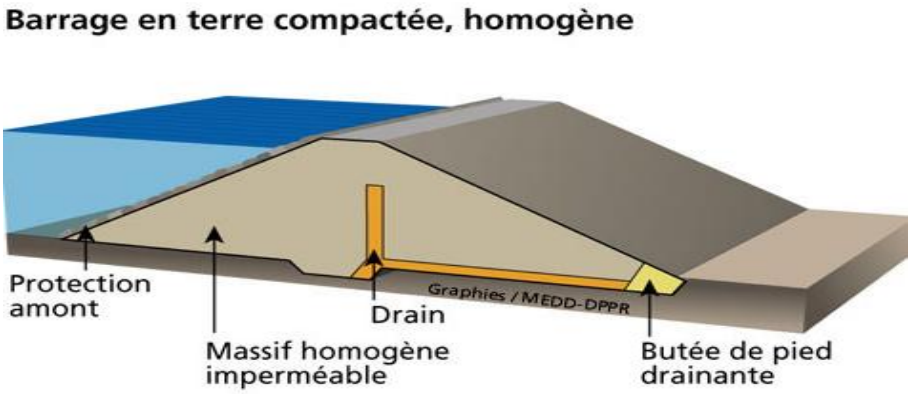


Figure III.02 : barrage homogène.

C) Barrage en enrochement avec masque :

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

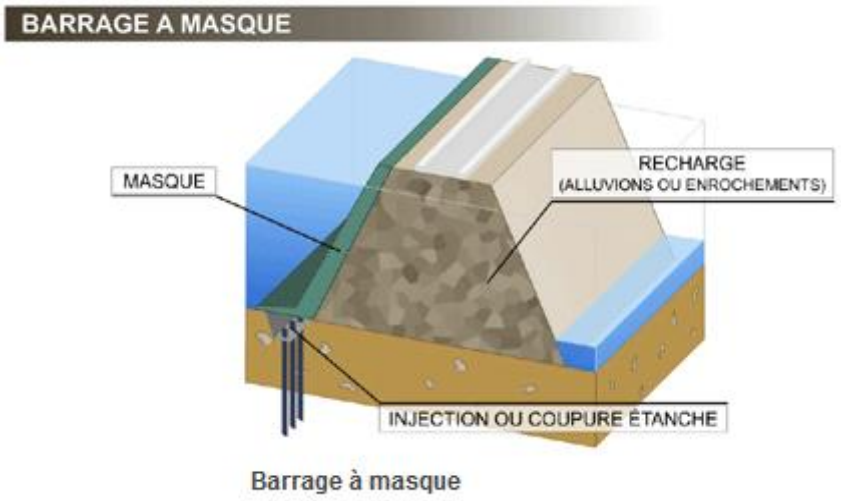


Figure III.03 : barrage à masque

III.3 Cote en crête du barrage :

- **Niveau des plus hautes eaux**

Le niveau des plus hautes eaux est égal au niveau normal de retenue (NNR= 329.51m) majoré de la charge déversant déjà déterminée (h = 1.2m).

$$NPHE = NNR + h$$

NPHE=330.7M

- **La revanche**

La revanche a été calculée préalablement dans l'étude d'optimisation et elle est de 1.3 m ce qui fait que la hauteur du barrage est de 47.9m.

Donc la cote en crête est :

NCR=332m

NCR=332M

III.4-Conception de la digue :

III.4.1. Largeur en crête :

La largeur en crête est calculée dans l'étude d'optimisation et elle est de 13m.

B_{CR}=13M

III.4.2. Longueur en crête :

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

L=305.78M

III.4.3 Pente des talus

Tableau III.3: Valeurs indicatives des pentes des talus (CEMAGREF)

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H<5	- Homogène	2,5	2
	- A zones	2	2
5<H<10	- Homogène granulométrie étendue	2	2
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2	2,5
10<H<20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3	2,5
	- A zones	3	3
H≥20	-hommogéne granulométrie étendue	3	2.5
	-Azones	3	3

D'après le tableau qui donne les pentes des talus en fonction de la hauteur et de type de barrage

On choisit pour les calculs les pentes:

- Parement amont m_1= 3.2
- Parement aval m_2 =3

On vérifiera ça après étude de stabilité des talus.

III.4.4 Les bermes

Généralement, on prévoit une berme tous les 15m a 20m, ce ci permettra d'effectuer des contrôles sur la digue et de procéder à d'éventuelles réparations sur le talus et d'augmenter la stabilité du parement, aussi pour protéger le talus aval contre l'érosion due au ruissellement des eaux pluviales et de la fonte des neiges.

Pour notre cas, on prévoit :

III.4.5.1Talus amont :

trois bermes en aval aux cotes :

1^{er} Cote 297.5avec largeur de 3mm.

2^{eme} Cote 312m NGA largeur de 3mm

3^{eme} Cote327.02m NGA largeur de 3mm

III.4.5.2Talus aval :

Quatre bermes en aval aux cotes :

1^{er} Cote 288.2avec largeur de 3mm.

2^{eme} Cote 298.2m NGA largeur de 3mm

3^{eme} Cote308.20m NGA largeur de 3mm

4^{eme} Cote318.20m NGA largeur de 3mm

III.4.6 Protection des talus

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

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

III.4.6.1Talus aval

Sera protégé contre l´érosion par un enrochement qui doit être réalisé immédiatement après l´achèvement des travaux de terrassement, en ayant soins de recouvrir le parement d´une couche de terre végétale de 5 à10 cm.

III.4.6.2Talus amont

Sera protégé par un parement en rip-rap d´enrochement.

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

- **$1^{ère}$méthode**

$$e = cv^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV-4)}$$

e: épaisseur de l'enrochement en (m).

v: vitesse de propagation des vagues=3.24m/s.

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

Tableau III.4: Valeurs de C en fonction des pentes de talus et δ.

Pente du talus	Valeurs de *c* pour différents poids spécifiques		
	$\gamma = 2{,}5\ g/cm^2$	$\gamma = 2{,}65\ g/cm^2$	$\gamma = 2{,}8065\ g/cm^2$
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	0,030
1/1	0,047	0,041	0,038

On prend $c = 0{,}028$.

$$e=0.29M$$

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

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

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

Pour notre cas, 0.6<H<1.2m .

$$e=0.45M$$

$$D_{MIN}=0.3M$$

En analysant les résultats obtenus, on adopte pour la suite du dimensionnement de la digue une épaisseur de couche e = 45cm et un diamètre moyen de 30cm. Donc une protection du talus amont d'une épaisseur de 45cm d'enrochement avec 30cm de filtre (lit de gravier et sable).On a opté pour une couche de 30cm de l'herbe.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

III.4.7 Le noyau pour la variante

Le noyau doit être monté au-dessus du niveau des plus hautes eaux jusqu´a la crête du barrage. il doit être protégé a sa partie supérieure par une sable ou de préférence, en traitant le sommet du barrage en chemin avec une chaussée enrobé bitumineux

Latéralement, nous disposons de part et d´autre du noyau un drain filtre

III.4.7-1. DIMENSIONNEMENT DU NOYAU

L'étanchéité du barrage de la variante I est assurée par un noyau imperméable qui empêchera l'eau de passer à travers le corps de la digue limitant ainsi sensiblement le débit de fuite.

Il est impératif de descendre le noyau jusqu'au substratum pour permettre une bonne étanchéité. Il n'existe pas de règles générales pour le dimensionnement du noyau.

La meilleure solution est de tenir compte de la perméabilité des recharges puis procéder à la vérification de la condition suivante:

$$I = \frac{\Delta H}{b_{moy}} \leq I_{adm} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(IV-5)}$$

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

b_{moy}: largeur moyenne du noyau.

ΔH: la charge d'eau (H_2-H_1= 44.51m).

Le tableau suivant nous permet de choisir les valeurs:

Tableau III.5: Valeur de I_{adm} en fonction du type d'ouvrage.

Type de sol	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1,5	1,5	1,8	1,95
Limon	1.05	1.15	1.25	1,35
Sable moyen	0,7	0,8	0,9	1,00
Limon sableux	0,51	0,65	0,75	0,85
Sable fin	0,45	0,55	0,65	0,75

Le barrage appartient à la II^{ème} classe alors on prend I_{adm}=1,8

b_{moy}=44.51/1.

B_{MOY} =24.72M

La largeur en crête minimale du noyau est:

$$b_{min} = 1/6.H_b$$

$$b_{min} = 7.98m$$

Donc on adopte:

B_{MIN} =7.98M

De la hauteur du noyau on tire la largeur à la base du noyau, la hauteur du noyau est:

$$H_n = H_b - 1 = 46.9m$$

H_N=46.9M

La largeur en base est :

La pente du talus amont et aval du noyau est : $m_1 = m_2 = (b_{moy} - b_{min})/ (2*H_n)$

$$m=0.15$$

$$2.\ m.Hn + b_{min} = 22.05m$$

III.4.7.2 La côte en crête du noyau :

$N_{C\,N} = C_{f\,ond}$ + 46.9= 331.9m.NGA

B_{BASE}=22.05M

III.4.7.2 Etanchéité de la fondation

a. Clé d'étanchéité

Une clé d'étanchéité est prévue dans la continuité de la digue en argile afin d'assurer une bonne liaison entre la fondation et le corps de la digue. Elle doit être réalisée lorsque la fondation imperméable n'est pas atteinte après décapage, dont ce dernier est réalisé sur une épaisseur de l'ordre de 1m. La hauteur de la clé d'étanchéité est de 4 m et sa largeur en base est de 23m, indispensable pour la circulation des engins.

b-Fondation

L'exigence essentielle pour la fondation d'un barrage c'est de garantir un support stable pour remblai sous toutes les conditions de saturation des charges, et de garantir une résistance suffisante à l'infiltration contre les renards et les pertes d'eau.

Dans le cas de ce barrage l'infiltration est très minime donc la fondation présente une bonne étanchéité naturelle et on la renforcée par une clé d'encrage.

III.4.7.3 Drainage du barrage

Pour éviter le phénomène de RENARD (l'ennemi silencieux des barrages), les sous pressions et pressions interstitielles dans le corps du barrage, on prévoit un dispositif de

drainage qui a pour rôle d'intercepter les eaux d'infiltration, et de les faire sortir en aval du barrage sans causer de dégât préjudiciable au barrage.

Les dispositifs drainant les plus appropriés pour remplir ces fonctions sont :

a. Drain prisme

C'est le type de drain le plus rependu, ayant donné des satisfactions en pratique pour son efficacité. Sa réalisation est difficile et demande une grande main d'oeuvre. La section transversale du drain prisme a une forme trapézoïdale avec des fruits des parements du coté amant du barrage pas moins de 1,25 et du coté aval pas moins de1, 5. La largeur en crête du drain prisme doit être fixée selon les normes de construction, mais ne pourra en aucun cas être utilisée comme route ou piste. La largeur en crête du drain prisme est de l'ordre de 1/4-1/3 de sa hauteur, mais pas moins de 1.

Approximativement on considère que la hauteur du drain prisme atteint 0,15-0,20 fois la hauteur du barrage.

b. Drain tapis

Pour intercepter les infiltrations dans le massif du barrage, on dispose habituellement dans la partie aval du massif et au contact de celui-ci avec les fondations, un drain tapis filtrant. Ce drain s'étend sur 1/4 à 1/3 de l'emprise du barrage. Le dispositif d'étanchéité étant choisi, il important de réaliser un dispositif de drainage efficace. L'avantage du drain tapis est sa capacité de drainer les fondations du barrage. Ce drain est destiné à rabattre la ligne phréatique à l'intérieur du massif.

En considérant la mise en place, et le nivelage des filtres avec des engins, l'épaisseur de chaque couche ne doit pas être inférieure à 0,2m.

III.4.8 Dispositif des drains et filtres

III.4.8.2-Les drains

a) Dimensionnement du Drain tapis

L_d : longueur du drain tapis en m $L_d=1/3\ L_b$

L_b : largeur transversale du barrage (L_b=318.4m)

On trouve :

$$L_D=106.13\ m$$

b) Dimensionnement du drain prisme

1) Hauteur

$$H_p= (0,15\div0,2)\ H_b$$

H_b : Hauteur du barrage (H_b=47.9m)

On prend $H_p = 0.15H_b$

On aura

$$H_P = 7.185m$$

2) Largeur en crête

$b_p = (1/3 \div 1/4)\ h_P$

On prend $b_p = 1/3 h_P$

Ce qui donne:

$$B_P = 2.395m$$

2) Fruits des talus

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

$m_2 = (1{,}5 \div 2{,}5)$ on prend

$$m_1 = 1.25$$
$$m_2 = 2$$

III. 4.8.3 Calcul des filtres :

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

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

III.4.9.Détermination de la courbe granulométrique des filtres

Les filtres jouent un rôle considérable dons la sécurité des barrage en terre, permettant de baisser le niveau de la ligne phréatique et assurer l´évacuation libre de l´eau de filtration, ainsi la prévention de l´utilisation de tel sol comme une couche de transition, peut être effectuer selon les recommandation de TERZAGUI .

$D_{15}/D_{85} < 4$

D_{15} =0.4mm:(enrochement) diamètre des particules à15٪

D_{85} =0.05mm (gravier) diamètre des particules à85٪

D_{15}/D_{85}=8>4

Condition de TERZAGUI est vérifiée donc, ce qui veut dire qu' il faut prévoir une couche filtrante comme couche de transition dont la granulométrie est la suivant:

D_{15}^{f}=(3÷4) D_{85}=(3÷4)*0.05

D_{15}^{f} =0.2mm

III.5. Estimation du coût des variantes :

Le tableau suivant donne les différents coûts des variantes

Tableau III.6: les coûts des variantes étudiées.

Variante	Matériaux	Quantité (m^3)	Prix unit (DA)	Coût (DA)	Totale (DA)
masque	Recharge (argile)	1807956.15	400	723182460	**848040000**
	Enrochement (rip-rap)	36064.08	800	28851264	
	Filtres et drains	80005.23	1200	96006276	
Zoné	Noyau	429889.76	500	214944880	**847202448**
	Recharge (graves)	1285742.51	400	514297004	
	Enrochement (rip-rap)	36064.08	800	28851264	
	Filtres et drain	74257.75	1200	89109300	
remblai	Recharge	1965338.28	800	1572270624	**1781550612**
	Masque en béton	15024.23	12000	180290760	
	Filtre et drain	24157.69	1200	28989228	

Conclusion :

On voit bien que les deux première variantes sont presque identiques du coté cout de construction, et beaucoup moins cher que la troisième variante, qui est le barrage en remblai et qui sera exclu.

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

Chapitre IV
Conception de la digue

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Introduction

Après l'étude des variantes faite dans le chapitre précédent, nous avons opté pour la deuxième variante à savoir barrage zoné à noyau d'argile.

Dans ce présent chapitre nous allons étudier la conception et l'étude détaillées de la digue.

IV.1 Conception de La Digue

IV.1.1 la revanche du barrage

Un barrage en remblai ne supporte pas la surverse, ni le déferlement de vagues par-dessus la crête, sinon le talus aval et la crête du barrage seraient alors assez rapidement érodés, le phénomène pouvant aller jusqu'à l'ouverture d'une brèche ; ce risque de déferlement de vagues doit être circonscrit par l'adaptation d'une revanche suffisante entre le PHE et la côte de la crête. Le dimensionnement de la revanche tient compte de la hauteur potentielle des vagues (elle même en fonction de la vitesse du vent et de la longueur du plan d'eau) et de l'effet de projection de l'eau vers la crête lorsque les vagues viennent buter contre le talus amont.

R =1.3 m.

IV.1.2 la Hauteur du barrage

Elle est donnée par la relation :

$$H_b = h_{NRN} + R + t \quad \text{.....(IV.01).}$$

H_{NNR} : Hauteur au niveau normal de la retenue déterminée [m] ;

h_f : Hauteur d'eau correspond au volume forcé en [m] ;

R : Revanche du barrage en [m];

t : Tassement [m] ;

$$H_b = 44.5+1.3+1.18+0.9 = \mathbf{47.88m.}$$

Donc on prend :

$$H_b = \mathbf{47.88m.}$$

IV.1.3 largeur en crête :

La largeur du couronnement est fixée à **13 m .**

IV.1.4 Classification de l'ouvrage :

La classification est basée sur la constitution de l'ouvrage et sa fondation et en particulier sur les risques attendus à l'aval en cas de rupture de l'ouvrage.et pour connaitre la classe de notre barrage nous avons le tableau suivant :

Tableau III.01 : Classe de barrage en terre en fonction du type de la fondation

TYPE DE SOLS DE FONDATION	CLASSES DE BARRAGES			
	I	II	III	IV
	Hauteurs de barrage (m)			
Sols rocheux.	>100	70 ÷100	25÷75	<25
Sols sablonneux, pierreux, terrain argileux non plastique.	75	35÷75	15÷35	<15
Terrain argileux plastique.	>50	25 ÷50	15÷25	<15

D'après le tableau IV.01notre Barrage apparient à la classé dans la troisième catégorie d'ouvrage.

IV.1.5 Les bermes :

Pour des hauteurs dépassant les (10÷15) mètres de la digue en prévoient des bermes, qui auront un rôle dans l'optimisation des fruits de talus d'autres objectifs tels que l'accès pour la réparation des talus. Les bermes sont de (2 ÷ 3) mètres de largeur et de pente 3 %.

A - talus amont :

Les bermes sont projetées au niveau du parement amont, afin de permettre d'effectuer les contrôles, les réparations et augmenter la stabilité des talus, pour notre cas nous avons proposées une berme à la cote297.6,312,327.07 m NGA avec (cote du batardeau).

B - talus aval :

Les bermes au talus aval servent à l'évacuation des eaux de ruissellement, donc nous aurons quatre bermes de largeur 3 m aux cotes suivante : 288.2mNGA, 298.2mNGA, 308.2mNGA, 288.2mNGA.

IV.1.6 Pentes des talus :

Les pentes des talus sont fixées par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations.

Pour les massifs, on donne des pentes qui paraissent optimal, comme montre le tableau ci-après:

Tableau III.02 : Valeurs indicatives des pentes des talus.

HAUTEUR DU BARRAGE (M)	TYPE DU BARRAGE	FRUIT DES TALUS	
		Amont	Aval
H<5	- Homogène - A zones	2,5 2,0	2.0 2,0
5<H<10	- Homogène granulométrie étendue - Homogène à fort % d'argile - A zones	2,0 2,5 2,0	2,0 2,5 2,5
5<H<10	- Homogène granulométrie étendue - Homogène à fort % d'argile - A zones	2,5 3,0 3,0	2,5 2,5 3,0
H >20	- Homogène granulométrie étendue - A zones	3,0 3,0	2,5 3,0

D'après le tableau qui donne les pentes des talus en fonction de la hauteur et de type de barrage .on choisit les pentes des talus, ce qui va être vérifié après calcul de la stabilité.

Pour les talus on prend :

- Fruit amont est : m_1=3.2
- Fruit aval est : m_2= 3

IV.1.7 Protection des talus :

Les talus d'un barrage sont sensibles à l'érosion due au ruissellement des eaux des pluies, aux renards provoqués par le ressuyage des eaux de saturation du barrage, en ce qui concerne le parement amont à l'attaque des vagues, il y a lieu donc en général de prévoir une protection pour les talus.

A - le talus aval :

Il sera protégé contre l'érosion par un enrochement qui doit être réalisé immédiatement après l'achèvement des travaux de terrassement, en ayant soins de recouvrir le parement d'une couche d'herbe de 30cm pour plus de sécurité.

B - le talus amont :

Il sera protégé par une couche d'enrochement.

Pour déterminer l'épaisseur de cette couche, on utilise la méthode de « U.S.ARMY ».

Les valeurs de l'épaisseur minimum de la couche d'enrochement et D_{50} min sont données par le tableau III.03.

Tableau IV.03 : Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues.

HAUTEUR DES VAGUES (M)	EPAISSEUR MIN DE LA COUCHE D'ENROCHEMENT (M)	D_{50} MIN (M)
0 à 0,3	0,3	0,20
0,3à 0,6	0,4	0,25
0,6à 1,2	0,45	0, 30
1,2 à 1,8	0 ,55	0,40
1,8 à 2,4	0,70	0,45
2,4 à 3,0	0,80	0,55

Pour notre cas, 0.6<H<1.2 m e = 0,45 m.

$$D_{50} \text{ min} = 0,30 \text{ m}$$

Pour plus de sécurité nous prenons une épaisseur égale à 0,5 m.

IV.1.8 Drainage de la digue :

Le drainage interne est d'une importance vitale pour la fiabilité et la sécurité des barrages en remblai tout au long de leur vie. Il constitue le paramètre le plus significatif du point de vue de la stabilité sous chargements statique et dynamique si on n'utilise pas un système de drainage bien adapté pour le remblai, les résurgences sur le talus aval peuvent provoquer une érosion entraînant la rupture du barrage, de ce fait il convient de bien concevoir le système de drainage qui pourrait constituer une bonne méthode pour construire des barrages dans des conditions sures et économiques et cela en assurant leur protection par des filtres aux interfaces entre zones de matériaux présentant des granulométries et perméabilités largement différentes.

IV.1.8.1 But du drainage :

Quel que soit le dispositif d'étanchéité utilisé, un barrage en remblai et sa fondation sont le siège d'infiltration d'eau soit structurelles soit accidentelles.

La fonction du drainage est d'intercepter les débits d'infiltration afin d'éviter que leur résurgence incontrôlée à l'aval ne nuise à la stabilité de l'ouvrage.

En effet, le drainage dans les barrages en remblai vise à répondre d'une manière aussi efficace que possible aux objectifs suivants :

a) Abaissement de la ligne de saturation ;

b) Réduction de la pression de courant avec modification du réseau de d'écoulement

c) Réduction de la pression interstitielle ; Contrôle des percolations et du non migration des éléments du remblai.

IV.1.8.2 Constitution et fonctionnement des filtres et drains :

IV.1.8.2.1 les filtre :

Lorsque le matériau constitutif du drain ne respecte pas les conditions de non entraînement des particules fines du massif à drainer, on interpose alors un filtre entre les deux matériaux, sa fonction principale est de retenir ces particules du sol drainé tout en permettant à l'eau du sol de s'écouler dans la zone drainante constituée de matériaux grossiers.

Ils peuvent être situés :

- Entre deux couches de sol adjacentes dont les granulométries sont assez différentes pour que les éléments de l'un des sols puissent migrer dans l'autre sol ;

- Entre un sol à granulométrie fine, qui doit être drainé, et les matériaux relativement grossiers et perméables constituants les drains;

- A l'interface entre un remblai de granulométrie fine et une fondation très perméable où l'écoulement peut éroder les particules fines du remblai ;

- Sous et au-delà du pied aval du barrage ;

- Sous les recharges drainantes.

Les filtres peuvent être constitués des couches successives de matériaux perméables, de granulométries de plus en plus fines assurant la transition entre le drain et les éléments fins du milieu à drainer.

De nos jours, on remplace souvent ces filtres granulaires naturels ou concassés par des géotextiles issus de l'industrie du textile et se présentent en rouleaux de longueur variable offrant ainsi l'avantage d'être économique et une facilité de mise en œuvre par rapport aux filtres à base de plusieurs couches de matériaux calibrés.

IV.1.8.2.2 les drains :

La fonction principale des drains est la maîtrise des percolations d'eau dans le corps du barrage. Il y aura abaissement de la ligne de saturation, diminution de la pression d'écoulement et de la pression interstitielle, et accélération de la consolidation.

Le matériau utilisé pour un drain doit avoir une perméabilité plus élevée que celle du sol drainé. Le gravier, de granulométrie fine à grossière est un matériau idéal, si elle est bien appropriée, la roche exploitée peut être également utilisée. Ces matériaux sont disposés en bandes, en couches minces ou en cheminée. Ils doivent être inaltérables, parfaitement propres et en conséquence soigneusement lavée si nécessaire. Leur granulométrie est adaptée de façon à respecter les règles de non entraînement des fines particules du matériau adjacent.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

A - Règles générales de dimensionnement des drains et filtres :

Dans les passages ultérieurs, nous avons fait allusions à plusieurs reprises aux conditions de non entraînement des fines particules encore dénommées "conditions de filtres", la référence usuelle en la matière est celle des règles de TERZAGUI.

Elles s'énoncent comme suit :

Soit dx la dimension caractéristique du matériau fin à drainer, c'est-à-dire le diamètre du tamis pour lequel on enregistre x% en poids dépassant lors du tamisage granulométrique Soit D_x celle relative au matériau adjacent (plus grossier) constitutif du filtre ou du drain.

- Condition de perméabilité. $\frac{D_{15}}{d_{15}} > 5$;
- Condition de non entraînement des fines $\frac{D_{15}}{d_{85}} < 4$

Ces deux conditions se réunissent dans la formulation suivante :

$$4.\ d_{85} > D_{15} > 5.d_{15}$$

Le plus souvent, on peut choisir un matériau drainant suffisamment perméable et satisfaisant directement à cette double condition, la mise en place d'un filtre est alors inutile. En outre, pour s'assurer de la stabilité interne du matériau filtrant ou drainant on devra s'assurer de la condition d'uniformité à savoir :

$$2 < \frac{D_{15}}{d_{15}} > 5$$

Ces règles étant établies, dimensionnons à présent ces différents composants du système de drainage à savoir les filtres et les drains.

IV.1.8.3 Calcul des drains :

Un drain cheminé, connecté avec un drain de pied, collectera les eaux de percolation dans la digue, évitant ainsi tout entraînement de matériau au travers du parement aval tout en réduisant les sous pressions de la recharge aval (augmentation de la stabilité). Le drain cheminé est incliné à 60° environ par rapport à l’horizontale pour raccourcir la longueur totale des drains.

B- Dimensionnement du drain tapis :

Il s'agit de déterminer la longueur du drain tapis suivant la relation :

$$L_d = \frac{L_b}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (III.04)$$

L_d : Longueur du drain tapis en mètres ;

L_b : Longueur transversale du barrage [Lb= 305.78 m].

Donc : $L_d = \frac{305.78}{3}$ **=106.13m**

La largeur du drain est déterminée par la formule suivante :

$$l_d = \frac{1}{2}\left(\sqrt{L^2 + H^2} - L\right) \text{.....(III.05)}$$

l_d : Largeur du drain nécessaire (m) ;

L : Distance horizontale entre la retenue et le drain (m);

H : différence de charge entre la retenue et le drain (m) ;

$$l_d = \frac{1}{2}\left(\sqrt{130.5^2 + 44.5^2} - 130.5\right) = 3.7 \text{ m}$$

C - Dimensionnement du prisme aval :

a- Fruits des talus :

m_1 = $(1 \div 2)$ on prend m_1=2.

$m_2 = (2{,}5 \div 3)$ on prend m_2=3.

b - hauteur du drain :

$h_{dr} = (0{,}15 \div 0{,}2)\ H_b$

D'où : H_b : Hauteur du barrage ;

AN:

h_{dr} =0,15.47.9 =7.1 m.

c - largeur au sommet :

Elle est donnée par : $b_{d\,r} = l_d = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{4}\right).h_{dr}$

$b_{dr} = \frac{1}{3} h_{dr}$

$b_{d\,r}$ = 2.39 m

d - largeur en base du drain :

Elle est exprimée par : $B = b_{d\,r} + (m_1 + m_2)\ h_{dr}$

B= 37.8 m.

IV.1.8.4 Calcul des filtres :

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

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

IV.1.8.5 Détermination de la courbe granulométrique des filtres

Les filtres jouent un rôle considérable dons la sécurité des barrage en terre, permettant de baisser le niveau de la ligne phréatique et assurer l´évacuation libre de l´eau de filtration ,ainsi la prévention de l´utilisation de tel sol comme une couche de transition ,peut etre effectuer selon les recommandation de TERZAGUI .

$D_{15}/D_{85} < 4$

D_{15} =0.4mm:(enrochement) diamètre des particules à15٪

D_{85} =0.05mm(gravier) diamètre des particules à85٪

D_{15}/D_{85}=8>4

Condition de TERZAGUI est vérifiée donc ,ce qui veut dire qu' il faut prévoir une couche filtrante comme couche de transition dont la granulométrie est la suivant:

D_{15}^{f}=(3÷4) D_{85}=(3÷4)*0.05

D_{15}^{f} =0.2mm

IV.2 Etanchéité du barrage :

Même si la fondation rocheuse est réputée imperméable, un voile injecté au droit de la clé de la digue complètera l'étanchéité de la digue.

IV.2.1 La clé d'ancrage :

En principe, le remblai peut reposer directement sur les sédiments. Ils sont étanches et ont été consolidés par les milliers d'années de dépôt. Il faut toutefois noter que localement des dépôts granuleux ont été observés à proximité du substratum rocheux, à la base des sédiments. Ce constat implique de prévoir une clé de remblai jusqu'au rocher afin de réduire les risques de fuite au travers de ces sédiments peu étanches. Les matériaux excavés pour la réalisation de cette clé pourront être réutilisés pour le remblai. La profondeur de la clé d'encrage est exécutée jusqu'à 4 m, Les talus m_1=m_2=1.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

IV.2.2 Protection de la crête :

La crête doit être constituée de matériaux insensibles à l'eau, et à la circulation des véhicules, la couche de protection doit être méthodiquement compactée (une couche de gravier bitume bien compactée). Pour le barrage homogène, on s'attachera à prévoir une épaisseur de recouvrement suffisante les matériaux de la couche de crête.

La crête est profilée soigneusement, afin d'empêche toutes stagnation des eaux (pour éviter les infiltrations dans le corps du barrage), on préconise, en ce sens, d'adopter un dévers amont uniforme de 2% qui permet d'évacuer les eaux de pluie vers le parement amont (mieux protégé).

Conclusion :

D'après l'étude détaillée de notre variante, on a retenu les résultats suivants :

- ✓ Type du barrage : terre homogène ;
- ✓ Classe de l'ouvrage : deuxième catégorie ;
- ✓ Hauteur : 47.9 m ;
- ✓ Fruit amont : m_1=3.2 ;
- ✓ Fruit aval : m_1=3,0 ;
- ✓ La largeur du couronnement : 13 m ;
- ✓ Longueur transversale du barrage : 305.78 m ;

V.3 Calcul des infiltrations à travers la digue et la fondation

Les infiltrations d'eau à travers le corps du barrage en terre et sous ses ouvrages se produisent sous l'effet de la charge d'eau au bief amont.

Les statistiques montrent que plus de 50% des avaries graves sur les barrages sont dues aux infiltrations, c'est pourquoi il faut toujours faire un calcul sur les infiltrations. Donc, établir la position de la ligne phréatique ou la ligne de saturation dans le massif de la digue et déterminer le gradient de filtration à travers l'ouvrage et le sol de fondation

Les infiltrations qui se produisent à travers le corps du barrage et ses fondations doivent être considéré sous deux aspects différents, d'une part, elles réduisent le volume emmagasiné, et d'autre part, elles peuvent compromettre la stabilité de l'ouvrage. Ceci sous l'influence de l'effet de renard, qui est un processus d'érosion régressive souterraine où l'eau s'infiltre sous pression permettant l'apparition des cheminements à travers la digue ou la fondation avec entraînement des particules fines et des pressions de filtration.

Les infiltrations permettent de déterminer les éléments suivants :

- la ligne de saturation du massif du barrage.
- le débit de fuite.
- la pression de l'eau interstitielle dans le massif.
- La zone submergée du corps de la digue.

-Hypothèse de calcul

Afin d'effectuer les calculs de filtrations, d'une manière aisée, nous serons amenés à :

- admettre la filtration dans un seul plan.

- prendre comme valeurs nulles, les composantes des vitesses qui ont la direction perpendiculaire à ce plan.

- supposer que le sol du massif du barrage soit homogène, isotrope et que la couche imperméable avec un coefficient de filtration nul.

- La position de la ligne phréatique ne dépend pas de la qualité du sol, elle est seulement déterminée par les dimensions de la section transversale du barrage.

IV.3.1 Ligne de saturation

La ligne de saturation est la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique est nulle. Elle est appelée aussi « ligne phréatique ».

Il est nécessaire de déterminer le tracé de la ligne de saturation pour estimer le dédit de fuite à travers le corps du barrage et apprécier les risques d'émergence de l'eau qui est particulièrement dangereuse, le long du talus aval. Ce tracé est effectué à partir du cas théorique simple, étudié par KOZENY, d'un écoulement plan à travers un massif perméable reposant sur une fondation plane imperméable. Ainsi, elle partira d'un point situé à l'intersection du plan d'eau du parement amont.

D'après KOZENY, c'est une parabole d'équation :

$$X=\frac{Y_0-Y_0^{\,2}}{2.Y_0} \quad \text{.....(V.14)}$$

On ce reportant à la figure on à :

$$Y0=\sqrt{h^2+d^2}-d^2 \quad \text{.....(V.15)}$$

Avec :

d : Largeur en base du barrage diminuée de 0,7b.

b : Projection horizontale de la partie mouillée du parement amont ;(Déterminé graphiquement).

h : Hauteur d'eau en amont.

On détermine la ligne de saturation pour une hauteur d'eau correspondant au niveau normal de la retenue normale.

-Niveau de la Retenue Normale (NNR):

Au niveau normal de la retenue :

b= 5.86m

B=24.72m

L'emprise de barrage : L_b = 318.4m

d = B– 0,7 .b d'où d = 20.61 m

On aura donc : Y_0 = 17.7m.

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

$Y=\sqrt{313.29+35.4X}$

Tableau V-05 : Coordonnées de la ligne de saturation

X	Y
0	17,7
5	22,142493
10	25,831957
15	29,056669
20	31,957628
25	34,616326
30	37,084903
35	39,399112
40	41,584733
45	43,661081
50	45,643072

La ligne phréatique coupe le talus aval en un point à une distance « a » du foyer « o » et une distance « a + Δa » du point d'intersection de la parabole de KOZNEY avec le talus aval.

Donc Le point d'intersection de la parabole avec la face aval du barrage est déterminé par l'équation : $a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos\alpha}$

α : angle de face aval du noyau avec l'horizontale.

A partir de l'abaque de CASAGRANDE on détermine $\frac{\Delta a}{a + \Delta a}$

On a : α = **74°** D'où ρ=a+ Δa= **5.99** d'où : $\frac{\Delta a}{a + \Delta a} =$ **0, 30**

D'après la résolution des 2 équations : Δa=1.79m, a=4.19m

Connaissant « a » et « Δa », on peut tracer le profil de la ligne de saturation.

IV.3.2 Calcul d'infiltration

IV.3.2.1 Calcul du débit de fuite par infiltration à travers la digue

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

q=K.I.A ……...… (V.3)

Avec :

K : Coefficient de perméabilité en (m/s). (K= 10^{-7} m/s)

I: Gradient hydraulique.

A: Section d'infiltration par unité de longueur.

q: Débit d'infiltration en (m^3/s/ml).

Le gradient hydraulique est déterminé par: $I = K_y \frac{d_y}{d_x}$ et A= y.I

Donc : $q = K_y \frac{d_y}{d_x}$ ……. (V.4).

Avec : $y \frac{dy}{dx} = y_0$

D'où q=K.y_0 m^3/s/ml.

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

L : la longueur du barrage, L=305.78m.

Tableau V.02 : Débit de fuite à travers la digue

Y_0 (m)	K (m/s)	q (m3/s/ml)	Q(m3/s)
4.34	10^{-7}	$4.34*10^{-7}$	$1.32*10^{-4}$

IV.3.2.2 Fondation

Le débit d'infiltration à travers les fondations est donné par la loi de Darcy (V.17):

$$qn = K.I.A$$

Avec :

K : Coefficient de perméabilité. ($K=10^{-7}$ m/s)

I: Gradient hydraulique. $I=H_1/L_b$ ……..… …… (V.19)

(H1= charge d'eau dans retenue, Lb= 305.78m L'emprise de barrage).

A : Section d'infiltration par unité de longueur. A=T.1

(T=4m Profondeur du sol de fondation perméable).

D'où qn = K.I.T

Tableau V-07 : Débit de fuite de la Fondation

Hb(m)	I	K (m/s)	q (m^3/s/ml)	Q (m^3/s)
47.9	0,156	10^{-7}	$0,624*10^{-7}$	$1.9*10^{-5}$

IV.3.2.3 Barrage (digue + fondation)

Le débit total d'infiltration (en m^3/s) à travers le barrage est donné dans le tableau suivant :

Tableau V-08 : Débit de fuite de barrage

Digue	fondation	barrage
$1.32.10^{-4}$	$1,9.10^{-5}$	$1,51.10^{-4}$

IV.3.3 Vérification de la résistance d'infiltration du sol du barrage

1) dispositif d'étanchéité

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

$$I = \frac{\Delta H}{\delta n} < I\ adm \text{……..(V.20)}$$

ΔH : Charge d'eau dans la retenue.

δn : Epaisseur moyenne de la digue.

Iadm : Gradient hydraulique admissible ; on le détermine à partir du tableau

TableauV-09 : Gradient hydraulique admissible.

Sol du corps du barrage.	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Argile compactée	1.5	1.5	1.8	1.95
Limon	1.05	1.15	1.25	1.35
Sable moyen	0.7	0.8	0.9	1.0
Limon sableux	0.55	0.65	0.75	0.85
Sable fin	0.45	0.55	0.65	0.75

Notre barrage appartient à III ème classe, alors on prend Iadm=1,95

Donc : ΔH=44.5 m; δn=293.58m;

I=0.15 ≤ Iadm

D'ou la résistance à l'infiltration à travers le barrage est assurée.

2) fondation du barrage

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

$$If < \frac{Icr}{Ks} \text{ ..... (V.21)}$$

Avec :

Icr : Gradient d'infiltration critique qui est déterminé en fonction du type de sol de la fondation. Il est donné par le tableau :

Tableau V-10 : Gradient d'infiltration admissible

Sols de fondation	Icr
Argiles	1.2
Limons	0.65
Sables grossiers	0.45
Sables moyens	0.38
Sables fins	0.29

Ks : Coefficient de sécurité déterminé en fonction de la classe du barrage d'après le tableau suivant :

Tableau V-11 : Détermination du coefficient de sécurité

Classe du barrage	I	II	III	IV
Ks	1.25	1.20	1.15	1.10

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

$$If = \frac{\Delta H}{Lb + 0{,}88Tc} \quad \text{..... (V.22)}$$

Tc : Profondeur de calcul de la zone de l'infiltration de la fondation. (Tc= 4m)

ΔH : Charge d'eau (H=44.5m).

L_b : largeur à la base du barrage (L=318.4).
On a donc : $I_f = 0.11$
Notre barrage appartient à la III classe ce qui donne (Ks=1.15).
Les fondations sable grossiers, donc: $I_{cr} = 0.45$

On a donc : $\frac{I_{cr}}{Ks} = 0.12$

Conclusion

On remarque que $I_f < \frac{I_{cr}}{Ks}$, donc la condition est vérifiée et la résistance d'infiltration à travers la fondation est assurée.

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

Chapitre V
La stabilité

V.1 Calcul de stabilité :

V.1.1. Généralités sur la stabilité des barrages (Talus) :

L'étude de stabilité d'un barrage est fondamentale dans la mesure où elle doit aboutir, pour l'essentiel, à la définition de la géométrie de l'ouvrage (Pente des talus en particulier) et des principes de drainage à appliquer.

La stabilité des talus peut être calculée par plusieurs méthodes, on utilise le plus souvent la méthode grapho-analytique (**Méthode de FELLENIUS**) dite « méthode des tranches », qui est de calcul en rupture circulaire.

L'étude de stabilité d'un remblai peut se conduire de deux manières :

1/ Soit par un calcul de vérification de la stabilité, les valeurs caractéristiques du remblai étant fixent et ou déterminer à priori.

2/ Soit par une série de calculs dit dimensionnement, ou l'on fait varier un ou plusieurs paramètres (angle de talus …) jusqu'à aboutir le coefficient de sécurité souhaité.

Schématiquement, deux formes d'instabilité mécanique peuvent être distinguées :

- Le glissement des talus :

Il existe plusieurs types

a-1. Glissement circulaire sur un talus (le cercle de glissement recoupe parfois la fondation si le matériau constituant présente des caractéristiques mécaniques médiocres).

a-2. Glissement en cascade.

a-3.Glissement, puit renard.

Ces deux derniers types se manifestent lorsque le cercle émanant du talus aval recoupe le talus amont à un niveau inférieur à la côte du plan d'eau amont.

- l'instabilité mécanique en fondation.

V.1.2.Conséquences de l'instabilité des talus :

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

La vérification de la stabilité des talus tient compte des caractéristiques géotechniques des matériaux de construction et du sol de la fondation.

Le calcul se fait pour trois cas de fonctionnement :

- A la fin de construction (Talus aval et talus amont).
- Fonctionnement normal (talus aval).

- Lors d'une vidange rapide (talus amont).

La vérification des talus de barrage par la méthode grapho-analytique consiste en détermination du coefficient de stabilité « K », qui est égal au rapport du moment des efforts de stabilité sur le moment des efforts de basculement (forces motrices), par rapport au centre de glissement du terrain qui doit être supérieur ou égal au coefficient admissible « k_{adm} » déterminé d'après le tableau1.

Tableau V.1: Coefficient de stabilité admissible des talus.

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

Notre barrage fait partie de la III classe, le coefficient admissible sera donc :

- ✓ Sans séisme : $K_{ss,\ adm}$=1,1 ÷ 1,15.
- ✓ Avec séisme :$K_{as,\ adm}$= 1,05 - 1,1.

Pour chaque cas de fonctionnement et pour les deux talus, on calcule le coefficient de sécurité sans séisme et avec séisme, puis on les compare aux coefficients de sécurité admissible afin de vérifier la stabilité de nos talus.

V.1.3. Ordre de calcul (Méthode des tranches) :

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

   $R_1 = K_1 H_b$.

   $R_2 = K_2 H_b$.

H_b : Hauteur totale du barrage (H_b=47.9m).

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

Tableau V.13 : valeurs de K1 et K2.

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

Pour notre cas :

Talus	Pente du talus	K1	K2	R1 (m)	R2 (m)
Amont	3	1,0	2,3	47.9	110.17
Aval	3	1.0	2 .3	47.9	110.17

Le centre des rayons étant le point « B ». L'intersection des rayons R_1 ; R_2 avec les deux lignes (verticales, inclinée) nous donne la zone des cercles.

On trace à la suite une courbe de rayon « R » qui doit être dans la limite du talus aval c'est à dire entre l'axe horizontal du barrage et la surface du terrain à côté du talus aval, et on indique le centre de glissement « o ».

On partage la zone limitée par la courbe en parties verticales (tranches) d'une épaisseur b=0.1R, on marque toutes les parties gauches par des chiffres positifs et les parties droites par des chiffres négatifs en commençant de la partie « zéro » sous le centre de glissement (projection).

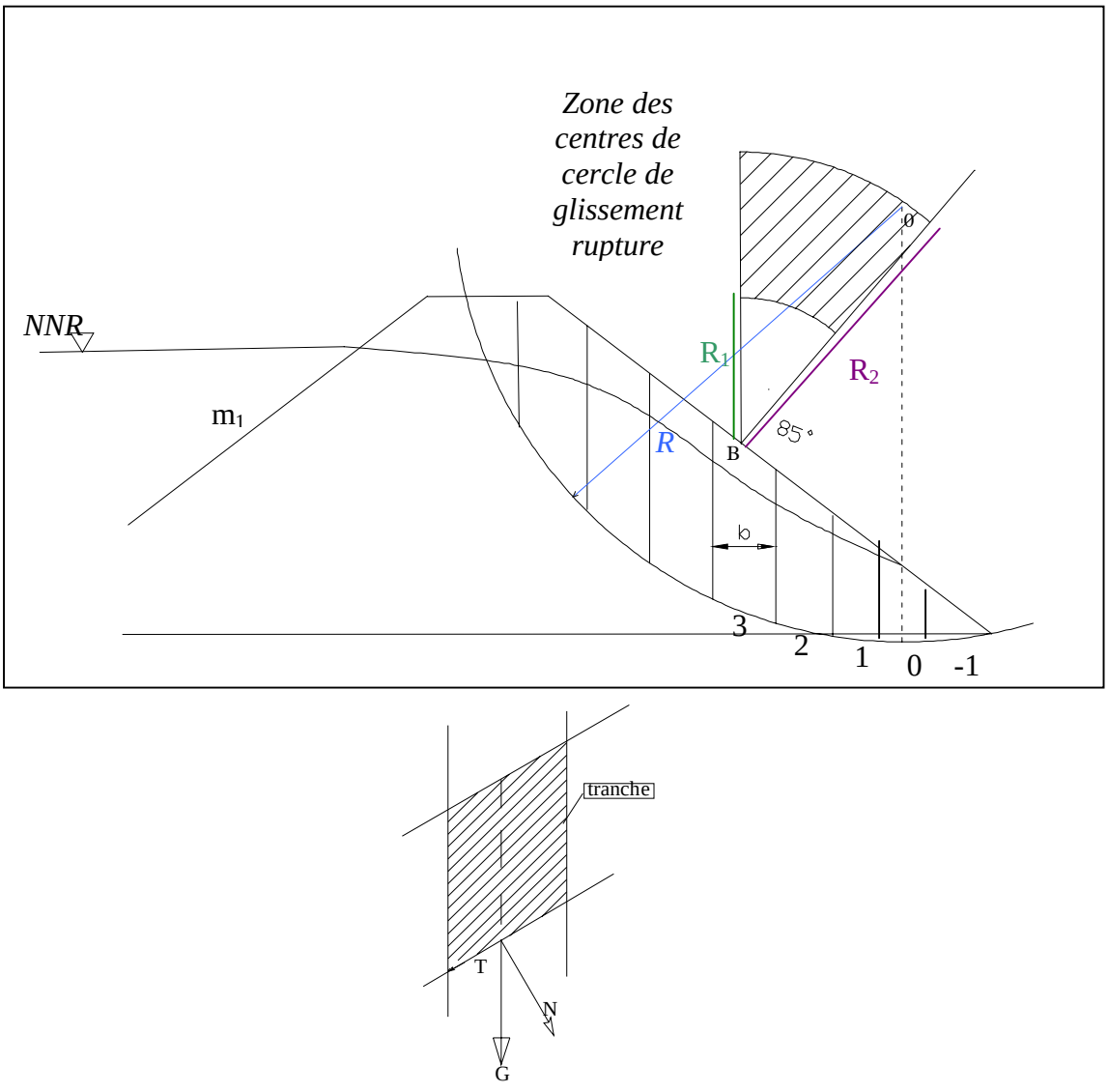


Figure V.1 : Schéma de calcul de stabilité

Les efforts agissants sur une partie de glissement sont :

1. Poids de la tranche « G ».
2. Forces de frottement au pied de la partie partagée « F ».
3. Forces de pressions interstitielles.
4. Forces de Cohésion.
5. L'effort du séisme.

Le poids de la tranche se décompose en deux composantes :

- Composante normale (forces stabilisatrices) : $N= G_n \cos \alpha$
- Composante périphérique (forces déstabilisatrices) : $T= G_n \sin \alpha$

Avec : α : angle d'inclinaison du pied de la tranche par rapport à l'horizontale.

V.1.3.1 Calcul des forces appliquées à chaque tranche :

a- Force de pesanteur (poids propre de la tranche) :

La force de pesanteur est appliquée au centre de gravité pour chaque tranche.

La formule s'écrit : $\mathbf{G_n = b (\gamma_1 .h_1 + \gamma_2 .h_2 + \gamma_3 .h_3)}$..... (V.01)

h_1 , h_2 , h_3 : hauteurs des tranches;

γ_1: densité de la zone du massif située au-dessus de la ligne de saturation;

γ_2: densité de la zone du massif située au-dessous de la ligne de saturation;

γ_3: densité de l'assise;

b : largeur de la tranche.

b- Force de pression interstitielle :

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

$P = U. dl = \gamma_w . h .dl$ .....(V.02)

U : pression interstitielle;

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

γ_w : poids volumique de l'eau δw=1KN/m3;

h : hauteur de la tranche.

c- Forces de cohésion

$F_c = c .dl.$ ..... (V.03)

C : Cohésion du sol (Matériau).

d- Forces dues au séisme

$T = a. G_n$ ..... (V.04)

a : Coefficient de séisme.

G_n : Poids de la tranche.

V.1.3.2 Classement des forces :

On peut classer toutes ces forces comme suit :

- **Les forces stabilisatrices** :

a- Force de frottement

$F_1 = N\,n\ tg\,\varphi - U\,dl\,tg\varphi$ ..... (V.05)

φ : Angle de frottement.

dl : Longueur de la courbe de glissement dans les limites de la partie partagée.

b-Force de cohésion

$F\,c = c\,dl$ ..... (V.06)

Avec : $dl = \frac{2.\pi.R.B_i}{360}$

R : rayon de la courbe de glissement;

B_i : Angle au centre des tronçons de la courbe de glissement;

Le moment de la force par rapport au centre de glissement est donné par :

$M\,s = [(N\,n - U\,dl)\,tg\varphi + c\,dl]\,R.$ ..... (V.07)

- **Les forces motrices :**

Les forces motrices sont caractérisées par la composante périphérique (**N_t**), (force de cisaillement) du poids **(G_n)** qui provoque le glissement du talus.

Le moment de ces forces par rapports au centre de glissement est donné par :

$M = R \sum_{i=1}^{n} Tn$ ..... (V.08)

Remarque

$$Sin(\alpha) = \frac{Numéro.d'ordre.de.la.section.divisée}{nombre.total.des.tranches}$$

$$Cos\alpha = \sqrt{1 - Sin^2\alpha}\ .$$

V.1.3.3 Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement :

Le coefficient **«Ks»** sera calculé pour les différents types de fonctionnement de retenue.

a) Retenue pleine :

$$Kss = \frac{\sum(Nn - pi)tg\varphi_i + \sum Ci.dl}{\sum GnSin\alpha_n} \geq K_{adm}$$ ..... (V.09)

$$Kas = \frac{\sum(Nn - pi)tg\varphi_i + \sum Ci.dl}{(1/R)\sum Gn.an_i.dn_i} \geq K_{adm}$$ ..... (V.10)

Kss : coefficient de sécurité sans séisme;
Kas : coefficient de sécurité avec séisme.

a) Retenue vide (fin de construction) :

$$K_{ss}=\frac{\sum N_n tg\phi + \sum CdL}{\sum T_n} \quad \text{..... (V.11)}$$

$$K_{as}=\frac{\sum N_n tg\phi + \sum CdL}{\sum T_n + \frac{1}{R}\sum aG_n d_n} \quad \text{..... (V.12)}$$

b) Vidange rapide :

Le calcul se fait uniquement pour le talus amont, car la vidange rapide d'une retenue en terre peut lui causer des dégâts.

$$Kss = \frac{\sum Nntg\varphi_i + \sum Ci.dl}{\sum Tn_i} \geq K_{adm} \quad \text{..... (V.13)}$$

$$Kas = \frac{\sum Nntg\varphi_i + \sum Ci.dl}{\sum Tn_i + (1/R)\sum Gn.an_i.dn_i} \geq K_{adm} \quad \text{..... (V.14)}$$

Les résultats du calcul manuel sont regroupés dans le tableau suivant et les schémas de calcule de stabilité sont représentés dans la planche N° 06

Tableau V.04 : coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement

CAS DE SOLLICITATION		COEFFICIENT DE SECURITE	
		Avec séisme 1,05÷1,1	**Sans séisme 1,15 ÷ 1,2**
Fin de construction	**Talus amont**		
	R= 108.66m	2.2	2.99
	R=72.02m	2.055	3.09
	R= 77.06m	2.65	3.61
	R= 71.63m	2.35	3.11
	Talus aval		
	R= 70.02m	2.53	3.43
	R= 71.42m	2.93	4.2
	R= 56.46m	2.42	3.52
	R= 83.2m	2.62	3.48

Fonctionnement normal	**Talus aval**		
	R=66.47m	2.51	3.46
	R=64.64 m	2.36	3.4
	R=69.32 m	2.52	3.45
	R=62.28 m	2.1	2.71
Vidange rapide	**Talus amont**		
	R=69.2 m	2.26	3.01
	R=62.65 m	2.33	3.13
	R=76.07 m	2.27	2.98
	R= 72.35m	1.96	2.58

Conclusions et recommandations

On remarque d'après les résultats obtenus que le coefficient de sécurité minimum calculé pour les différents cas de sollicitation soit strictement supérieur aux coefficients de sécurité admissible sans séisme et avec séisme. Donc la stabilité est assurée pour les pentes des talus de notre ouvrage.

On a calculé la stabilité des talus en utilisant les caractéristiques géotechniques (φ_u, C_u) non drainé qui nous donne la stabilité à courte terme.

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com
PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

Chapitre VI
Organisation du chantier

Introduction

L'organisation de chantier ne représente pas seulement l'organisation pendant l'exécution des projets. Elle représente même les travaux de préparation des plans.

L'organisation de chantier consiste à déterminer et à coordonner la mise en œuvre des moins nécessaires pour accomplir dans les meilleurs conditions possibles les travaux à exécuter , ces travaux sont les opérations concourantes à la construction , la réparation , l'entretien ou la démolition d'un édifice (construction) de nature hydraulique ou bâtiment .

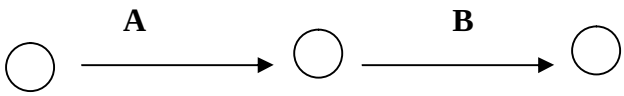
Afin d'atteindre ces objectifs, il est impératif de :

- Définir avec précision les méthodes d'exécution, les modes opératoires permettant la mise en pratique des techniques modernes de construction avec un haut rendement ;
- Repartir et coordonner les taches par la contraction d'une main d'œuvre spécialisée ;
- Structurer convenablement les postes de travail stabilisés pour les quels, on adopte une mécanisation de plus en plus poussée ;
- Arrêter en quantité et en qualité le personnel à employer, le coût de la main d'œuvre ayant une influence importante sur le prix de revient ;

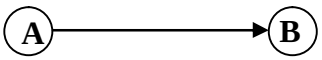
VII.1 méthodes basées sur le réseau

VII.1.1 Définition du réseau : Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui sont indispensables pour l'achèvement de l'objectif de la planification. On distingue deux types de réseaux :

a) **Réseau à flèches :** L'opération est représentée par une flèche et la liaison entre deux opérations par un cercle appelé "nœud".



b) **Réseau à nœuds :** L'opération est représentée par un nœud et la succession des opérations par des flèches.



L'opération (B) ne peut commencer que si l'opération (A) est complètement achevée.

VII.2 Construction du réseau

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les cinq (5) opérations suivantes :

1. Etablissement d'une liste des tâches.
2. Détermination des tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération.

3. Construction des graphes partiels.
4. Regroupement des graphes partiels.
5. Construction du réseau.

VII.3 Méthode C.P.M (méthode du chemin critique)

L'objectif de cette méthode est de réduire les temps de réalisation d'un ouvrage en tenant compte de trois phases :

1ère phase : l'effectif nécessaire pour effectuer le travail considéré.

2ème phase : analyser systématiquement le réseau, heure par heure, jour pour jour, selon l'unité de temps retenue.

3ème phase : adapter le réseau aux conditions ou contraintes fixées par l'entreprise.

L'utilisation de cette méthode nécessite les étapes suivantes:

1. Collection des informations ;
2. Décomposition du projet ;
3. Définition de la relation entre les tâches ;
4. Attribution des durées;
5. Construction du réseau.

VIII.4 les paramètres de la méthode C.P.M

Les paramètres indispensables pour l'exécution de cette méthode sont les suivants :

DCP	TR
DFP	DCPP
DFPP	MT

Avec :

TR: Temps de réalisation ;

DCP: Date de commencement au plus tôt ;

DCP: Date de commencement au plus tard ;

DFP: Date de finition au plus tôt ;

DFPP: Date de finition au plus tar;

MT: Marge totale.

Et :

$$\begin{cases} \mathbf{DFP = DCP + TR} \\ \mathbf{DCPP = DFPP - TR} \end{cases}$$

VII.5 Chemin critique (C.C):

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0). Donc pour retrouver un chemin critique, il suffit de vérifier la double condition suivante :

$$\Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum TR_{C.C} = D.T.Pcc \end{cases}$$

VII.6 Attribution des durées de chaque opération

Pour l'attribution du temps, il est nécessaire de se baser sur deux points :

1. Le nombre de ressources (moyens humains et matériels) ;
2. Dimensions du projet ;

On applique la formule suivante:

$$\mathbf{T = \frac{Q.N}{n}}$$

Avec:

$$\begin{cases} Q = \text{Quantité de travail} \\ N = \text{Rendement} \\ n = \text{Nombre d'équipes} \end{cases}$$

VII.7 Plannings

Il existe deux types de plan de travail :

VII.7.1 plan de travail au plus tôt

Dans ce cas, toutes les opérations commencent en leur date au plus tôt. L'entreprise opte pour ce type de planning lorsqu'elle est bien fournie en moyens et travaille sur plusieurs chantiers.

VII.7.2Plan de travail au plus tard

Toutes les opérations commencent à une date au plus tard; les tâches ne sont pas retardées. L'entreprise opte pour ce type de planning lorsque ses moyens sont limités (plus économique).

VII.8 Délai de construction et programme des travaux

Le délai de construction de l'ouvrage est déterminé en compte tenu du temps de réalisation de chacune des opérations qui le compose, sachant que certaines opérations peuvent être menées parallèlement.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

La bonne exécution de ces travaux suppose une bonne planification des différentes taches c'est-à-dire une recherche constante de la meilleure façon d'utilisation de la main d'œuvre et les autres moyens mécaniques pour assurer certaines exigences, qui sont :

- Le déroulement du travail dans un ordre correct c'est-à-dire une bonne succession des opérations ;
- Le respect des délais de réalisation pour chaque opération ;
- Exécution du travail le plus économiquement possible ;

VII.9 Symboles des différentes opérations :

Ces symboles sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau VII.1: Symboles des opérations.

Travaux	Opérations	Durée (mois)
Travaux routiers	A	2
Installation de chantier	B	4
Pré batardeau	C	2
Tunnel de dérivation	D	6
Batardeau	E	8
Excavation du barrage	F	4
Recharges du barrage	G	14
Excavation de l'évacuateur de crue	H	2
Construction de l'évacuateur de crue	I	12
Bassin d'amortissement d'E.C	J	4
Puits des vannes	K	2
Embouchure vidange	L	2
Prise d'eau et conduite	M	4
Travaux de finition	N	6

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

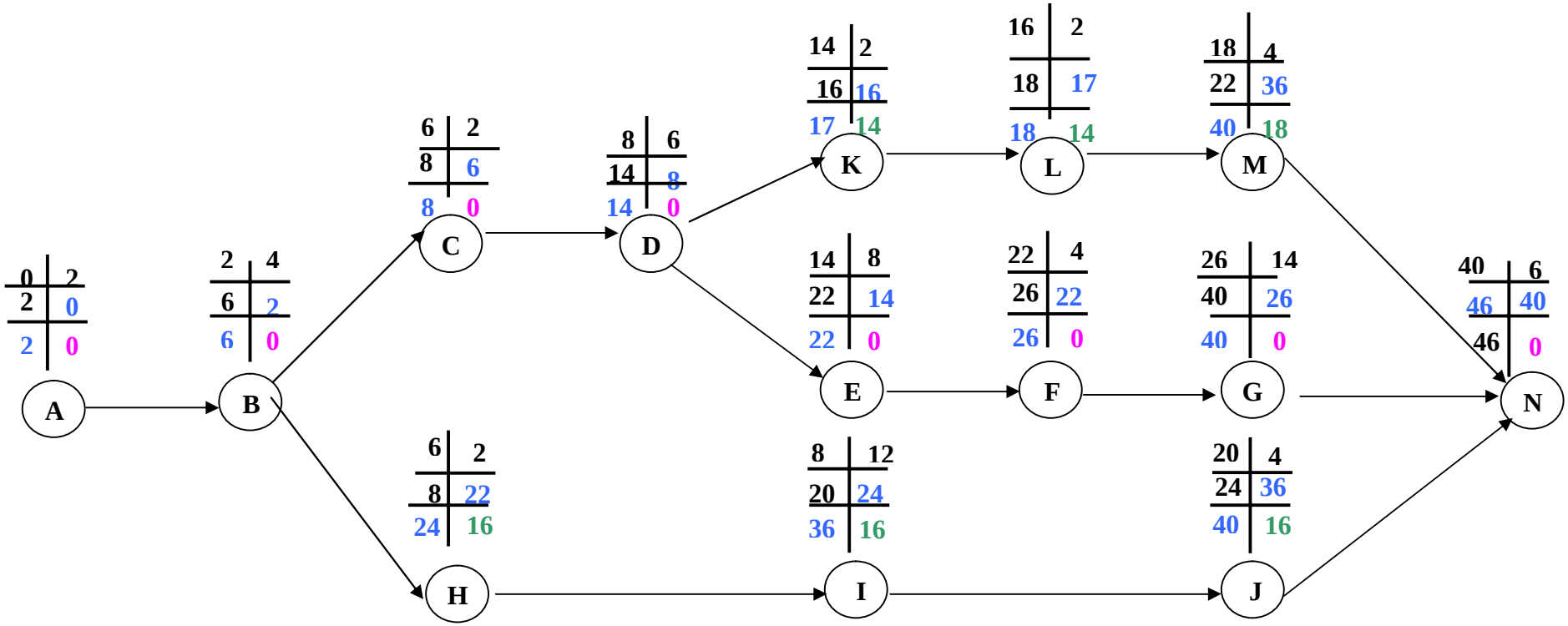
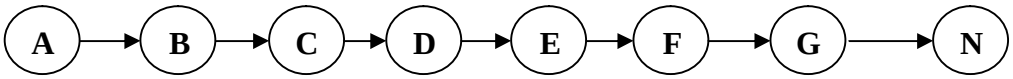


Figure VII.1 : Réseau à nœud

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

VII.10 Détermination des chemins critiques :

C'est le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0).



DTR=∑TR =2+4+2+6+8+4+14+6 =46 mois

D'après le chemin critique, le temps de réalisation est égal à 46 mois.

En conclusion, la construction du barrage d'Azib-Timizar devrait durer environ 4 années.107

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, il vient de conclure que :

- La digue du barrage d'Azib Timizar est constituée en remblai avec noyau vertical en argile.
- L'étude hydrologique a fait ressortir un débit de projet de : …384.25m3 /s ainsi le volume NNR issu du calcul est de ……14.91. Mm3.
- L'étude des variantes a ressorti une digue en remblai avec noyau vertical en argile comme on l'a déjà souligné précédemment.
- Pour les différents constituants de la digue on note une hauteur totale de…47.9m. ; constituée d'un noyau en argile et d'un tapis de drainage prisme.
- La stabilité de ce barrage a été vérifiée pour les cas : fin de constructions, en service, ainsi qu'en cas de vidange complète du barrage ; ceci avec et sans séisme.

Donc comme tout projet livré, les volets entretient et gestion sont les plus importants pour assurer un meilleur service et surtout une plus longue durée de vie. Chose qui est souvent négligée en Algérie.

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[01] A.RERBOUDJ(2005**)**: Essai de quantification de l'érosion et perspective de la protection du barrage de fontaine des Gazelles contre l'envasement (thèse magister). p: 104-106

[02]B.TOUAIBIA et B.BENLAOUKLI (2004**):** introduction au dimensionnement des retenues collinaires. p:17-41

[03] B. TOUAIBIA (2004**):** Manuel pratique d'hydrologie. ENSH Blida. p:5-136

[04] CIGB (1994**) :** Barrages en remblai, filtre et drain granulaire. Bulletin 95. P : 25-27

[05] CIGB (1986**) :** Calcul statique des barrages en remblai. Bulletin 53. p: 26-36

[06] CONY-et-BILLIER (2008**)** étude d'APD du barrage de DRAA DISS (W de SETIF). p: 26-56

[07] Gérad Degoutte (2002**)** petites Barrages, Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi Cemagref, p : 67-89

[08] G.Sanglerat (1981**)** : cours pratique de mécanique des sols. p: 265-334

[09] M. HASSANE (1998**) :** Formulaire de calcul des aménagements. ENSH Blida. p:3-6

[10] R. ROLLEY (1977**) :** Technique des barrages en aménagement rural. p: 126-135

[11] V. VOLKOV (1986**) :** Guide de la thèse de fin d'études. ENSH Blida. p : 4-56

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Série des apporte de la station Azeffoun (hm^3)

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1987	0,00	0,00	0,00	8,75	2,73	7,61	1,18	0,67	0,10	0,01	0,00	0,00	21,04
1988	0,01	0,00	0,12	0,08	0,14	0,22	0,46	0,14	0,04	0,00	0,00	0,00	1,22
1989	0,00	0,00	0,14	3,64	1,46	0,49	0,51	0,59	0,10	0,02	0,00	0,00	6,97
1990	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1991	0,00	0,00	0,00	1,53	0,16	2,21	1,79	1,33	0,13	0,03	0,00	0,00	7,20
1992	0,00	0,28	0,14	0,03	2,25	0,94	1,93	3,06	0,47	0,07	0,00	0,00	9,16
1993	0,00	0,00	0,07	2,25	1,67	0,35	0,82	1,25	1,21	0,03	0,00	0,00	7,65
1994	0,00	0,00	0,01	0,32	1,01	1,19	0,11	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	2,91
1995	0,00	0,07	0,00	0,46	4,22	0,36	2,14	0,12	0,02	0,00	0,00	0,00	7,39
1996	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	2,56	1,46	2,03	0,92	0,08	0,00	0,00	7,56
1997	0,00	0,00	0,01	0,05	0,07	0,04	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
1998	0,00	1,03	3,48	4,57	0,67	1,88	3,02	4,98	9,93	0,26	0,00	29,82	
1999	0,00	1,03	3,48	4,57	0,67	1,88	3,02	4,98	9,93	0,26	0,00	29,82	15,95
2000													
2001	0,00	0,00	0,00	0,01	4,14	2,06	0,68	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	6,90
2002	0,00	0,00	0,11	0,68	1,25	0,57	0,24	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	2,99
2003	0,00	0,36	0,09	0,70	2,00	4,00	3,00	4,00	0,20	0,60	0,10	0,20	15,25
2004	0,00	0,00	0,10	0,75	4,00	6,00	6,00	8,00	0,40	0,30	0,00	0,03	25,58
2005	0,00	0,00	0,12	0,80	3,00	2,00	5,00	7,00	0,70	0,10	0,20	0,10	19,02
2006	0,00	0,00	0,20	0,60	5,00	5,00	3,00	4,00	0,30	0,20	0,00	0,02	18,32

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Série des pluies maximales

Code station : 020808
Nom station : AZEFFOUN
X : 625,05
Y : 398.55
Z : 150

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
PJ max (mm)	94,3	82,1	9,7	58,3	5,1	50,9	123	28	2	8,7	18,3	1,9	123
Totaux (mm)	128,7	93,8	26,8	160,3	9,8	242,2	270,4	99,8	3,7	14,1	18,3	1,9	1069,8
1974													
PJ max (mm)	20,6	51,4	35,5	19,7	28,4	23,2	47,5	12,4	24,3	13,3	0	8,3	51,4
Totaux (mm)	30,2	173,2	84,4	33,6	61,1	47,5	161,5	49,3	81	19,3	0	24,5	765,6
1975													
PJ max (mm)	14	17,3	75,7	15,4	28,1	48	18	20,5	23,2	2,9	8,7	23,4	75,7
Totaux (mm)	30,9	36,3	411,6	67,4	103,2	198,4	47,6	74,1	79,2	5,3	14,7	28,9	1097,6
1976													
PJ max (mm)	29,6	19	23,5	45,4	27,9	8,2	29,2	44	10,4	2,7	0,4	7	45,4
Totaux (mm)	59,2	113,1	106,9	108,1	101,9	16,8	44,1	90,4	24,2	2,9	0,7	23,4	691,7
1977													
PJ max (mm)	2,4	15,4	56,8	8,3	41,5	25,5	25,6	64	44,9	2,2	0	0	64
Totaux (mm)	3,5	15,5	145,2	21,5	122,7	82	122,5	218,8	101,1	4,7	0	0	837,5
1978													
PJ max (mm)	6,5	51,6	33,9	10,4	17,6	39,7	25,6	20,4	5,9	8	6,9	2,1	51,6
Totaux (mm)	9	132,5	82,4	42	64,7	181,8	117,8	94,7	9,9	9,4	11	3,4	758,6
1979													
PJ max (mm)	20,9	40,2	36,3	20	28,1	32,7	43,9	34,6	5,2	0	2,4	0	43,9
Totaux (mm)	81,9	95,8	219,7	41,4	104,2	53,3	85,1	98,8	9,8	0	2,4	0	792,4
1980													
PJ max (mm)	0,6	28,6	25,7	85,4	16,1	13,6	15,2	20,7	20,7	5,2	0	31,5	85,4
Totaux (mm)	0,8	74,8	94,3	325,6	34,5	72	69,8	92,9	42,8	5,2	0	31,5	844,2
1981													
PJ max (mm)	0,8	38,7	21,8	36,6	40	32,2	9,8	7,4	25,8	3,1	0	4,3	40
Totaux (mm)	0,8	91	30,3	93,7	166,2	118,7	32,6	22,5	73,5	3,1	0	6,6	639

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

1982													
PJ max (mm)	29,1	29,7	50	27,3	0,5	38,4	37,7	9,9	11,4	0	0	6,2	50
Totaux (mm)	60	78,4	217,5	155,8	0,5	95,3	93,1	24	14,5	0	0	7,7	746,8
1983													
PJ max (mm)	5,7	38	39,5	30,5	39,9	27,7	14	8	48,7	11,3	0	0	48,7
Totaux (mm)	5,7	57,9	99,6	96,7	132,2	112,4	54,1	29,8	144,8	11,6	0	0	744,8
1984													
PJ max (mm)	10,3	26,5	7,9	28,7	41,2	11,5	43,5	9,3	39,5	0,5	0	0	43,5
Totaux (mm)	27,2	165,3	19,7	156,7	176,6	34,5	259,4	12,5	125,6	0,5	0	0	978
1985													
PJ max (mm)	24	31,3	95,7	16,8	21,8	37,1	67,2	14,1	1,9	9,1	2,1	3,2	95,7
Totaux (mm)	54,1	57,6	236,8	81,5	102,2	98,6	191,5	54,7	4	10,6	2,1	3,2	896,9
1986													
PJ max (mm)	8,2	20,4	24,5	43,9	52	65,6	13,4	2,7	6,8	20,2	0	0,5	65,6
Totaux (mm)	15,6	46,9	129,2	196,3	160,9	232,7	45,4	3,1	17,4	21,3	0	1	869,8
1987													
PJ max (mm)	8,5	13,8	54,3	15,1	15	12,7	32,8	22,2	12,4	18,7	3,1	0,2	54,3
Totaux (mm)	17	19,6	125,6	57,2	40,7	47,4	77,3	69,7	31,3	30,5	3,1	0,2	519,6
1988													
PJ max (mm)	27,2	5,3	58,5	70	22,2	7,4	9,3	19,7	1,9	8,7	1,1	4,6	70
Totaux (mm)	68,3	5,3	125	204,2	77,7	22,5	22	106,4	2,3	12	1,1	6,3	653,1
1989													
PJ max (mm)	12	11,3	8,3	19,5	20,9	0	17	20,9	23,8	0,9	22,4	2,1	23,8
Totaux (mm)	22,5	14,7	30,2	32,7	80,7	0	57,8	71,8	83	1,9	27,3	2,1	424,7
1990													
PJ max (mm)	1,5	28,2	27,4	87,1	20,8	59,3	40,1	21,2	25	3,1	0	5,4	87,1
Totaux (mm)	1,5	62	51,4	327,7	70,9	193,9	90,9	75,1	37,9	5	0	11,2	927,5
1991													
PJ max (mm)	9,2	130,4	22,5	7,9	41,5	23,2	35,1	44,9	28,4	19,1	4,7	0	130,4
Totaux (mm)	11	240,2	61,7	22,8	164,1	54,1	135,6	126,1	57,8	24,1	4,7	0	902,2
1992													
PJ max (mm)	3,8	76,9	32,2	63,8	24,2	21,2	18	32	18,5	0	0	5,1	76,9
Totaux (mm)	3,9	118	104,2	233,5	34,6	76,3	23	148	27,2	0	0	5,2	773,9

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

1993													
PJ max (mm)	10,5	23,7	17	19,5	46,1	26,5	0,2	36	2,3	0	0	0	46,1
Totaux (mm)	34,1	57,7	71,2	78,4	104,7	66,9	0,2	93,4	4	0	0	0	510,6
1994													
PJ max (mm)	29,1	22,4	10,9	35,5	49,8	54	31,9	24	1,2	5,6	0	40,1	54
Totaux (mm)	102,4	71,7	28,8	115,6	222,9	74,4	124,6	49,2	1,2	8,9	0	43,8	843,5
1995													
PJ max (mm)	10,9	10,9	14,1	17,5	44,4	29,9	15,9	90,6	19,5	7,2	1,5	6	90,6
Totaux (mm)	21,6	28,1	31,5	67,5	128,4	243,6	57,2	217,5	49,1	15,8	1,6	6,6	868,5
1996													
PJ max (mm)	40,9	29,8	25,8	14	20,2	9,8	11,6	43,7	8,3	1	0,7	2,8	43,7
Totaux (mm)	72,8	121,8	87,8	49,2	71,9	10,6	21,5	113,2	17,8	1	0,7	5,4	573,7
1997													
PJ max (mm)	17,7	41,4	52,8	67	19,5	103	36,1	23,7	54,7	0,7	0	13,6	103
Totaux (mm)	41	126,5	157,6	173,4	41,6	137	76,7	75	205,9	1,5	0	16,6	1052,8
1998													
PJ max (mm)	8,7	21,4	32,3	31,5	36,7	21,8	18,7	4,7	1	0	0	0	36,7
Totaux (mm)	35,3	38	200,2	108,1	154,5	100,6	48	8,4	2,8	0	0	0	695,9
1999													
PJ max (mm)	13,6	22,5	79,2	65	10,9	6,4	4	14,2	11,7	10,2	9,3	0,6	79,2
Totaux (mm)	39,8	33,1	321,6	232,1	31,5	6,4	14,5	42,7	26,3	14,1	9,3	0,6	772
2000													
PJ max (mm)	16,1	8,2	17,7	31,5	103,9	20	10,9	16,8	14,4	0	0	12,8	103,9
Totaux (mm)	24,5	37,9	72,8	69,7	278,4	62,9	10,9	35,5	45	0	0	12,8	650,4
2001													
PJ max (mm)	9,6	1	205,4	32,3	29,1	21,5	21,2	9,4	7,3	1,9	29,5	15,9	205,4
Totaux (mm)	27	1,3	278,9	107,8	69,5	52,9	56,4	33,2	17,8	2,8	29,5	27,5	704,6
2002													
PJ max (mm)	32,8	28	42	47,6	52,4	23,2	20,9	59,2	16,8	0	0	0	59,2
Totaux (mm)	44,9	64	204,6	180,3	286,6	93,2	34,4	151,6	37,3	0	0	0	1096,9
2003													
PJ max (mm)	22,7	12,6	22,3	34,6	50,5	18,6	34	29,5	67,9	6,1	0	9,7	67,9
Totaux (mm)	80,8	53,4	58,2	159	175,6	78,3	97,2	87,5	138,6	8	0	9,7	946,3

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

2004													
PJ max (mm)	4,2	25,5	22,5	34,2	44,5	22,3	25,6	22,5	4,5	0	0,6	0,9	44,5
Totaux (mm)	9,9	64,8	109,6	156,8	151	132,1	60,2	70,2	7	0	0,7	1,5	763,8
2005													
PJ max (mm)	9,7	19	32,5	22,7	18,2	58	25,6	5,4	68,5	0,9	7,5	2,3	68,5
Totaux (mm)	28,7	53,1	134	107,9	115,4	258,2	36,5	16,3	84,2	0,9	7,5	2,4	845,1
2006													
PJ max (mm)	7,7	10,9	2,3	58,5	11,8	13,2	66,5	54,2	12,5	9,8	1,8	43,3	66,5
Totaux (mm)	19,8	22	3,9	261,7	34,5	39,3	193,7	170,6	19	14,1	1,8	44,3	824,7
2007													
PJ max (mm)	32,5	97,2	163,6	26,5	4,6	8,3	25	20,3	17,8	5,1	7,8	0	163,6
Totaux (mm)	49,9	209	351,6	121	7,6	14,2	90,1	26,3	69,8	6,6	12,6	0	958,7

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

tableau de calcul de Stabilité pour le cas de fin de construction

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	7,16	1,91	0	-0,286	0,95831	21,881	-6,251703	20,968849	2,72	8,16	0,56	11,74256	0	0	0	47,9	104,81
-3	7,16	5,93	0	-0,214	0,97677	67,934	-14,5573	66,356041	6,83	20,49	0,56	37,15938	0	0	0	47,9	325,404
-2	7,16	10,08	0	-0,143	0,98974	115,48	-16,49664	114,29207	7,01	21,03	0,56	64,00356	0	0	0	47,9	553,132
-1	7,16	13,53	0	-0,071	0,99745	155	-11,07141	154,60377	7,12	21,36	0,56	86,57811	0	0	0	47,9	742,448
0	7,16	16,27	0	0	1	186,39	0	186,38912	7,16	21,48	0,56	104,3779	0	0	0	47,9	892,804
1	7,16	18,3	0	0,0714	0,99745	209,64	14,974629	209,10931	7,12	21,36	0,56	117,1012	0	0	0	47,9	1004,2
2	7,16	19,6	0	0,1429	0,98974	224,54	32,0768	222,23459	7,01	21,03	0,56	124,4514	0	0	0	47,9	1075,54
3	7,16	19,3	0	0,2143	0,97677	221,1	47,378743	215,96485	6,83	20,49	0,56	120,9403	0	0	0	47,9	1059,07
4	7,16	18,88	0	0,2857	0,95831	216,29	61,796937	207,27323	2,72	8,16	0,56	116,073	0	0	0	47,9	1036,03
5	7,16	17,87	0	0,3571	0,93405	204,72	73,113829	191,21747	6,31	18,93	0,56	107,0818	0	0	0	47,9	980,603
6	7,16	16,04	0	0,4286	0,90351	183,75	78,751817	166,02341	5,93	17,79	0,56	92,97311	0	0	0	47,9	880,183
7	7,16	13,4	0	0,5	0,86603	153,51	76,7552	132,94391	5,38	16,14	0,56	74,44859	0	0	0	47,9	735,315
8	7,16	10,01		0,5714	0,82065	114,67	65,52832	94,107885	4,92	14,76	0,56	52,70042	0	0	0	47,9	549,291
9	7,16	5,79		0,6429	0,76599	66,33	42,640869	50,808041	4,89	14,67	0,56	28,4525	0	0	0	47,9	317,722

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	7,202	0,75	0	-0,286	0,9583 1	8,642 4	-2,469257	8,282140 2	1,73	5,19	0,56	4,63799 9	0	0	0	77,4 2	66,909 5
-3	7,202	4,17	0	-0,214	0,9767 7	48,05 2	-10,2968	46,93555 1	7,03	21,0 9	0,56	26,2839 1	0	0	0	77,4 2	372,01 7
-2	7,202	8,01	0	-0,143	0,9897 4	92,30 1	-13,18583	91,35413 2	7,03	21,0 9	0,56	51,1583 1	0	0	0	77,4 2	714,59 3
-1	7,202	12,0 8	0	-0,071	0,9974 5	139,2	-9,942875	138,8447	6,99	20,9 7	0,56	77,7530 3	0	0	0	77,4 2	1077,6 9
0	7,202	14,8 4	0	0	1	171	0	171,0042 9	7,12	21,3 6	0,56	95,7624	0	0	0	77,4 2	1323,9 2
1	7,202	16,1 2	0	0,071 4	0,9974 5	185,7 5	13,26814 2	185,2795 2	6,99	20,9 7	0,56	103,756 5	0	0	0	77,4 2	1438,1 1
2	7,202	17,5 8	0	0,142 9	0,9897 4	202,5 8	28,93969 4	200,5000 8	7,03	21,0 9	0,56	112,28	0	0	0	77,4 2	1568,3 6
3	7,202	18,0 5	0	0,214 3	0,9767 7	207,9 9	44,57009 1	203,1622 8	7,03	21,0 9	0,56	113,770 9	0	0	0	77,4 2	1610,2 9
4	7,202	18,0 7	0	0,285 7	0,9583 1	208,2 2	59,49263 5	199,5443 7	1,73	5,19	0,56	111,744 8	0	0	0	77,4 2	1612,0 7
5	7,202	15,6 7	0	0,357 1	0,9340 5	180,5 7	64,48876 6	168,6600 1	6,34	19,0 2	0,56	94,4496	0	0	0	77,4 2	1397,9 6
6	7,202	14,3 4	0	0,428 6	0,9035 1	165,2 4	70,81829 5	149,2980 7	6,28	18,8 4	0,56	83,6069 2	0	0	0	77,4 2	1279,3 1
7	7,202	12,5 7	0	0,5	0,8660 3	144,8 5	72,42331 2	125,4408 6	4,49	13,4 7	0,56	70,2468 8	0	0	0	77,4 2	1121,4
8	7,202	8,35	0	0,571 4	0,8206 5	96,21 9	54,98212 6	78,96206 6	4,5	13,5	0,56	44,2187 6	0	0	0	77,4 2	744,92 5
9	7,202	4,22	0	0,642 9	0,7659 9	48,62 8	31,26079 5	37,24829 8	5,72	17,1 6	0,56	20,8590 5	0	0	0	77,4 2	376,47 7

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-5	7,7	3,09		-0,294	0,95577	38,069	-11,19671	36,384987	5,56	16,68	0,56	20,37559	0	0	0	47,9	182,35
-4	7,7	7,2	0	-0,235	0,97192	88,704	-20,87153	86,213565	4,49	13,47	0,56	48,2796	0	0	0	47,9	424,892
-3	7,7	12,28	0	-0,176	0,98431	151,29	-26,69816	148,91525	7,22	21,66	0,56	83,39254	0	0	0	47,9	724,677
-2	7,7	18,25	0	-0,118	0,99306	224,84	-26,45176	223,27859	7,67	23,01	0,56	125,036	0	0	0	47,9	1076,98
-1	7,7	21,43	0	-0,059	0,99827	264,02	-15,53045	263,56043	7,67	23,01	0,56	147,5938	0	0	0	47,9	1264,64
0	7,7	24,97	0	0	1	307,63	0	307,6304	7,68	23,04	0,56	172,273	0	0	0	47,9	1473,55
1	7,7	25,35	0	0,0588	0,99827	312,31	18,371294	311,7712	7,67	23,01	0,56	174,5919	0	0	0	47,9	1495,97
2	7,7	26,26	0	0,1176	0,99306	323,52	38,061553	321,27648	7,03	21,09	0,56	179,9148	0	0	0	47,9	1549,68
3	7,7	28,21	0	0,1765	0,98431	347,55	61,331859	342,09276	7,22	21,66	0,56	191,5719	0	0	0	47,9	1664,75
4	7,7	26,45	0	0,2353	0,97192	325,86	76,673882	316,71511	4,49	13,47	0,56	177,3605	0	0	0	47,9	1560,89
5	7,7	24,9	0	0,2941	0,95577	306,77	90,225882	293,19941	5,56	16,68	0,56	164,1917	0	0	0	47,9	1469,42
6	7,7	23,37	0	0,3529	0,93565	287,92	101,61826	269,38956	6,7	20,1	0,56	150,8582	0	0	0	47,9	1379,13
7	7,7	21,79	0	0,4118	0,91129	268,45	110,53939	244,63841	6,76	20,28	0,56	136,9975	0	0	0	47,9	1285,89
8	7,7	15,94		0,4706	0,88235	196,38	92,414494	173,27718	4,21	12,63	0,56	97,03522	0	0	0	47,9	940,664
9	7,7	10,25		0,5294	0,84837	126,28	66,854118	107,13153	4,33	12,99	0,56	59,99366	0	0	0	47,9	604,881
10	7,7	5,55	0	0,5882	0,80869	68,376	40,221176	55,294976	4,44	13,32	0,56	30,96519	0	0	0	47,9	327,521
11	7,7	1,22	0	0,6471	0,76244	15,03	9,7255529	11,459779	1,15	3,45	0,56	6,417476	0	0	0	47,9	71,9956

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	10,86	4,95	0	-0,267	0,96379	86,011	-22,93632	82,896633	7,42	22,26	0,56	46,42211	0	0	0	77,42	665,899
-3	10,86	11,84	0	-0,2	0,9798	205,73	-41,14637	201,57521	10,31	30,93	0,56	112,8821	0	0	0	77,42	1592,78
-2	10,86	18,26	0	-0,133	0,99107	317,29	-42,30477	314,45279	10,3	30,9	0,56	176,0936	0	0	0	77,42	2456,43
-1	10,86	22,6	0	-0,067	0,99778	392,7	-26,17984	391,82397	10,86	32,58	0,56	219,4214	0	0	0	77,42	3040,26
0	10,86	26,8	0	0	1	465,68	0	465,6768	10,86	32,58	0,56	260,779	0	0	0	77,42	3605,27
1	10,9	30,71	0	0,0667	0,99778	535,58	35,705493	534,39089	10,86	32,58	0,56	299,2589	0	0	0	77,42	4146,48
2	10,9	32,63	0	0,1333	0,99107	569,07	75,875627	563,98614	10,3	30,9	0,56	315,8322	0	0	0	77,42	4405,72
3	10,9	30,73	0	0,2	0,9798	535,93	107,18624	525,10319	10,31	30,93	0,56	294,0578	0	0	0	77,42	4149,18
4	10,9	32,15	0	0,2667	0,96379	560,7	149,51893	540,39254	7,42	22,26	0,56	302,6198	0	0	0	77,42	4340,91
5	10,9	30,62	0	0,3333	0,94281	534,01	178,00427	503,4721	9,44	28,32	0,56	281,9444	0	0	0	77,42	4134,33
6	10,9	27,92	0	0,4	0,91652	486,92	194,76992	446,27395	8,69	26,07	0,56	249,9134	0	0	0	77,42	3769,77
7	10,9	24,13	0	0,4667	0,88443	420,83	196,38603	372,19358	8,2	24,6	0,56	208,4284	0	0	0	77,42	3258,04
8	10,9	18,09	0	0,5333	0,84591	315,49	168,26112	266,87428	7,34	22,02	0,56	149,4496	0	0	0	77,42	2442,52
9	10,9	11,97	0	0,6	0,8	208,76	125,25408	167,00544	6,56	19,68	0,56	93,52305	0	0	0	77,42	1616,2
10	10,9	4,39	0	0,6667	0,74536	76,562	51,041067	57,065647	2,55	7,65	0,56	31,95676	0	0	0	77,42	592,74

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-5	5,64	1,16	0	-0,278	0,96065	10,468	-2,907733	10,055882	1,89	5,67	0,56	5,631294	0	0	0	47,9	50,141
-4	5,64	4,48	0	-0,222	0,975	40,428	-8,983893	39,416672	5,43	16,29	0,56	22,07334	0	0	0	47,9	193,648
-3	5,64	7,82	0	-0,167	0,98601	70,568	-11,76128	69,580671	4,43	13,29	0,56	38,96518	0	0	0	47,9	338,019
-2	5,64	11,14	0	-0,111	0,99381	100,53	-11,16971	99,904894	5,44	16,32	0,56	55,94674	0	0	0	47,9	481,526
-1	5,64	14,47	0	-0,056	0,99846	130,58	-7,254293	130,37562	5,44	16,32	0,56	73,01035	0	0	0	47,9	625,465
0	5,64	16,3	0	0	1	147,09	0	147,0912	5,6	16,8	0,56	82,37107	0	0	0	47,9	704,567
1	5,64	16,06	0	0,0556	0,99846	144,93	8,0514133	144,70162	5,44	16,32	0,56	81,03291	0	0	0	47,9	694,193
2	5,64	17,34	0	0,1111	0,99381	156,48	17,38624	155,50726	5,44	16,32	0,56	87,08406	0	0	0	47,9	749,521
3	5,64	18,56	0	0,1667	0,98601	167,49	27,91424	165,14287	4,43	13,29	0,56	92,48001	0	0	0	47,9	802,255
4	5,64	18,55	0	0,2222	0,975	167,4	37,198933	163,20966	5,43	16,29	0,56	91,39741	0	0	0	47,9	801,823
5	5,64	17,54	0	0,2778	0,96065	158,28	43,966933	152,05187	1,89	5,67	0,56	85,14905	0	0	0	47,9	758,166
6	5,64	16,36	0	0,3333	0,94281	147,63	49,21088	139,18939	4,97	14,91	0,56	77,94606	0	0	0	47,9	707,16
7	5,64	14,52	0	0,3889	0,92128	131,03	50,95552	120,71453	4,99	14,97	0,56	67,60014	0	0	0	47,9	627,626
8	5,64	12,86	0	0,4444	0,89581	116,05	51,577173	103,95712	3,5	10,5	0,56	58,21599	0	0	0	47,9	555,873
9	5,64	9,58	0	0,5	0,86603	86,45	43,22496	74,867827	3,53	10,59	0,56	41,92598	0	0	0	47,9	414,095
10	5,64	6,83		0,5556	0,83148	61,634	34,241067	51,247336	3,57	10,71	0,56	28,69851	0	0	0	47,9	295,226
11	5,64	3,77	0	0,6111	0,79154	34,02	20,790293	26,928735	3,55	10,65	0,56	15,08009	0	0	0	47,9	162,958
12	5,64	0,73	0	0,6667	0,74536	6,5875	4,39168	4,9100475	0,8	2,4	0,56	2,749627	0	0	0	47,9	31,5542

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	7,002	2,25	0	-0,267	0,96379	25,207	-6,72192	24,294418	4,84	14,52	0,56	13,60487	0	0	0	47,9	120,742
-3	7,002	6,53	0	-0,2	0,9798	73,157	-14,63138	71,678827	6,74	20,22	0,56	40,14014	0	0	0	47,9	350,422
-2	7,002	10,59	0	-0,133	0,99107	118,64	-15,81892	117,58256	6,76	20,28	0,56	65,84624	0	0	0	47,9	568,295
-1	7,002	14,92	0	-0,067	0,99778	167,15	-11,14345	166,77988	6,74	20,22	0,56	93,39673	0	0	0	47,9	800,657
0	7,002	16,65	0	0	1	186,53	0	186,53328	6,97	20,91	0,56	104,4586	0	0	0	47,9	893,494
1	7,002	17,33	0	0,0667	0,99778	194,15	12,94343	193,71953	6,74	20,22	0,56	108,4829	0	0	0	47,9	929,985
2	7,002	18,88	0	0,1333	0,99107	211,52	28,202189	209,62784	6,76	20,28	0,56	117,3916	0	0	0	47,9	1013,16
3	7,002	20,36	0	0,2	0,9798	228,1	45,61943	223,48865	6,74	20,22	0,56	125,1536	0	0	0	47,9	1092,59
4	7,002	19	0	0,2667	0,96379	212,86	56,76288	205,15286	4,84	14,52	0,56	114,8856	0	0	0	47,9	1019,6
5	7,002	17,89	0	0,3333	0,94281	200,43	66,808416	188,96274	6,37	19,11	0,56	105,8191	0	0	0	47,9	960,037
6	7,002	15,6	0	0,4	0,91652	174,77	69,907968	160,17928	6,2	18,6	0,56	89,7004	0	0	0	47,9	837,148
7	7,002	13,25	0	0,4667	0,88443	148,44	69,27312	131,2874	4,57	13,71	0,56	73,52094	0	0	0	47,9	711,039
8	7,002	9,35	0	0,5333	0,84591	104,75	55,866624	88,608499	4,66	13,98	0,56	49,62076	0	0	0	47,9	501,752
9	7,002	5,36	0	0,6	0,8	60,049	36,029491	48,039322	4,56	13,68	0,56	26,90202	0	0	0	47,9	287,635
10	7,002	1,58	0	0,6667	0,74536	17,701	11,800704	13,193588	1,72	5,16	0,56	7,388409	0	0	0	47,9	84,7881

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-5	7,14	2,66		-0,294	0,95577	30,388	-8,9376	29,043762	3,78	11,34	0,56	16,26451	0	0	0	47,9	145,558
-4	7,14	6,32	0	-0,235	0,97192	72,2	-16,98816	70,172617	6,72	20,16	0,56	39,29667	0	0	0	47,9	345,836
-3	7,14	11,1	0	-0,176	0,98431	126,81	-22,3776	124,81629	6,75	20,25	0,56	69,89712	0	0	0	47,9	607,403
-2	7,14	14,29	0	-0,118	0,99306	163,25	-19,20576	162,11527	7,11	21,33	0,56	90,78455	0	0	0	47,9	781,963
-1	7,14	19,58	0	-0,059	0,99827	223,68	-13,15776	223,29459	7,14	21,42	0,56	125,045	0	0	0	47,9	1071,44
0	7,14	22,74	0	0	1	259,78	0	259,78176	7,12	21,36	0,56	145,4778	0	0	0	47,9	1244,35
1	7,14	23,02	0	0,0588	0,99827	262,98	15,46944	262,5251	7,14	21,42	0,56	147,0141	0	0	0	47,9	1259,68
2	7,14	24,01	0	0,1176	0,99306	274,29	32,26944	272,38542	7,11	21,33	0,56	152,5358	0	0	0	47,9	1313,85
3	7,14	25,16	0	0,1765	0,98431	287,43	50,72256	282,91692	6,75	20,25	0,56	158,4335	0	0	0	47,9	1376,78
4	7,14	25,47	0	0,2353	0,97192	290,97	68,46336	282,80009	6,72	20,16	0,56	158,368	0	0	0	47,9	1393,74
5	7,14	23,99	0	0,2941	0,95577	274,06	80,6064	261,9398	3,78	11,34	0,56	146,6863	0	0	0	47,9	1312,76
6	7,14	20,32	0	0,3529	0,93565	232,14	81,93024	217,19671	6,21	18,63	0,56	121,6302	0	0	0	47,9	1111,93
7	7,14	18,85	0	0,4118	0,91129	215,34	88,6704	196,23942	6,25	18,75	0,56	109,8941	0	0	0	47,9	1031,49
8	7,14	9	0	0,4706	0,88235	102,82	48,384	90,72	4,18	12,54	0,56	50,8032	0	0	0	47,9	492,489
9	7,14	4,63	0	0,5294	0,84837	52,893	28,00224	44,872672	4,23	12,69	0,56	25,1287	0	0	0	47,9	253,358
10	7,14	0,55		0,5882	0,80869	6,2832	3,696	5,0811599	4,12	12,36	0,56	2,84545	0	0	0	47,9	30,0965
11	7,14	0,3	0	0,6471	0,76244	3,4272	2,2176	2,6130346	0,65	1,95	0,56	1,463299	0	0	0	47,9	16,4163

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-5	8,32	2,43	0	-0,294	0,95577	32,348	-9,514165	30,917376	2,62	7,86	0,56	17,31373	0	0	0	47,9	154,948
-4	8,32	7,46	0	-0,235	0,97192	99,308	-23,36648	96,519383	7,76	23,28	0,56	54,05085	0	0	0	47,9	475,683
-3	8,32	11,13	0	-0,176	0,98431	148,16	-26,14633	145,83728	7,71	23,13	0,56	81,66888	0	0	0	47,9	709,699
-2	8,32	17,6	0	-0,118	0,99306	234,29	-27,56367	232,66416	8,3	24,9	0,56	130,2919	0	0	0	47,9	1122,25
-1	8,32	21,97	0	-0,059	0,99827	292,46	-17,2038	291,95821	8,29	24,87	0,56	163,4966	0	0	0	47,9	1400,91
0	8,32	23,13	0	0	1	307,91	0	307,90656	8,31	24,93	0,56	172,4277	0	0	0	47,9	1474,87
1	8,32	24,91	0	0,0588	0,99827	331,6	19,505995	331,02772	8,29	24,87	0,56	185,3755	0	0	0	47,9	1588,37
2	8,32	27,35	0	0,1176	0,99306	364,08	42,833318	361,55481	8,3	24,9	0,56	202,4707	0	0	0	47,9	1743,96
3	8,32	28,79	0	0,1765	0,98431	383,25	67,632791	377,23768	7,71	23,13	0,56	211,2531	0	0	0	47,9	1835,78
4	8,32	27,8	0	0,2353	0,97192	370,07	87,076141	359,68349	7,76	23,28	0,56	201,4228	0	0	0	47,9	1772,65
5	8,32	26,3	0	0,2941	0,95577	350,11	102,97224	334,62016	2,62	7,86	0,56	187,3873	0	0	0	47,9	1677,01
6	8,32	22,76	0	0,3529	0,93565	302,98	106,93451	283,48293	6,72	20,16	0,56	158,7504	0	0	0	47,9	1451,28
7	8,32	20,28	0	0,4118	0,91129	269,97	111,16303	246,01861	6,74	20,22	0,56	137,7704	0	0	0	47,9	1293,14
8	8,32	17,34	0	0,4706	0,88235	230,83	108,62592	203,6736	4,78	14,34	0,56	114,0572	0	0	0	47,9	1105,68
9	8,32	11,87	0	0,5294	0,84837	158,01	83,654174	134,05307	4,65	13,95	0,56	75,06972	0	0	0	47,9	756,884
10	8,32	6,79		0,5882	0,80869	90,388	53,169694	73,096244	4,7	14,1	0,56	40,9339	0	0	0	47,9	432,961
11	8,32	1,1	0	0,6471	0,76244	14,643	9,4750118	11,164563	0,93	2,79	0,56	6,252155	0	0	0	47,9	70,1409

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Cas de fin de construction

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-3	6,22	0,78	0	-0,25	0,96825	7,7626	-1,94064	7,5160664	1,87	5,61	0,56	4,208997	0	0	0	47,9	37,1827
-2	6,22	4,35	0	-0,167	0,98601	43,291	-7,2152	42,685699	6,06	18,18	0,56	23,90399	0	0	0	47,9	207,365
-1	6,22	7,36	0	-0,083	0,99652	73,247	-6,103893	72,991948	6,2	18,6	0,56	40,87549	0	0	0	47,9	350,852
0	6,22	0,74	0	0	1	7,3645	0	7,36448	6,22	18,66	0,56	4,124109	0	0	0	47,9	35,2759
1	6,22	11,77	0	0,0833	0,99652	117,14	9,7612533	116,72761	6,2	18,6	0,56	65,36746	0	0	0	47,9	561,077
2	6,22	11,5	0	0,1667	0,98601	114,45	19,074667	112,84725	6,06	18,18	0,56	63,19446	0	0	0	47,9	548,206
3	6,22	12,1	0	0,25	0,96825	120,42	30,1048	116,59539	1,78	5,34	0,56	65,29342	0	0	0	47,9	576,808
4	6,22	11,89	0	0,3333	0,94281	118,33	39,443093	111,56192	5,96	17,88	0,56	62,47467	0	0	0	47,9	566,797
5	6,22	10,98	0	0,4167	0,90906	109,27	45,5304	99,335605	5,45	16,35	0,56	55,62794	0	0	0	47,9	523,417
6	6,22	9,43	0	0,5	0,86603	93,847	46,92368	81,274198	5,15	15,45	0,56	45,51355	0	0	0	47,9	449,529
7	6,22	7,18	0	0,5833	0,81223	71,455	41,682293	58,038392	4,64	13,92	0,56	32,5015	0	0	0	47,9	342,271
8	6,22	3,82	0	0,6667	0,74536	38,017	25,344427	28,33593	3,93	11,79	0,56	15,86812	0	0	0	47,9	182,1

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-5	6,49	0	3,63	-0,333	0,94281	42,406	-14,13522	39,98044	7,5	22,5	0,56	22,38905	3,63	27,225	15,246	48,98	207,703
-4	6,49	5,95	3,37	-0,267	0,96379	101,15	-26,97417	97,490265	7,09	21,27	0,56	54,594555	3,37	23,8933	13,380248	48,98	495,448
-3	6,49	9,5	4,66	-0,2	0,9798	153,09	-30,61722	149,99315	6,81	20,43	0,56	83,996117	4,66	31,7346	17,771376	48,98	749,816
-2	6,49	11,92	6,34	-0,133	0,99107	197,84	-26,37882	196,07469	6,63	19,89	0,56	109,8018	6,34	42,0342	23,539152	48,98	969,026
-1	6,49	14,33	7,32	-0,067	0,99778	234,31	-15,621	233,79368	6,53	19,59	0,56	130,9245	7,32	47,7996	26,767776	48,98	1147,67
0	6,49	16,74	7,65	0	1	263,2	0	263,19546	6,5	19,5	0,56	147,3895	7,65	49,725	27,846	48,98	1289,13
1	6,49	19,15	7,32	0,0667	0,99778	284,37	18,957723	283,73321	6,53	19,59	0,56	158,8906	7,32	47,7996	26,767776	48,98	1392,82
2	6,49	21,56	6,34	0,1333	0,99107	297,94	39,725723	295,28266	6,63	19,89	0,56	165,3583	6,34	42,0342	23,539152	48,98	1459,32
3	6,49	23,98	4,66	0,2	0,9798	303,45	60,689288	297,31558	6,82	20,46	0,56	166,4967	4,66	31,7812	17,797472	48,98	1486,28
4	6,49	26,39	2,23	0,2667	0,96379	300,08	80,022565	289,2182	7,1	21,3	0,56	161,9622	2,23	15,833	8,86648	48,98	1469,81
5	6,49	27,76	0	0,3333	0,94281	288,26	96,086613	271,77398	7,52	22,56	0,56	152,1934	0	0	0	48,98	1411,9
6	6,49	25,88	0	0,4	0,91652	268,74	107,49517	246,30237	8,15	24,45	0,56	137,9293	0	0	0	48,98	1316,28
7	6,49	22,73	0	0,4667	0,88443	236,03	110,14655	208,7513	9,14	27,42	0,56	116,9007	0	0	0	48,98	1156,07
8	6,49	17,73	0	0,5333	0,84591	184,11	98,191104	155,73818	10,94	32,82	0,56	87,213338	0	0	0	48,98	901,763
9	6,49	9,5	0	0,6	0,8	98,648	59,1888	78,9184	15,53	46,59	0,56	44,1943	0	0	0	48,98	483,178

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	6,64	1,47	0	-0,267	0,96379	15,617	-4,164608	15,05176	2,6	7,8	0,56	8,428986	0	0	0	47,9	74,8068
-3	6,64	5,92	0	-0,2	0,9798	62,894	-12,57882	61,623362	6,37	19,11	0,56	34,50908	0	0	0	47,9	301,263
-2	6,64	9,77	0	-0,133	0,99107	103,8	-13,83953	102,86971	6,5	19,5	0,56	57,60704	0	0	0	47,9	497,185
-1	6,64	12,97	0	-0,067	0,99778	137,79	-9,186219	137,48673	6,59	19,77	0,56	76,99257	0	0	0	47,9	660,03
0	6,64	15,51	0	0	1	164,78	0	164,77824	6,64	19,92	0,56	92,27581	0	0	0	47,9	789,288
1	6,64	16,47	0	0,0667	0,99778	174,98	11,665152	174,58801	6,59	19,77	0,56	97,76928	0	0	0	47,9	838,141
2	6,64	17,59	0	0,1333	0,99107	186,88	24,916821	185,20759	6,5	19,5	0,56	103,7163	0	0	0	47,9	895,137
3	6,64	18,08	0	0,2	0,9798	192,08	38,416384	188,20108	6,37	19,11	0,56	105,3926	0	0	0	47,9	920,072
4	6,64	17,87	0	0,2667	0,96379	189,85	50,626901	182,97616	2,6	7,8	0,56	102,4666	0	0	0	47,9	909,386
5	6,64	16,92	0	0,3333	0,94281	179,76	59,91936	169,47754	5,85	17,55	0,56	94,90742	0	0	0	47,9	861,041
6	6,64	14,62	0	0,4	0,91652	155,32	62,129152	142,35577	5,44	16,32	0,56	79,71923	0	0	0	47,9	743,997
7	6,64	11,8	0	0,4667	0,88443	125,36	58,502827	110,87539	5,02	15,06	0,56	62,09022	0	0	0	47,9	600,49
8	6,64	8,64	0	0,5333	0,84591	91,791	48,955392	77,646786	4,35	13,05	0,56	43,4822	0	0	0	47,9	439,681
9	6,64	4,93	0	0,6	0,8	52,376	31,425792	41,901056	3,94	11,82	0,56	23,46459	0	0	0	47,9	250,883
10	6,64	0,49	0	0,6667	0,74536	5,2058	3,4705067	3,8801444	0,37	1,11	0,56	2,172881	0	0	0	47,9	24,9356

PDF-XCHANGE
Click to buy NOW!
www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	6,93	3,77	0	-0,267	0,96379	41,802	-11,14714	40,288069	4,41	13,23	0,56	22,56132	0	0	0	47,9	200,23
-3	6,93	7,13	0	-0,2	0,9798	79,057	-15,81149	77,460155	5,58	16,74	0,56	43,37769	0	0	0	47,9	378,685
-2	6,93	11,18	0	-0,133	0,99107	123,96	-16,52851	122,857	6,81	20,43	0,56	68,79992	0	0	0	47,9	593,787
-1	6,93	14,83	0	-0,067	0,99778	164,44	-10,96234	164,06922	6,92	20,76	0,56	91,87876	0	0	0	47,9	787,644
0	6,93	17,19	0	0	1	190,6	0	190,60272	6,93	20,79	0,56	106,7375	0	0	0	47,9	912,987
1	6,93	19,15	0	0,0667	0,99778	212,34	14,15568	211,86282	6,92	20,76	0,56	118,6432	0	0	0	47,9	1017,09
2	6,93	19,4	0	0,1333	0,99107	215,11	28,68096	213,18656	6,81	20,43	0,56	119,3845	0	0	0	47,9	1030,36
3	6,93	19,89	0	0,2	0,9798	220,54	44,108064	216,0845	5,58	16,74	0,56	121,0073	0	0	0	47,9	1056,39
4	6,93	19,7	0	0,2667	0,96379	218,43	58,24896	210,52386	4,41	13,23	0,56	117,8934	0	0	0	47,9	1046,3
5	6,93	18,71	0	0,3333	0,94281	207,46	69,15216	195,59185	6,06	18,18	0,56	109,5314	0	0	0	47,9	993,717
6	6,93	17,09	0	0,4	0,91652	189,49	75,797568	173,67405	5,75	17,25	0,56	97,25747	0	0	0	47,9	907,676
7	6,93	13,38	0	0,4667	0,88443	148,36	69,233472	131,21226	5,25	15,75	0,56	73,47886	0	0	0	47,9	710,632
8	6,93	10,13	0	0,5333	0,84591	112,32	59,904768	95,013287	7,71	23,13	0,56	53,20744	0	0	0	47,9	538,02
9	6,93	6,12	0	0,6	0,8	67,859	40,715136	54,286848	4,3	12,9	0,56	30,40063	0	0	0	47,9	325,043
10	6,93	1,15	0	0,6667	0,74536	12,751	8,5008	9,5041833	0,83	2,49	0,56	5,322343	0	0	0	47,9	61,0782

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

Cas de vidange rapide

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	Dn	a*Gn*dn
-3	6,26	2,81	0	-0,231	0,97301	28,145	-6,494991	27,385286	4,79	14,37	0,56	15,33576	0	0	0	47,9	134,814
-2	6,26	5,82	0	-0,154	0,98809	58,293	-8,968172	57,59913	6,19	18,57	0,56	32,25551	0	0	0	47,9	279,224
-1	6,26	7,93	0,85	-0,077	0,99704	93,315	-7,178053	93,038201	6,18	18,54	0,56	52,10139	0,85	5,253	2,94168	47,9	446,977
0	6,26	9,19	2	0	1	124,72	0	124,72424	6,26	18,78	0,56	69,84557	2	12,52	7,0112	47,9	597,429
1	6,26	10,26	2,66	0,0769	0,99704	146,22	11,248064	145,79158	6,18	18,54	0,56	81,64328	2,66	16,4388	9,205728	47,9	700,417
2	6,26	11,14	2,96	0,1538	0,98809	159,94	24,60623	158,03637	6,19	18,57	0,56	88,50037	2,96	18,3224	10,260544	47,9	766,115
3	6,26	11,8	2,94	0,2308	0,97301	166,22	38,35945	161,73764	4,79	14,37	0,56	90,57308	2,94	14,0826	7,886256	47,9	796,214
4	6,26	12,22	1,92	0,3077	0,95149	153,77	47,312502	146,30583	6,07	18,21	0,56	81,93127	1,92	11,6544	6,526464	47,9	736,537
5	6,26	11,42	1,18	0,3846	0,92308	133,66	51,408565	123,38056	6,67	20,01	0,56	69,09311	1,18	7,8706	4,407536	47,9	640,242
6	6,26	10,98	0	0,4615	0,88712	109,98	50,758006	97,561647	7,09	21,27	0,56	54,63452	0	0	0	47,9	526,784
7	6,26	8,68	0	0,5385	0,84265	86,939	46,813243	73,259055	6,66	19,98	0,56	41,02507	0	0	0	47,9	416,437
8	6,26	5,81	0	0,6154	0,78823	58,193	35,811052	45,869261	5,65	16,95	0,56	25,68679	0	0	0	47,9	278,744
9	6,26	2,34	0	0,6923	0,7216	23,437	16,22592	16,912514	3,03	9,09	0,56	9,471008	0	0	0	47,9	112,265

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	Dn	a*Gn*dn
-4	6,92	1,76	0	-0,286	0,95831	19,487	-5,567634	18,674413	3,04	9,12	0,56	10,45767	0	0	0	47,9	93,3414
-3	6,92	6,01	0	-0,214	0,97677	66,543	-14,25915	64,997001	6,96	20,88	0,56	36,39832	0	0	0	47,9	318,74
-2	6,92	8,31	1,67	-0,143	0,98974	122,17	-17,45293	120,91746	6,99	20,97	0,56	67,71378	1,67	11,6733	6,537048	47,9	585,197
-1	6,92	9,6	3,72	-0,071	0,99745	173,48	-12,39135	173,03575	6,93	20,79	0,56	96,90002	3,72	25,7796	14,436576	47,9	830,964
0	6,92	10,7	5,28	0	1	213,83	0	213,83354	6,98	20,94	0,56	119,7468	5,28	36,8544	20,638464	47,9	1024,26
1	6,92	11,56	6,58	0,0714	0,99745	246,84	17,631073	246,20453	6,93	20,79	0,56	137,8745	6,58	45,5994	25,535664	47,9	1182,34
2	6,92	12,15	7,02	0,1429	0,98974	261,31	37,330632	258,63421	6,99	20,97	0,56	144,8352	7,02	49,0698	27,479088	47,9	1251,7
3	6,92	11,41	7,27	0,2143	0,97677	257,64	55,207809	251,65181	6,96	20,88	0,56	140,925	7,27	50,5992	28,335552	47,9	1234,08
4	6,92	11,34	7,13	0,2857	0,95831	254,33	72,666525	243,73093	3,04	9,12	0,56	136,4893	7,13	21,6752	12,138112	47,9	1218,25
5	6,92	10,94	6,57	0,3571	0,93405	239,79	85,639201	223,97557	6,07	18,21	0,56	125,4263	6,57	39,8799	22,332744	47,9	1148,59
6	6,92	10,27	5,53	0,4286	0,90351	213,59	91,537661	192,97833	5,77	17,31	0,56	108,0679	5,53	31,9081	17,868536	47,9	1023,09
7	6,92	9,34	3,93	0,5	0,86603	174,39	87,196498	151,02876	5,25	15,75	0,56	84,57611	3,93	20,6325	11,5542	47,9	835,342
8	6,92	8,26	1,74	0,5714	0,82065	122,88	70,217833	100,84269	4,74	14,22	0,56	56,4719	1,74	8,2476	4,618656	47,9	588,601
9	6,92	5,95	0	0,6429	0,76599	65,878	42,3504	50,461938	4,22	12,66	0,56	28,25869	0	0	0	47,9	315,558

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-4	72,35	5,29	0	-0,267	0,96379	612,37	-163,2988	590,19575	7,26	21,78	0,56	330,5096	0	0	0	47,9	2933,25
-3	72,35	6,79	2,77	-0,2	0,9798	1309,1	-261,8158	1282,6304	7,42	22,26	0,56	718,273	2,77	20,5534	11,509904	47,9	6270,49
-2	72,35	8,3	5,44	-0,133	0,99107	1988,1	-265,075	1970,3113	7,5	22,5	0,56	1103,374	5,44	40,8	22,848	47,9	9522,82
-1	72,35	9,64	7,57	-0,067	0,99778	2545,4	-169,6931	2539,7333	7,18	21,54	0,56	1422,251	7,57	54,3526	30,437456	47,9	12192,4
0	72,35	10,78	9,16	0	1	2977,6	0	2977,6077	7,18	21,54	0,56	1667,46	9,16	65,7688	36,830528	47,9	14262,7
1	72,35	11,66	10,38	0,0667	0,99778	3309,9	220,65689	3302,4899	7,18	21,54	0,56	1849,394	10,38	74,5284	41,735904	47,9	15854,2
2	72,35	12,22	11,09	0,1333	0,99107	3508,8	467,83343	3477,422	7,5	22,5	0,56	1947,356	11,09	83,175	46,578	47,9	16806,9
3	72,35	11,43	11,43	0,2	0,9798	3481,5	696,30074	3411,163	7,42	22,26	0,56	1910,251	11,43	84,8106	47,493936	47,9	16676,4
4	72,35	11,26	11,83	0,2667	0,96379	3537,4	943,29544	3409,266	7,26	21,78	0,56	1909,189	11,83	85,8858	48,096048	47,9	16943,9
5	72,35	10,83	10,83	0,3333	0,94281	3298,7	1099,5825	3110,0891	7,15	21,45	0,56	1741,65	10,83	77,4345	43,363332	47,9	15801
6	72,35	9,92	9,92	0,4	0,91652	3021,6	1208,627	2769,3124	7,14	21,42	0,56	1550,815	9,92	70,8288	39,664128	47,9	14473,3
7	72,35	8,85	8,36	0,4667	0,88443	2603,1	1214,7912	2302,2895	8,64	25,92	0,56	1289,282	8,36	72,2304	40,449024	47,9	12469
8	72,35	7,61	6,24	0,5333	0,84591	2059,3	1098,2691	1741,9341	8,03	24,09	0,56	975,4831	6,24	50,1072	28,060032	47,9	9863,83
9	72,35	6,36	3,43	0,6	0,8	1383,9	830,3595	1107,146	4,59	13,77	0,56	620,0018	3,43	15,7437	8,816472	47,9	6629,04
10	72,35	4,77	0	0,6667	0,74536	552,18	368,1168	411,56709	2,76	8,28	0,56	230,4776	0	0	0	47,9	2644,92

PDF-XCHANGE Click to buy NOW! www.tracker-software.com

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-5	7,6	4,99	0	-0,294	0,95577	60,678	-17,84659	57,994547	5,86	17,58	0,56	32,47695	0	0	0	47,9	290,65
-4	7,6	6,3	3,35	-0,235	0,97192	143,06	-33,66085	139,04212	7,62	22,86	0,56	77,86359	3,35	25,527	14,29512	47,9	685,251
-3	7,6	7,87	6,97	-0,176	0,98431	233,96	-41,28637	230,28439	7,98	23,94	0,56	128,9593	6,97	55,6206	31,147536	47,9	1120,65
-2	7,6	9,27	9,92	-0,118	0,99306	309,5	-36,41133	307,34701	7,6	22,8	0,56	172,1143	9,92	75,392	42,21952	47,9	1482,49
-1	7,6	10,46	12,44	-0,059	0,99827	373,95	-21,99726	373,3059	7,61	22,83	0,56	209,0513	12,44	94,6684	53,014304	47,9	1791,24
0	7,6	11,36	14,41	0	1	423,97	0	423,97436	7,71	23,13	0,56	237,4256	14,41	111,101	62,216616	47,9	2030,84
1	7,6	11,91	16,05	0,0588	0,99827	463,19	27,246671	462,39133	7,61	22,83	0,56	258,9391	16,05	122,141	68,39868	47,9	2218,7
2	7,6	11,06	17,27	0,1176	0,99306	477,06	56,124391	473,74438	7,6	22,8	0,56	265,2969	17,27	131,252	73,50112	47,9	2285,1
3	7,6	10,77	18,13	0,1765	0,98431	490,59	86,574685	482,89052	7,98	23,94	0,56	270,4187	18,13	144,677	81,019344	47,9	2349,93
4	7,6	10,05	18,59	0,2353	0,97192	490,96	115,51982	477,17517	7,62	22,86	0,56	267,2181	18,59	141,656	79,327248	47,9	2351,69
5	7,6	8,97	18,61	0,2941	0,95577	478,22	140,65387	457,07098	5,86	17,58	0,56	255,9597	18,61	109,055	61,070576	47,9	2290,69
6	7,6	7,56	18,1	0,3529	0,93565	450,96	159,16278	421,93982	8,75	26,25	0,56	236,2863	18,1	158,375	88,69	47,9	2160,1
7	7,6	5,96	16,92	0,4118	0,91129	408,1	168,04065	371,89636	8,44	25,32	0,56	208,262	16,92	142,805	79,970688	47,9	1954,79
8	7,6	4,33	14,99	0,4706	0,88235	349,99	164,70327	308,81862	7,77	23,31	0,56	172,9384	14,99	116,472	65,224488	47,9	1676,47
9	7,6	1,69	12,06	0,5294	0,84837	259,77	137,52665	220,38195	8,91	26,73	0,56	123,4139	12,06	107,455	60,174576	47,9	1244,31
10	7,6	0,26	8,3	0,5882	0,80869	167,8	98,706118	135,69848	8,02	24,06	0,56	75,99115	8,3	66,566	37,27696	47,9	803,764
11	7,6	0	2,13	0,6471	0,76244	42,251	27,338675	32,213612	2,04	6,12	0,56	18,03962	2,13	4,3452	2,433312	47,9	202,381