



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 PROJET DETAILLEE DE LA DIGUE
D'UN PETIT BARRAGE SUR OUED TYGHZEL
COMMUNE D'EL MAYNE (W. AIN DEFLA)**

Présenté par :

M^r. AMARI MOHAMED

DEVANT LES MEMBRES DU JURY :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r M.HASSANE	M C B	Président
M^{me} A.ADDOU	M A A	Examinatrice
M^r A.HADJ SADOK	M C B	Examineur
M^r A.HEBBOUCHE	M A A	Examineur
M^r R.REKROUK	M A B	Examineur
M^{me} N.HADJ SADOK	M A A	Promotrice

Septembre 2012



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

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

A mon défunt père, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma mère qui est un être cher et celle qui ma bercé d'un amour sincère.

A ma grande mère.

A mes frères et sœurs.

A mes chers neveux Sofiane, Kamel, Nabil et Mohamed.

A toute la famille AMARI.

A tous mes amis, sans exception.

M.AMARI 2012 ✍



Remerciement

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Tout d'abord, tout louange à dieu qui m'a fourni le courage, la capacité et la patience pour réaliser ce modeste travail avec toutes ses difficultés et ses obstacles.

Je voudrais remercier spécialement ma promotrice Madame Nabila HADJ SADOK, Enseignante à l'ENSH, pour avoir assuré de manière agréable le suivi de mon travail et pour m'avoir fait profiter de son expérience. Ses compétences scientifiques, ses conseils et sa qualité humaine ont permis de réaliser ce travail dans un climat très favorable. Sa disponibilité ainsi que ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je remercie également Monsieur Mohamed HASSANE, Maître de Conférence à l'ENSH, et Monsieur Mustafa Kamel MIHOUBI, Maître de Conférence à l'ENSH qui m'a enseigné l'Ouvrage Hydrotechnique durant mon cursus.

Je remercie également Monsieur Ismail KIRAT pour son soutien moral et son aide constante.

Un merci particulier à Monsieur Abdelmadjid BOUFEKANE pour la qualité de sa collaboration, notamment dans la finalisation des planches.

Mon respect s'adresse aux membres de jury Messieurs Mohamed HASSANE, Ahmed HADJ SADOK, Abdelhamid HEBBOUCHE, Remdane REKROUK et Madame: Anissa ADDOU. Qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Sans oublier de remercier tous mes enseignants sans exception.

Je n'oublie pas non plus tous mes amis et les membres de ma famille qui m'ont toujours encouragé. Je pense à, Abdelhak REZKALLAH, Amine KERAKRA, Charef eddin AGOUNE, Djamel BOUMRICHE et Mahmoud AMARI.

M.AMARI 2012 ✍



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Résumé

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la conservation des eaux superficielles en Algérie précisément à Ain Defla. L'étude que nous avons menée dans ce mémoire est consacrée à l'implantation d'un petit barrage sur Oued Tighzel. L'étude approfondie des différentes phases (géologique, hydrologique et topographique) nous a permis de choisir la variante la plus adéquate à l'implantation de cet ouvrage et de vérifier sa stabilité.

Pour la réalisation, nous avons élaboré une note explicative contenant les différentes étapes de calcul.

Abstract

The present study belongs to the general topic of the superficial water resources conservation in Algeria, precisely in Ain Defla. The study that we have carried out in this dissertation is devoted to the establishment of a small dam on Oued Tighzel. The choice of the most adequate alternative to the small dam insertion and its stability verification were made after a deep study of the various phases (geology, hydrology and topography).

For the realization, we prepared an explanatory note containing the various stages of calculation.



Sommaire

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

faisabilité

I.1 Situation topographique, géologique et géotechnique	1
I.1.1 situation géographique et topographie du site:	1
I.2. Géologie de la zone d'étude	1
I.2.1. Stratigraphie	1
I.2.2. Tectonique :	2
I.2.3.Sismicité	4
I.2.4. Géologie de la cuvette et du site de barrage :	4
I.2.5. Matériaux de constructions :	5
I.3. Hydrogéologie :	6
I.4. Hydrologie :	6
I.4.1.Données climatologiques	6
I.4.2.Crués du projet :	8
I.4.3.Envasement	8
I.4.4.Régularisation :	8
I.5.Conceptions de barrage	9
I.5.1 Digue :	9

2^{ème} Partie: Etude D'avant-projet Détaillée De La Digue

Chapitre I : Etude Hydrologique

Introduction:	10
I.1 Le bassin versant	10
I.1.1.Caractéristiques physiques du bassin versant	10
I.1.2. Caractéristiques hydro morphologiques	10
I.1.3.Hypsométrie du bassin versant	11
I.1.4.Les indices	14
I.1.5.Caractéristiques hydrographiques de bassin versant :	15
I.1.6.Profil en long de l'Oued :	17
I.2 Caractéristiques climatique du bassin versant:	19
I.2.1 Température :	19
I.2.2 Evaporation:	19
I.2.3 Pluviométrie	20
I.3. Les précipitations maximales journalières :	21
I.3.1.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GUMBEL :	21
I.3.2.Ajustement de la série pluviométrique à la loi de GALTON (log-normale) :	22
I.4 La pluie de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités :	23

I.5. Les apports :	26
I.5.1. Apport moyen annuel	26
I.5.2. Apport solide et l'estimation du volume mort :	27
I.7. Etude des crues	28
I.7.1. Formule de Sokolowsky	29
I.7.2. Méthode rationnelle	29
I.7.3. Formule de Mallet Gauthier	29
I.7.4. Formule de Giandotti	29
I.7.5. La crue de projet	31
I.7.6. Hydrogramme de crue	31
I.8. Régularisation :	33
I.8.1. Courbes «Hauteurs-Capacités-Surfaces»	34
I.8.2. Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes	34
I.8.3. Régularisation interannuelle	35
I.9. Laminage des crues	36
I.10. Etude d'optimisation	39
I.10.1. La revanche :	39
I.10.2. Le tassement :	40
I.10.3. La largeur en crête :	40
I.10.4. Calcul des coûts :	41
Conclusion	42



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Chapitre II : Etude Des variantes

Introduction:	43
II.1 Le choix du site du barrage :	43
II.2 Le choix du type de barrage :	43
II.3 Les variantes à choisir :	45
II.3.1. Barrage en enrochement avec masque en béton	45
II.3.2. Barrage zoné a noyau d'argile:	45
II.3.3. Barrage en terre homogène à membrane souple	45
II.4 Définition du profil général du barrage :	45
II.4.1 Hauteur de barrage :	45
II.4.2 Largeur en crête :	46
II.4.3 La longueur en crête :	46
II.4.4 Pentés des talus :	46
II.4.5 Les bermes :	46
II.5. Barrage zoné a noyau d'argile :	46
II.6. Barrage en terre homogène à membrane souple	49
II.6.2 Complexe bentonite-géotextile	49
II.6.3 Ancrage de la membrane	50
II.6.4 Pentés des talus	51
II.6.5. Clé d'ancrage	52
II.6.6. Prisme aval	52



Chapitre III : Conception Détaillée De La Digue

Introduction 55

III.1 Conception de La Digue : 55

 III.1.1 la revanche du barrage : 55

 III.1.2 la hauteur du barrage : 55

 III.1.3 largeur en crête : 55

 III.1.4 Classification de l'ouvrage 55

 III.1.5 Les bermes..... 56

 III.1.6 Pentes des talus 56

 III.1.7 Protection des talus 57

 III.1.8.La membrane souple 58

 III.1.9.Calcul des filtres 60

 III.1.10.Prisme aval 62

III.2 Etanchéité du barrage : 62

 III.2.1 La clé d'ancrage : 62

 III.2.2 Protection de la crête : 62

Chapitre IV : Etude D'infiltration

Introduction : 63

IV.1 Défaut d'étanchéité et conséquences des infiltrations : 63

IV.2 Hypothèses simplificatrices dans les calculs de filtration hydraulique des barrages
en terre
..... 63

IV.3 La ligne de saturation : 63

IV.4.Evaluation des fuites à travers le corps du barrage 65

IV.5. Evaluation des fuites à travers le corps du barrage..... 65

IV.6.Verification de la résistance d'infiltration de la fondation 65

Conclusion 66

Chapitre V : Etude De Stabilité

Introduction 67

V.1 Conséquences de l'instabilité des talus 67

V.2 Méthode de calcul : 67

 V.2.1.Principe de la méthode : 68

 V.2.2.Calcul des forces appliquées à chaque tranche : 69

 V.2.3. Classement des forces : 70

V.3 Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement : 71

 V.3.1. Fin de construction (talus amont et aval) : 71

 V.3.1.Fonctionnement normale (talus aval) : 72

 V.3.2.Vidange rapide (talus amont) : 72

Conclusion.....	73
-----------------	----



nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

VI.1 Organisation technique de préparation :	74
VI.2 Travaux préparatoires et installation de l'entreprise :	74
VI.2.1 Installations destinées au personnel :	74
VI.2.2 Installations destinées au stockage des matériaux :	74
VI.2.3 Installations destinées à la réparation des engins :	75
VI.2.4 Installation destinée pour la préfabrication :	75
VI.3.Travaux de réalisation :	75
VI.4.Les moyens de chantier :	75
VI.5.Planification :	77
VI.6.Les plannings :	79
VI.7.Délai de construction et programme des travaux :	79
VI.8.Symboles des différentes opérations :	80
VI.9.Détermination du chemin critique :	80
VI.10. l'avant-mètre et devis estimatif :	80
VI.2.Estimation du corps de la digue :	80

Chapitre VII: Protection Et sécurité Du Travail

Introduction :	83
VII.1 Causes des accidents de travail :	83
VII.2 .Les actions et conditions dangereuse	84
VII.3 Organisation de la prévention des accidents du travail :	84
Conclusion.....	86

Conclusion générale



Liste des tableaux

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7

Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Tableau I.01 : Les principales caractéristiques des matériaux d'empierrement	6
Tableau I.02 : Caractéristiques du bassin versant au site du barrage de Tighzel	6
Tableau I.03 : Température mensuelle et extrêmes de Fodda barrage	7
Tableau I.04 : Stations pluviométriques	7
Tableau I.05 : Répartition des précipitation	7
Tableau I.06 : Evaporation du plan d'eau	7
Tableau I.07 : Répartition des apports	8
Tableau I.08 : Crues de projet	8
Tableau I.09 : Modulation des besoins	8
Tableau I.01 : Coordonnées de la courbe hypsométrique	12
Tableau I.02 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)	15
Tableau I.03 : la longueur de cours d'eau principale en chaque altitude	17
Tableau I.04 : Caractéristiques hydro morpho métriques du bassin versant	18
Tableau I.05 : répartition mensuelle de la température	19
Tableau I.06 : répartition mensuelle de l'évaporation	19
Tableau I.07 : Stations pluviométriques	20
Tableau I.08 : Répartition des précipitations	20
Tableau I.09 : résultat de l'ajustement a la loi de Gumbel	21
Tableau I.10 : Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon	22
Tableau I.11 : résultat de l'ajustement a la loi de Galton	22
Tableau I.12 : Comparaison des caractéristiques de la loi de Galton et de l'échantillon	23
Tableau I.13 : Pluies, intensité et débit caractéristique de fréquence donnée	23
Tableau I.14 : Récapitulatif	27
Tableau I.15 : Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel	27
Tableau I.16 : Les résultats de calcul des crue	30
Tableau I.17 : Hydrogramme de crue centennale	31
Tableau I.18 : La répartition mensuelle de l'apport 80%	33
Tableau I.19 : Répartition mensuelle des besoins en eau	33
Tableau I.20 : Courbe topographique et volumétrique	34
Tableau I.21 Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes	35
Tableau I.22 : Résultats de calcul par la méthode de KOTCHERINE	37
Tableau I.23 : La revanche	39
Tableau I.24 : Calcul d'optimisation	41
Tableau I.25 : Tableau récapitulatif	42
Tableau II.01 : Valeurs indicatives des pentes des talus	46
Tableau II.02 : Les valeurs de C en fonction de la pente du talus et du poids	47
Tableau II.03 : Valeur de I_{adm} en fonction du type d'ouvrage	47
Tableau II.04 : Les propriétés physiques de la membrane	50
Tableau II.05 : Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues	52
Tableau II.06 : les coûts des variantes étudiant	53
Tableau III.01 : Classe de barrage en terre en fonction du type de la fondation	56
Tableau III.02 : Valeurs indicatives des pentes des talus	56
Tableau III.03 : Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues	58
Tableau III.04 : Les propriétés physiques de la membrane	59
Tableau IV.01 : Coordonnées de la ligne de saturation	64
Tableau IV.02 : Gradient hydraulique admissible	65

Tableau V.03 : Détermination du coefficient de sécurité.....	66
Tableau V.04 : détermination des rayons max et min.....	68
Tableau V.02 : les valeurs admissibles des coefficients de sécurité.....	68
Tableau V.03 : Les caractéristiques géotechniques des sols.....	72
Tableau V.04 : coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement.....	73
Tableau VI.01 : symboles des opérations.....	80
Tableau VI.02: mètres et devis estimatif.....	81



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message



Liste des figures

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7

Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Figure I.01 : Extrait de la carte géologique d'El Ouarsenis oriental (1/200'000).....	3
Figure I.01 : répartition et courbe hypsométrique	12
Figure I.02 : Topographie du bassin versant	13
Figure I.03 : Profil en long du cours d'eau principal.....	17
Figure I.04 : La répartition mensuelle des températures.....	19
Figure I.05 : répartition mensuelle de l'évaporation.....	20
Figure I.06 : Répartition mensuelle des précipitations	20
Figure I.07 : représentation graphique de la loi de Gumbel.....	21
Figure I.08 : représentation graphique de la loi log-normale.....	22
Figure I.09 : Pluies de Courte durée	25
Figure I.10 : Intensité –Durée -Fréquence	25
Figure I.11 : Hydrogramme de crue centennale	33
Figure I.12 : Courbes de $H= f(q)$	38
Figure I.13 : la courbe d'optimisations des coûts en fonction de la largeur b du déversoir.....	41
Figure V.01 : Représentation de la méthode de calcul	69
Figure VII.01 : Organigramme de la prévention	85



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Liste des plans

Plans N° 01 : vue en plan de l'aménagement	Echelle : 1/500
Plans N° 03 : coupe type des trois variantes	Echelle : 1/200
Plans N° 04 : coupe type de la digue détaillée	Echelle : 1/200
Plans N° 05 : coupes en travers de la digue	Echelle : 1/200
Plans N° 06 : schémas de calcul de stabilité	Echelle : 1/750
Plans N° 07 : organisation de chantier	Echelle :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

INTRODUCTION GENERAL

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

Dans le cadre de la mobilisation de ces ressources en vue d'une utilisation rationnelle et planifiée ce facteur vital, dans la wilaya de Ain Defla pour l'exploitation des périmètres d'irrigation, ils ont lancé une opération d'étude de faisabilité d'un petit barrage à travers l'oued de Tighzel (Commune d'El Maine).

L'étude de faisabilité est le premier pas et la base pour accomplir et entamer l'Avant-projet Détaillé, ce dernier fera l'objet de ce mémoire.

Pour mener à bien notre travail on l'a devisé en deux parties :

Une première partie présente la synthèse de l'étude de faisabilité, et la deuxième partie présente "étude d'Avant-Projet Détaillé de la digue". Nous avons tenu à ce que APD soit composé de deux axes : le premier étant une analyse détaillée des données pluviométriques et géomorphologiques en vue de déterminer toutes les paramètres hydrologiques nécessaires pour la conception de notre barrage, et le calcul de l'optimisation dans le but de trouver un compromis économique entre la largeur du seuil déversant et la hauteur de la digue, le second, présentera les variantes possibles qui sont déterminées à partir d'une analyse géologique du site, la disponibilité des matériaux et le facteur économique, puis une étude de conception détaillée de la digue est faite afin de déterminer l'avant mètre et le devis estimatif de la digue.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

1^{ere} partie :

SYNTHESE DE L'ETUDE DE FAISABILITE

I.1 Situation topographique, géologique et géotechnique

I.1.1 Situation géographique et topographie du site:

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Le site est localisé dans la wilaya de Ain Defla daïra d'El Attaf, commune d'El Maine, à une dizaine de kilomètres au sud de la ville d'El Attaf.

Les coordonnées du site retenues d'après la carte d'état-major (El Attaf) feuille N° NJ31-11-8 échelle 1/50000 sont :

X=411.35km

Y = 314.7km

Z = 307.0 m

Les travaux topographiques réalisés par l'ENHPC dans le site et la cuvette sont jugés suffisants et sont :

- plan du site échelle 1 /500
- plan de la cuvette 1/2000

I.2. Géologie de la zone d'étude :

I.2.1. Stratigraphie :

De manière générale, la série stratigraphique de la région d'étude, est extrêmement variée, elle englobe des terrains appartenant au primaire, au Trias, au Jurassique, au Crétacé, au Miocène et au Pliocène.

Les terrains constituant le substratum anté-miocène sont formés de schistes gréseux, quartzites du permien et de gypses avec argiles irisées et cargneules du trias.

-Le jurassique est essentiellement calcaire et dolomitique avec des massifs calcaires compacts à la base et schistes gréseux et marno-calcaires au sommet, le reste du matériel est anté-miocène qui affeure abondamment au sud de plaine et représenté par des terrains crétacés allochtones.

-L'Albien quant à lui présente le faciès flysch, le cénonanien est calcaire-marneux, et le Sénonien est argileux marneux avec des zones de calcaires marneux.

-L'éocène affleurant à la faveur de failles et contacts anormaux présente un faciès argilo-gréseux et marno-calcaire.

-Le miocène supérieur débute par une série de marnes bleues helvétiques et se termine par des grès sableux du tortoraient.

-Le pliocène comprend des bancs de grès sableux sur une épaisseur de plus de 100m.

Il ne peut être observé une limite franche entre le miocène et le pliocène, ce qui a mené à l'emploi du terme miopliocène pour la désignation de ce faciès.

En fin signalons que le crétacé dans la vallée de l'oued Tighzel est principalement représenté par des alluvions avec amas de galets et blocs roulés intercalés de passes argileuses et limoneuses.

I.2.2. Tectonique :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Pour ce qui nous concerne nous retiendrons le fait que les berges de l'oued Tighzel soient entrecoupées de petites failles à rejet verticale mettant en contact des terrains d'âges différents mettant en exergue une activité tectonique locale cassante.

I.2.2.1. Aspects géomorphologique :

La zone d'étude est attribuée à la dépression du Cheliff allongée d'Est en Ouest et qui correspond à un vaste synclinorium du miocène inférieur et supérieur tronqué par des surfaces d'érosion plio- quaternaires faiblement déformées.

A l'échelle plus réduite et d'après la carte géologique de l'Ouarsenis orientale au 1 :200.000^e dressée par Mattaui ainsi que la carte d'el Attaf au 1 :50.000^e, la région d'étude et plus spécialement le bassin versant de l'oued Tighzel fait partie du grand massif de l'Ouarsenis qui lui-même appartient au tertiaire méridional, il est situé dans la région des Beni Boudouane .



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message



Echelle : 1 / 200.000è

LEGENDE

QUATERNAIRE	ALBIEN INFÉRIEUR ET MOYEN	TURONIEN SUPÉRIEUR
q _A	n ¹	c ^{2a}
Eboulis de pente	Calcaires à Béliornites et marnes argileuses	TURONIEN INFÉRIEUR
q _B	APTIEN	c ^{2b}
Caluvions	n ²	marnes argileuses
q _C	Alternance de marnes argileuses	MOICÈNE MOYEN
Alluvions actuelles	MOICÈNE MOYEN	m ³
q _D	MOICÈNE INFÉRIEUR	c ^{3a}
Alluvions récentes	m ^{3a}	Calcaires, Calcaires marneux
q _E	EMSCHERIEN	c ^{3b}
Alluvions récentes	c ^{3a4}	Alternance de calcaires marneux
q _F		c ^{3c}
Dépôts de marais		calcaires en plaquettes
PLIO-QUATERNAIRE		
p _A		
gres, graviers		

Figure I.02. Localisation géologique du barrage.

I.2.3. Sismicité :

 This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7. Buy now at www.nitropdf.com to remove this message.

La région Tighzel est située dans une zone à forte activité sismique démontrée par de nombreuses études réalisées par l'CTC et le CRAAG depuis de longue année, avant abouties au classement de la région en zone d'activité sismique III impliquant la prise en considération de toutes les précautions d'usage vis-à-vis des risques sismiques pour la réalisation des ouvrages, depuis la (RPA-2009.V:03) pour les ouvrages courants en retenant comme coefficient d'accélération sismique la valeur $A=0.25$.

I.2.4. Géologie de la cuvette et du site de barrage :**I.2.4.1. Géologie de la cuvette :**

Avec un relief collinaire, la cuvette de petit barrage Tighzel fait partie des contreforts d'avant-garde de l'Oursenis.

La transition entre la vallée et la montagne est formée par des cônes de déjection qui bordent la vallée d'oued Tighzel qui coule à pente relativement faible.

Une quinzaine de fouilles à la pelle mécanique réalisées de part et d'autre du cours d'eau dans la cuvette, ainsi que l'apport en informations pouvant être tirés des trois sondages profonds avec essais d'eau nous permettent d'établir le descriptif suivant :

I.2.4.1.1. Zone du lit du cours d'eau

Cette zone a été reconnue par les fouilles F1, F2, F3 en amont de l'axe et F12 en aval, Ainsi que le sondage S2 en appelons sur la berge gauche du cours d'eau.

Ces fouilles révèlent une alluvionnaire d'une puissance variant de 2 à 4m renfermant des galets, des graviers, des sables et des limons argileux.

Les blocs d'une centimètres de diamètres baignent dans une matrice argileuse.

I.2.4.1.2. Zone rive gauche :

Pour la description de cette rive les données des fouilles F5, F6, F7, F8, F9 et F14 seront exploitées ainsi que les renseignements pouvant être déduits du sondage S1.

Les résultats des essais effectués sur des échantillons de terre prélevés de ces fouilles attestent d'un matériau de recouvrement fin argileux renfermant une proportion de matériaux grossiers plus ou moins élevée, peu plastique dans les parties basses du versant mais le devenant beaucoup plus dans les parties hautes en raison de la baisse de la fraction grossière, ce qui en somme est tout à fait caractéristique de ces matériaux qui renferment entre 38 et 50% de fines, sachant que ce type de sol conserve les caractéristiques des matériaux fins si la fraction grossière y est présente à moins d'un tiers du volume.

I.2.4.1.3. Zone rive droite :

Pour le cas de la rive droite les fouilles F4, F10, F11, F13 et F15 ont été effectuées dans le souci de se faire une idée des potentialités en matériaux d'emprunt que pourrait renfermer cette rive.

Les résultats des essais sur les matériaux prélevés ainsi que celle du sondage S3 nous permettent de présenter succinctement la description suivante :

La rive droite de l'oued Tighzel présente un recouvrement argileux d'une puissance d'environ 2 à 3m reposant directement sur le substratum d'argile schisteuse feuilletée.

Ces argiles sont topacées en surface et plus franches en profondeur dans la zone de l'ouvrage et plus au sud.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

La lecture des logs stratigraphiques nous permet d'apprécier les fondations de l'ouvrage d'un point de vue qualitatif et structural qui de manière générale sont constitués dans la zone du lit d'argiles schisteuses formant le substratum et qui sont recouvertes d'une couche d'alluvions d'une puissance d'environ 4.30m d'après le sondage N° 02 sur la rive gauche en appelons sur la berge du cours d'eau à la cote 310.30 soit à 3.30m au-dessus de lit dont la cote est 307.00 environ.

Les logs stratigraphiques des trois sondages sont présentés en Annexe.

I.2.5. Matériaux d'emprunt :

Si l'étude initiale élaborée en 1991 proposait l'érection d'un remblai hétérogène constitué d'un noyau argileux et de recharges alluvionnaires pouvait se justifier à l'époque aisément en raison de l'absence sur le marché nationale de matériaux de substitution étanche synthétiques. Elle paraît néanmoins aujourd'hui dénuée de tout intérêt en raison des multiples inconvénients liés au prélèvement des argiles dans la cuvette de la retenue, et à certaines caractéristiques de ces matériaux qui ne sont pas tout à fait idéales dont :

- L'imperméabilité de la cuvette est assurée par un recouvrement de terrains argileux de faible épaisseur (entre 2 et 4m localement), leur prélèvement sur des profondeurs allant jusqu'à 3m (emprunt) pourrait être à l'origine de fuites considérable à travers les versants notamment droite en raison de la fracturation des terrains situés juste en dessous.

- Ces matériaux sont constitués d'une fraction fine conséquente oscillant entre 38 et 50% faisant d'eux des sols difficiles à mettre en place (compactage) en dehors des considérations de consolidation et des pressions hydrostatiques internes les rendant peu stables.

- Ces mêmes argiles présentent des coefficients de compression compris entre 0.131 et 0.177 qui témoignent des sols potentiellement compressibles faisant craindre des problèmes ultérieurs liés au risque de fissuration sous l'effet des tassements et de la déconsolidation.

- Une grande partie des fouilles exécutées dans ces matériaux révèle des limites de liquidités $\geq 50\%$ ce qui proscrit totalement leur utilisation hypothéquant ainsi l'existence d'argile saine en quantité suffisante.

En ce qui concerne les matériaux alluvionnaires, l'analyse du rapport montre qu'ils sont doués de bonnes caractéristiques mécaniques semblent disponible en quantités suffisantes tant en amont de l'ouvrage qu'en aval.

- Pour les calculs à venir nous résumons ci-dessous les principales caractéristiques des matériaux de remblai obtenus à partir des essais effectués lors de l'étude initiale qui sont :

- la quantité des matériaux dépasse le double du volume de remblais de la digue alors elle est suffisante.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Echantillons concernés	F1, F2, F3
Matrice grossière	83-85 %
perméabilité	10^{-6} m/s
Densité sèche	1.79 T/m^3
Densité humide	2.22 T/m^3
Densité saturée	2.25 T/m^3
Densité immergée	1.25 T/m^3
Angle de frottement interne	38°
cohésion	0.25 T/m^2

I.3. Hydrogéologie :

Les sondages de reconnaissance ainsi que les nombreux puits creusés dans le lit de l'oued ont mis en évidence la proximité de la nappe phréatique qui affleure pratiquement en période pluvieuse.

I.4. Hydrologie :

Dans cette présente partie, on fait le résumé de l'étude hydrologique de site du petit barrage sur oued Tighzel élaboré lors de l'étude de faisabilité.

Les principales caractéristiques physiques du bassin versant de l'oued Tighzel jusqu'au site du barrage sont les suivantes :

Tableau I.02 .Caractéristique du bassin versant.

DESIGNATION		SYMBOLE	UNITE	VALEURS
SUPERFICIE		S	Km^2	48
PERIMÈTRE DU BASSIN		P	Km	33.8
LONGUEUR DU TALWEG		L	Km	15
ALTITUDE	MOY	Hmoy	m	615
ALTITUDE	MAX	Hmax	m	1053
ALTITUDE	MIN	Hmin	m	318
INDICE DE COMPACTITE		Kc	-	1.37
RECTANGLE EQUIVALENT		L	Km	13.45
		B	Km	3.57
PENTE DU TALWEG		I	%	2.6

I.4.1. Données climatologique :

L'objectif de l'étude climatologique est de fournir des données sur le climat qui sont nécessaires à la construction des ouvrages du projet. La pluviométrie est traitée à part.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

De manière générale le climat de la région est caractérisé par un été chaud et sec et un hiver froid et humide.

La température moyenne dans cette région est de l'ordre 12.3°C, généralement les mois les plus froids sont octobre et novembre avec des températures oscillant entre 11 et 5°C.

Quant aux mois les plus chauds, il est certain que les mois de juillet et août sont tout à fait désignés avec des températures de l'ordre de 39.1 et 37.8°C, et de température moyenne mensuelle maximale de l'ordre de 29.2°C enregistrées à Fodda barrage.

Tableau I.03 . Les températures moyennes et extrêmes du site de fodda barrage.

T°C	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	année
Moy	19.7	14.8	9.00	6.00	4.70	5.80	8.50	11.3	15.2	20.3	23.8	24.2	13.6
Max	36.1	30.2	23.4	27.80	18.7	21.8	21.8	27.6	31.6	34.9	39.1	37.8	39.1
Min	6.0	1.10	2.5	6.00	4.90	7.20	9.00	3.30	15.2	5.5	9.0	8.8	9.0

I.4.1.2. Précipitation :

Tableau I.04 . Stations pluviométriques.

Station	Code	Altitude(m)	Pluie (mm)
Ruina	01 19 06	203	385.2
Tighzel	01 20 04	215	352.3

Tableau I.05. Répartition des précipitations.

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
P(mm)	19.4	41.7	49.7	50.4	53.8	62.3	55.2	44.9	36.1	10.1	3.3	3.1	430
%	4.5	9.7	11.6	11.7	12.5	14.5	12.8	10.4	8.4	2.4	0.8	0.7	100

I.4.1.3. Evaporation :

La détermination de l'évaporation du plan d'eau de la retenue d'oued Tighzel sera estimée d'après les mesures effectuées sur bac au niveau du Fodda barrage étant donné l'absence de mesures dans la région.

Tableau I.06 . Evaporation du plan d'eau.

station	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
Ev (mm)	161.6	82.2	46.4	33.1	30.5	38.4	66.2	87.4	136.5	174.9	241.2	226.6	1325
Ev %	12.2	6.2	3.5	2.5	2.3	2.9	5.0	6.6	10.3	13.2	18.2	17.1	100

I.4.1.4. Les Apports :

L'étude de la répartition mensuelle des apports nécessite une série d'observation assez représentative du phénomène, sur la base de laquelle une étude statistique pourra définir la contribution de l'écoulement annuelle, de chaque période considéré.

A défaut de l'existence d'une telle série, un recouplement sur la base des séries voisines



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Cette méthode, qui consiste à assimiler la répartition des apports mensuels à celle de la pluviométrie avec prise en compte de l'absence d'écoulement durant les mois d'étiage.

Tableau. I.07. Répartition des apports :

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
A(hm ³)		0.3	0.31	0.31	0.43	0.36	0.32	0.26	0.21				2.5
%		12.1	12.3	12.4	17.0	14.5	12.8	10.4	8.4				100

I.4.2. Crue de projet :

Tableau .I.08 . Crue de projet :

T	Freq de dep	Qmax(m ³ /s)	Volume(hm ³)
10	0.1	51	0.612
20	0.04	71	0.852
50	0.02	89	1.068
100	0.01	123	1.476
1000	0.001	167	2.004

I.4.3. Envasement :

En posant comme hypothèse que la densité des sédiments avoisines les 1.6 T/m³ que le délai de service de la retenue soit de 15 ans, et qu'en raison de la répartition spatiale des sédiments le long du cours d'eau en fonction de la vitesse d'écoulement et de celle de chute des éléments solides 70% de ces derniers atteigne la retenue, nous obtenons :

$$V_m = 199.400 \text{ m}^3$$

I.4.4. Régularisation :

L'étude de régularisation établit le plan d'exploitation de la retenue. Cet aménagement permet notamment d'accumuler les apports irréguliers des périodes humides pour les distribuer selon les besoins.

Pour la détermination des besoins mensuels il a été tenu compte de la narme d'irrigation de 7000 m³/ha/an inspirée de l'étude d'aménagement hydro-agricole de la plaine du bas Chellif.

Tableau.I.09. Modulation des besoins :

Mois	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
Be	842	350	0	0	0	0	140	630	979	1257	1538	1261	7000
%	12	5	0	0	0	0	2	9	14	18	22	18	100



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Pour le choix d'un axe de barrage, on s'efforce de réunir certaines conditions sur site, telle qu'il soit conféré au projet sécurité, économie et aisance du chantier.

Le choix proposé par l'étude initiale est très satisfaisant de ce point de vue car au de la de l'existence du rétrécissement pour la digue et d'une cuvette derrière, il permet aussi l'implantation en rive droite d'un ouvrage d'évacuation dans de bonnes conditions, et ne souffre nullement de problèmes d'accès.

Enfin il convient de signaler que pour optimiser les conditions d'implantation de l'évacuateur, l'axe initial de la digue a été reculé légèrement d'environ 40 m vers l'amont.

I.5.2. Digue :

Le choix du type de barrage, s'effectue sur la base des résultats des reconnaissances géologiques, géotechniques et topographiques dont la nature des fondations, la disponibilité d'emprunt, et la nature de relief.

Compte tenu de la hauteur du barrage et de son envergure, et vu les conditions géologiques du site et des matériaux disponibles, dont l'argile qui assure une bonne perméabilité, est cependant trop plastique pour permettre des travaux de compactage dans de bonnes conditions et est douée d'une faible résistance au cisaillement, qui de plus est sujette aux risques liés au mauvais comportement des argiles en région sismique.

Mais le facteur le plus dissuasif quant à son exploitation et utilisation en remblais reste sans nul doute le risque d'accroissement des pertes d'eau à travers les rives de la cuvette car elle en assure l'étanchéité actuellement.

Par ailleurs sachant la disponibilité des matériaux grossiers ou alluvions pratiquement le long de l'oued et au niveau des anciennes terrasses alluviales avec un potentiel d'exploitation très suffisant, ainsi que leurs aptitudes à tolérer des pentes assez raides de par leur bonne résistance mécanique, aussi leur meilleur comportement à l'état saturé que les argiles face aux ondes sismiques (liquéfaction) et leur faible potentiel de tassement en fait des matériaux très recherchés.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

2^{eme} partie :

**ETUDE D'AVANT PROJET DETAILLEE DE
LA DIGUE**



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE I :

ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

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

Les études hydrologiques donc sont très indispensables. Elles ont pour objectif d'étudier les conditions de la réserve d'une part et d'autre part d'estimer la crue contre laquelle il est nécessaire de protéger le barrage. Les études peuvent être basées sur la statistique si l'on

I.1. Le bassin versant :

Le bassin versant au droit d'une section de mesure est défini comme la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ces affluents en amont de cette section. Tous les écoulements qui prennent naissance à l'intérieur de cette surface topographique passe par la section de mesure pour suivre leur trajet à l'aval. Chaque bassin versant est séparé des autres par une ligne de partage des eaux.

I.1.1. Caractéristiques physiques du bassin versant :

Nous avons trouvé

- 1. Surface du bassin versant :

La superficie est obtenue après avoir déterminer les limites du bassin.

$$S=48Km^2$$

- 2. Périmètre du bassin versant :

$$P=33.8Km$$

- 3. Longueur du talweg principale :

$$L_p=15Km$$

I.1.2. Caractéristiques hydro morphologique :

I.1.2.1. Indice de compacité gravelius « Kc » :

Cet indice caractérise la forme du bassin versant.il est égale au rapport du périmètre du bassin versant considéré à celui d'un cercle qui aurait la même surface.

$$Kc = \frac{P}{Pc} = \frac{P}{2\pi R} ; R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} ; Pc = 2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}} \dots\dots\dots(1.01)$$

$$Kc = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots(1.02)$$

P:perimeter du bassin versant (Km)

S: surface du bassin versant (Km²)

Kc : indice de gravelius

$$Kc=1.37$$

Plus le coefficient s'approche de 1, plus la forme du bassin sera ramassée et plus le temps de concentration sera court. Elle sera allongée dans le cas contraire. Si la valeur de $Kc = 1.37$, on pourra dire que notre bassin est de forme allongée.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

I.1.2.2. Coefficient d'allongement :

Ce coefficient est obtenue par la relation :

$$Ca = \frac{L^2}{S} \dots\dots\dots(I.03)$$

L :longueur du talweg principale

S : superficie du bassin.

Ca=4.69

I.1.2.3. Rectangle équivalent :

C'est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimensions (L, l) ayant la même surface du bassin versant.

Le périmètre et la surface du rectangle sont respectivement :

$$P=2.(L+l) \text{ et } S=L.l \text{ -----(01) } \dots\dots\dots(I.04)$$

$$Kc=0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \text{ -----(02) } \dots\dots\dots(I.05)$$

De (01) et (02) en obtient une équation de 2^{eme} degré admet deux solutions L et l.

$$L = Kc \frac{\sqrt{S}}{1.128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \dots\dots\dots(I.06)$$

$$l = \frac{S}{L} \approx \frac{P}{2} * L \dots\dots\dots(I.07)$$

- avec: L:longueur du rectangle en Km
- l : largeur du rectangle en Km
- S : surface du bassin
- Kc : indice de compacité de gravelius.

$$L = 1.37 * \frac{\sqrt{48}}{1.128} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{1.37}\right)^2} \right] = 13.45 \text{ Km} \qquad L = 13.45 \text{ Km}$$

$$l = \frac{48}{13.45} = 3.57 \text{ Km} \qquad l = 3.57 \text{ Km}$$

I.1.3. Hypsométrie du bassin versant :

I.1.3.1. Courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique n'est rien d'autre qu'une représentation de la distribution statistique des altitudes sur le bassin versant.

Table I.01. Données de la courbe hypsométrique.

N°	Zone altitudinale	H moy (m)	S _i (Km ²)	S _i (%)	Alté. cumulée (%)
1	1053-1000	1026.5	0.09	0.19	0.19
2	1000-900	950	0.94	1.96	2.15
3	900-800	850	4.86	10.13	12.27
4	800-700	750	9.12	19.00	31.27
5	700-600	650	10.56	22.00	53.27
6	600-500	550	9.46	19.71	72.98
7	500-400	450	9.18	19.13	92.10
8	400-318	359	3.79	7.90	100

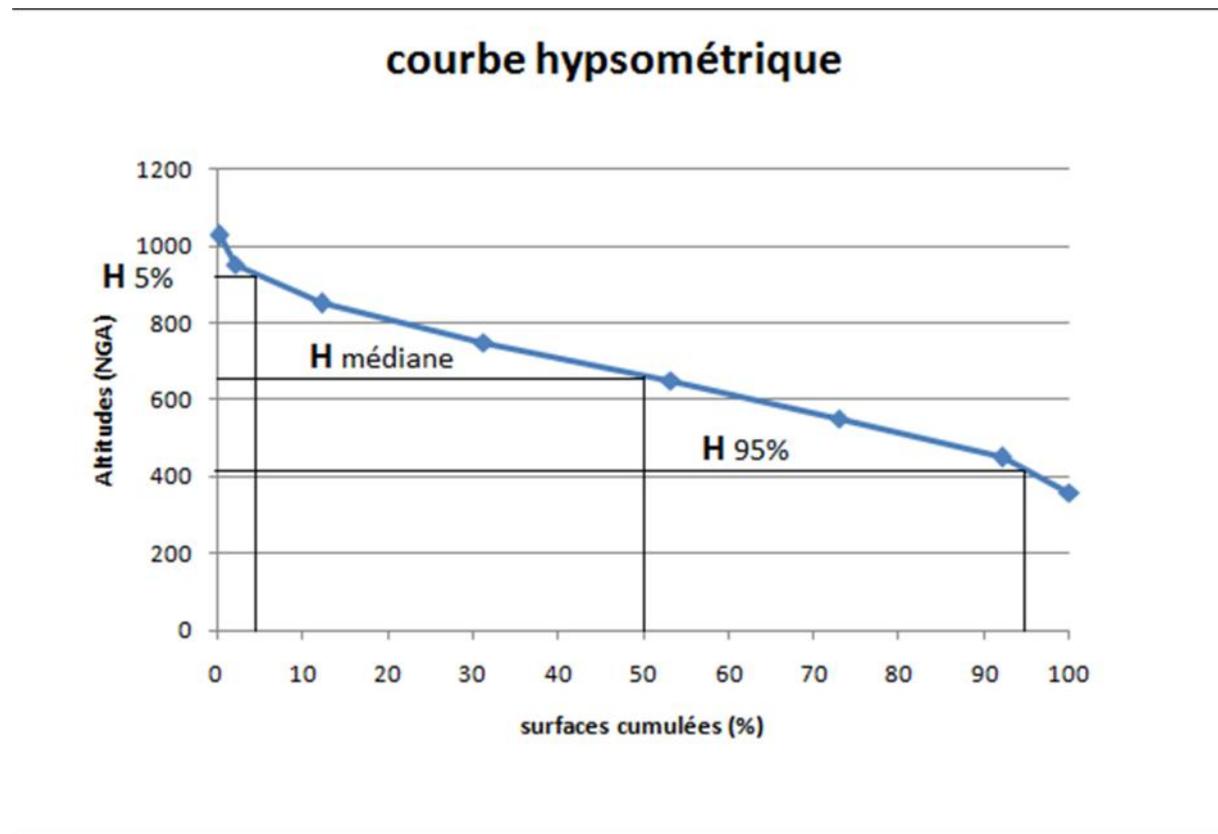
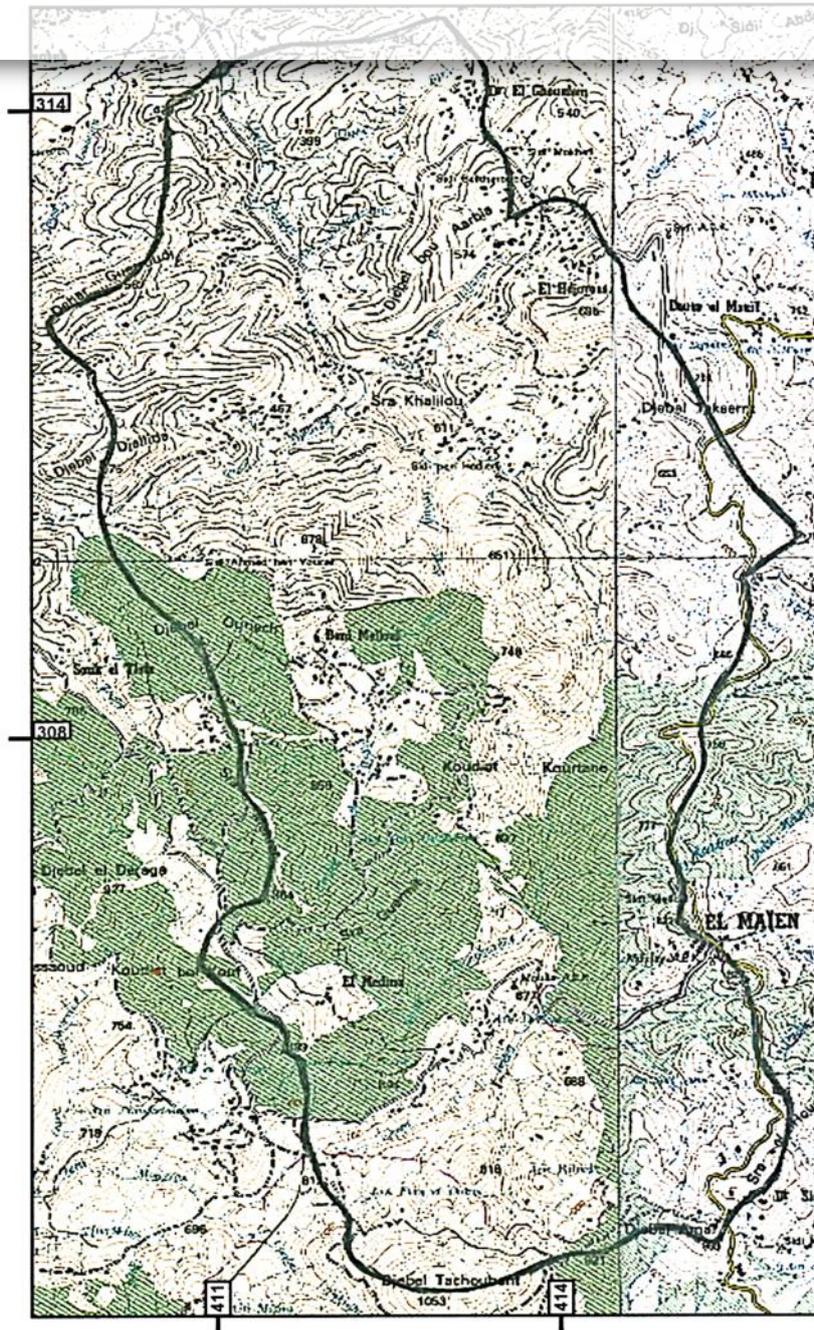


Figure I.01. Courbe hypsométrique



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message



Extrait des cartes d'état major EL ATTAF N° NJ-31-II-8 Ouest et Est (Ech : 1/50.000è)

Figure. I.02. Topographie du bassin versant

I.1.3.2. Altitude médiane :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

I.1.3.3. Altitude moyenne :

L'altitude moyenne est calculé par la formule :

$$H_{moy} = \frac{\sum Si \cdot Hi}{S} = 615m \qquad \qquad \qquad H_{moy} = 615m$$

- Si: surface partielle entre deux courbes de niveaux (Km²)
- Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m)
- S : superficie du bassin versant (Km²).

I.1.4. Les indices :

Le but de ces indices est de caractériser les pentes du bassin versant et permettre ainsi des comparaisons et des calcifications.

I.1.4.1. Indice de pente globale I_g :

Il est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin et la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L} \dots\dots\dots (I.08)$$

- D: dénivelée entre H_{5%} et H_{95%} (m)
- L :longueur du rectangle équivalent (Km)
- H_{5%} et H_{95%} sont respectivement les altitudes correspondantes à S_{5%} et S_{95%}

$$I_g = \frac{925 - 420}{13.45} = 0.38\% \qquad \qquad \qquad I_g = 0.38\%$$

I.1.4.2. Indice de pente de roche I_p :

I_p est la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondérée par les surfaces comprises entre deux courbes de niveaux H_i et H_{i-1}. Il est donné par la formule 1.9.

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_i^n \sqrt{Si(H_i - H_{i-1})} \dots\dots\dots (I.09)$$

- L: longueur du bassin versant(m)
- S_i : surface partielle (%) comprise entre deux courbes de niveau consécutives H_i et H_{i-1} (m)

Par ailleurs, cet indice est étroitement corrélé avec l'indice de pente globale I_g :

$$I_p = (I_g / 0.8)^{1/2} \dots\dots\dots (I.10)$$

$$I_p = (3.8 / 0.8)^{1/2} = 0.69\% \qquad \qquad \qquad I_p = 2.18\%$$

I.1.4. Indice de pente moyenne I_{pm} :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

$$I_{pm} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \dots\dots\dots (I.11)$$

$$I_{pm} = \frac{1053 - 318}{13.45} = 5.46\% \qquad \qquad \qquad I_{pm} = 5.46\%$$

I.1.4.4. Dénivelée spécifique:

Elle sert à comparer les indices de pentes des bassins des superficies différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M.

Tableau I.02. Classification O.R.S.T.O.M (type de relief) :

N°	Relief	$D_s(m)$
1	Très Faible	< 10
2	faible	25
3	Assez faible	50
4	modéré	100
5	Assez modéré	250
6	fort	500
7	Très fort	> 500

$$D_s = I_g \bar{s} \dots\dots\dots (I.12)$$

$$D_s = 25.64 \text{ m}$$

Conclusion :

Notre bassin a un faible relief.

I.1.4.5. Pente moyenne du bassin versant :

Elle est donnée par lala formule (I.12).

$$I_m = (\Delta H (0.5l_1 + l_2 + l_3 + \dots + 0.5l_n)) / S \dots\dots\dots (I.13)$$

ΔH : dénivelés entre deux courbes de niveaux successives

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$: les longueurs des courbes de niveaux l en (Km)

S : superficie du bassin versant

$$I_{moy} = 10.61\%$$

I.1.5. Caractéristiques hydrographiques du bassin versant :

Le réseau hydrographique est un réseau des cours d'eau convergent vers le cours d'eau principale

I.1.5. Densité de drainage :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Pour connaître la densité de drainage, il faut classer les cours d'eau. Il existe plusieurs classifications dont la plus courante est celle de Strahler, qui dit « un tronçon de rivière d'ordre (X+1) est formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (X) »

C'est le rapport entre la longueur totale de tous les talwegs du bassin et leur surface.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{S} \dots\dots\dots (I.14)$$

$\sum L_i$: la longueur de tous les cours d'eau égale à 57.12 km

$D_d = 1.19 \text{ Km/Km}^2$

I.1.5.2. Densité du talweg élémentaire :

$$F_1 = \frac{N_1}{S} \dots\dots\dots (I.15)$$

N_1 : nombre du talwegs d'ordre 1, $N_1=53$

$F_1 = 1.10 \text{ talweg/Km}$

I.1.5.3. Coefficient de torrentialité :

$$C_t = D_d * F_1 \dots\dots\dots (I.16)$$

$C_t = 1.31$

I.1.5.4. Longueur moyenne des versants :

$$L_i = \frac{L}{2D_d} \dots\dots\dots (I.17)$$

L : longueur du rectangle équivalent (Km)

$L_i = 5.65 \text{ Km}$

I.1.5.5. Pente moyenne de cours d'eau principale :

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots\dots\dots (I.18)$$

ΔH : différence d'altitude entre deux cours d'eau suffisamment éloignés

ΔL : la distance entre ces deux points

$I = 0.96 \%$

I.1.5.6. Temps de concentration du bassin versant :

On appelle temps de concentration T_c d'un bassin versant, la durée nécessaire pour que la pluie tombée sur le point le plus éloigné hydrologiquement de l'exutoire atteigne celui-ci.

Il existe plusieurs formules de détermination de cet paramètre, une des formules plus courantes c'est celle de GIANDOTTI.

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots (I.19)$$

L : longueur du talweg principale (Km)

H_{moy} : altitude moyenne (m)

H_{min} : altitude minimale (m)

S : surface du bassin versant (Km^2)

$T_c = 4 \text{ Heures}$

I.1.5 Vitesse de ruissellement :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

$$V_r = \frac{L}{T_c} \dots\dots\dots (I.20)$$

L : longueur du talweg principal (Km)

Tc : temps de concentration (h)

$$V_r = 3.75 \text{ Km/h}$$

I.1.6. Profil en long de l'oued :

Ce profil est tracé à partir de la carte topographique à l'échelle 1/50000 en tenant compte de l'altitude et de la longueur du cours d'eau.

Tableau I.3. Longueur de cours d'eau principale en chaque altitude.

N°	Courbe de niveaux (m)	Distances (km)	Distances cumulées (km)
01	900-800	0.59	0.59
02	800-700	1.3	1.89
03	700-600	3.31	5.2
04	600-500	4.7	9.9
05	500-400	2.86	12.76
06	400-318	2.24	15

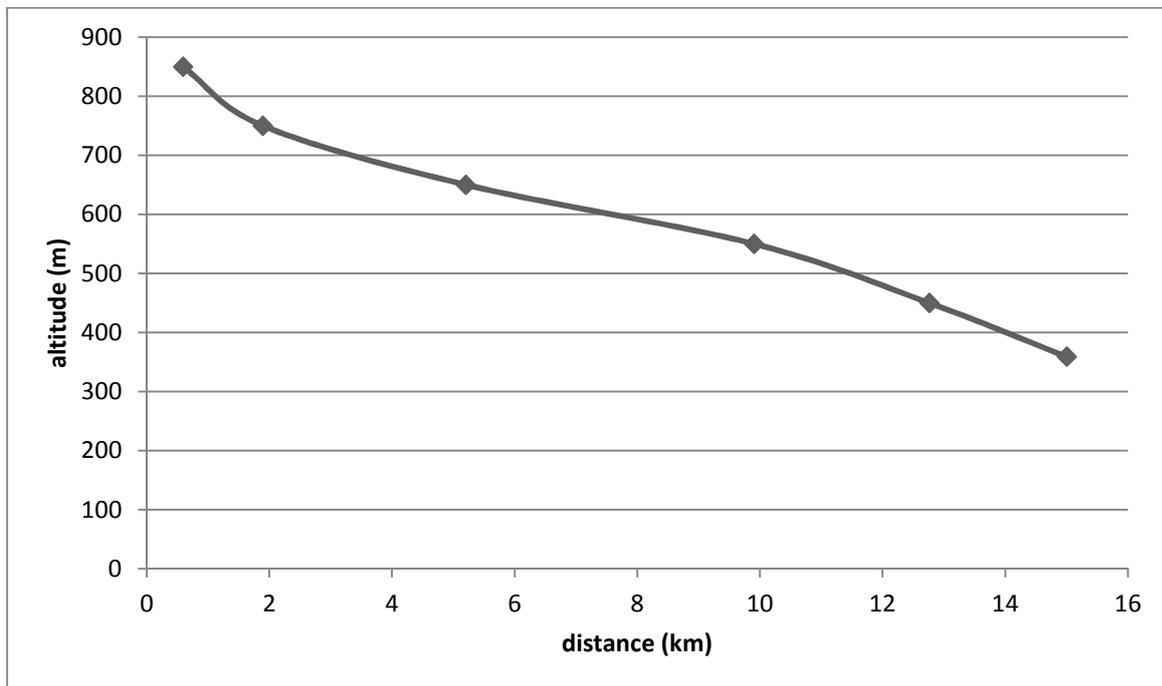


Figure I.3. Profil en long du cours d'eau principale.

Tableau I.04. Caractéristiques hydro morpho métriques du bassin versant :

		symbole	unités	valeur
superficie		S	Km ²	48
périmètre		P	Km	33.8
Longueur du talweg principal		L	Km	15
Indice de compacité		Kc	-	1.37
Coefficient d'allongement		Ca	-	4.69
Rectangle équivalent	longueur	L _r	Km	13.45
	largeur	L _r	Km	3.57
altitudes	maximale	H _{max}	m	1053
	moyenne	H _{moy}	m	615
	médiane	H _{méd}	m	680
	minimale	H _{min}	m	318
Indice de pente de roche		I _p	%	2.18
Indice de pente globale		I _g	%	3.8
Indice de pente moyenne		I _{pm}	%	5.46
Densité de drainage		D _d	Km/Km ²	1.19
Coefficient de torrentialité		C _t	-	1.31
Temps de concentration		T _c	h	4
Vitesse de ruissellement		V _r	Km/h	3.75

I.2. Caractéristiques climatiques du bassin versant :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

I.2.1. Température :

Tableau I.05. Les températures moyennes et extrêmes du site de fodda barrage :

T°c	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	année
Moy	19.7	14.8	9.00	6.00	4.70	5.80	8.50	11.3	15.2	20.3	23.8	24.2	13.6
Max	36.1	30.2	23.4	27.80	18.7	21.8	21.8	27.6	31.6	34.9	39.1	37.8	39.1
Min	6.0	1.10	2.5	6.00	4.90	7.20	9.00	3.30	15.2	5.5	9.0	8.8	9.0

Source : DRE Ain defla

La température moyenne annuelle de notre région est de **13.6°c**

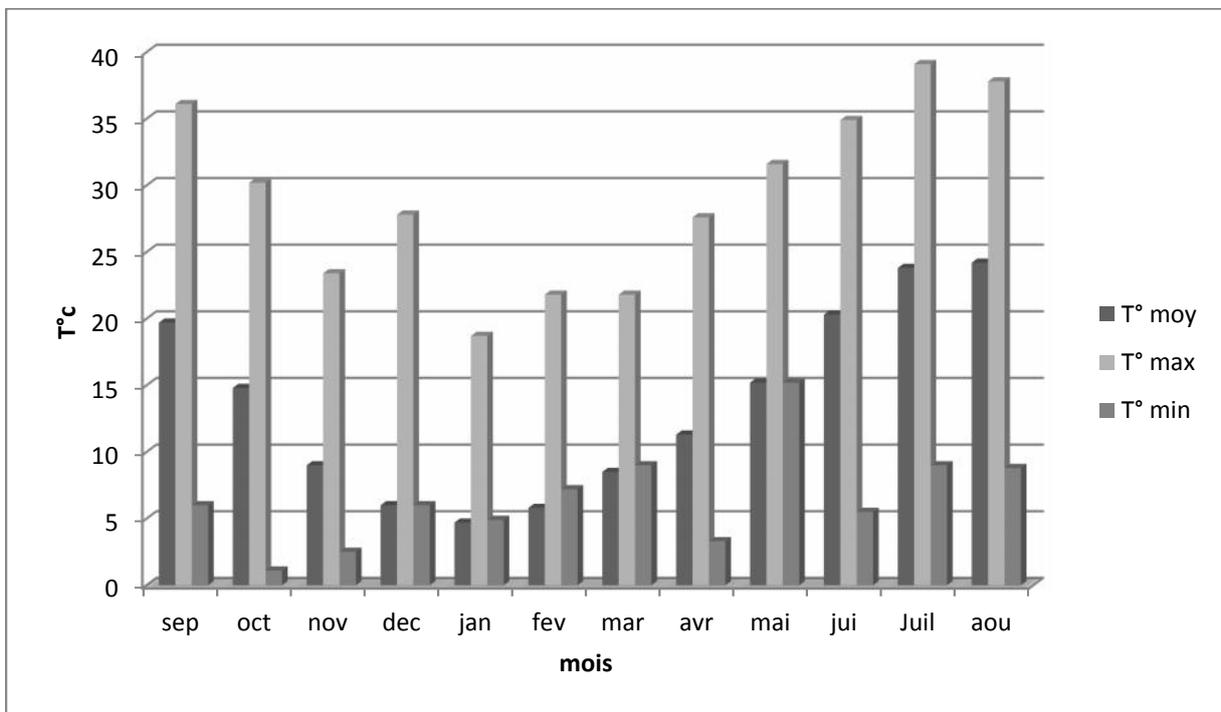


Figure I.4. Répartition mensuelle des températures

I.2.2. Evaporation :

La détermination de l'évaporation du plan d'eau de la retenue d'oued Tighzel sera estimée d'après les mesures effectuées sur bac au niveau du Fodda barrage étant donné l'absence de mesures dans la région.

Tableau I.06. Evaporation du plan d'eau :

station	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
Ev (mm)	161.6	82.2	46.4	33.1	30.5	38.4	66.2	87.4	136.5	174.9	241.2	226.6	1325
Ev %	12.2	6.2	3.5	2.5	2.3	2.9	5.0	6.6	10.3	13.2	18.2	17.1	100

Source : DRE Ain defla



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

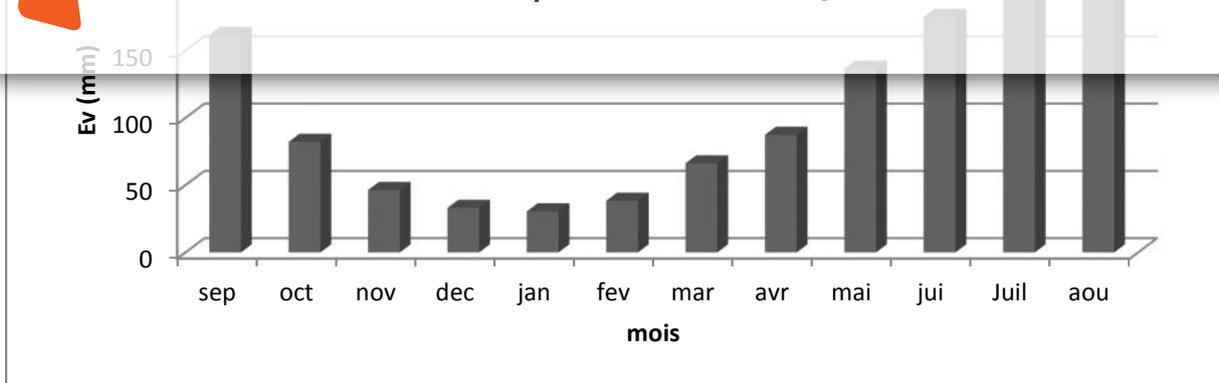


Figure I.5. Répartition mensuelle de l'évaporation

I.2.3.Pluviométrie :

Tableau I.07. Stations pluviométriques :

Station	Code	Altitude(m)	Pluie (mm)
Ruina	01 19 06	203	385.2
Tighzel	01 20 04	215	352.3

Tableau I.08. Répartition des précipitations (station Tighzel) :

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
P(mm)	19.4	41.7	49.7	50.4	53.8	62.3	55.2	44.9	36.1	10.1	3.3	3.1	430
%	4.5	9.7	11.6	11.7	12.5	14.5	12.8	10.4	8.4	2.4	0.8	0.7	100

Source : DRE Ain defla

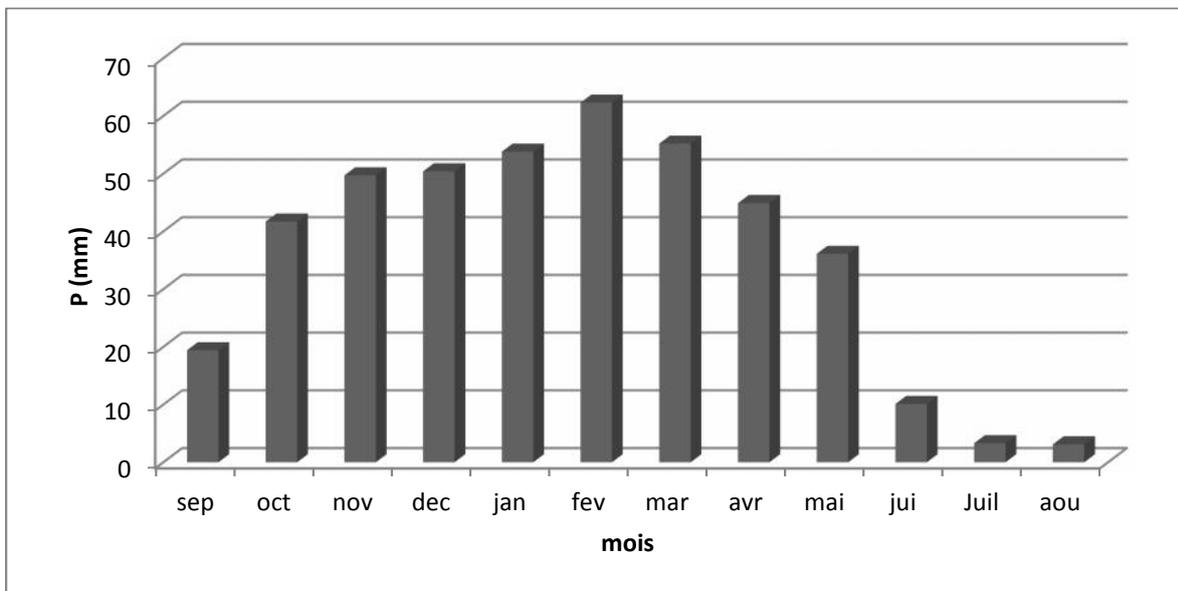


Figure I.6. Répartition mensuelle de précipitation.

I.3. L'ajustement des précipitations maximales journalières :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

maximales journalières par une loi théorique afin de déterminer une intensité de pluie et de période de retour.

Comme il existe plusieurs méthodes d'ajustement, on a choisi deux méthodes :

- 1- La loi de Gumbel
- 2- La loi de Galton (log normal)

I.3.1. L'ajustement de la série pluviométrique a la loi de Gumbel :

Tableau.1.09. Résultats de l'ajustement a la loi de Gumbel.

T	q	Xt	Ecart-type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	105	14.4	76.4 - 133
2000	0.9995	91.5	11.9	68.1 - 115
1000	0.999	85.8	10.9	64.5 - 107
200	0.995	72.7	8.43	56.1 - 89.2
100	0.99	67	7.38	52.5 - 81.4
50	0.98	61.3	6.33	48.9 - 73.7
20	0.95	53.7	4.96	44.0 - 63.4
10	0.9	47.8	3.93	40.1 - 55.5
5	0.8	41.7	2.91	36.0 - 47.4
3	0.6667	36.8	2.19	32.5 - 41.1
2	0.5	32.4	1.73	29.0 - 35.8

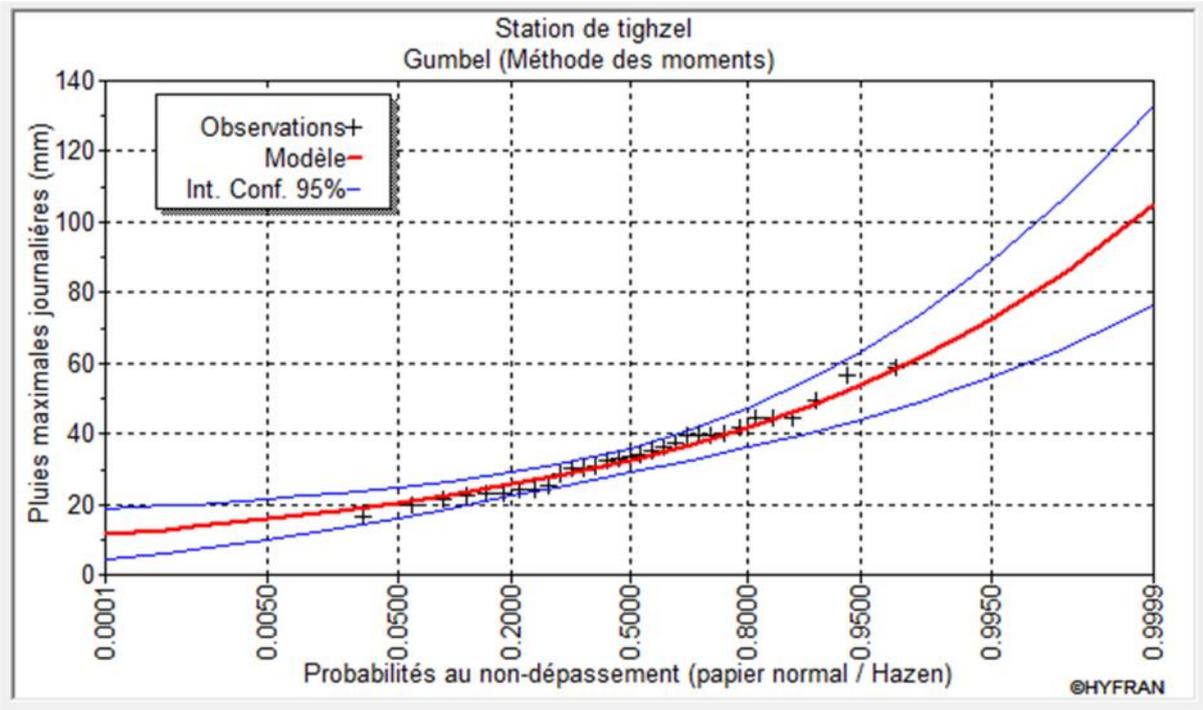


Figure.1.7. Représentation graphique de la loi de Gumbel

Tableau 10. Comparaison des caractéristiques de la loi de Gumbel et de l'échantillon.

nitro This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Paramètre	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Maximum	aucun	16.7
moyenne	34.1	34.1
Ecart-type	10.5	10.5
médiane	32.4	33.3
Coefficient de variation (Cv)	0.307	0.307
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.14	0.509
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.40	2.58

I.3.2.L'ajustement de la serie pluviométrique a la loi de Galton (log normal) :

Tableau.1.11.Résultats de l'ajustement a la loi de Galton.

T	q	Xt	Ecart-type	Intervalle de confiance
10000	0.9999	104	16.6	71.4 - 136
2000	0.9995	90.9	13.1	65.3 - 117
1000	0.999	85.4	11.7	62.6 - 108
200	0.995	72.8	8.58	56.0 - 89.6
100	0.99	67.3	7.35	52.9 - 81.7
50	0.98	61.9	6.18	49.8 - 74.0
20	0.95	54.5	4.72	45.2 - 63.7
10	0.9	48.6	3.7	41.4 - 55.9
5	0.8	42.4	2.77	36.9 - 47.8
3	0.6667	37.3	2.18	33.0 - 41.6
2	0.5	32.6	1.83	29.0 - 36.2

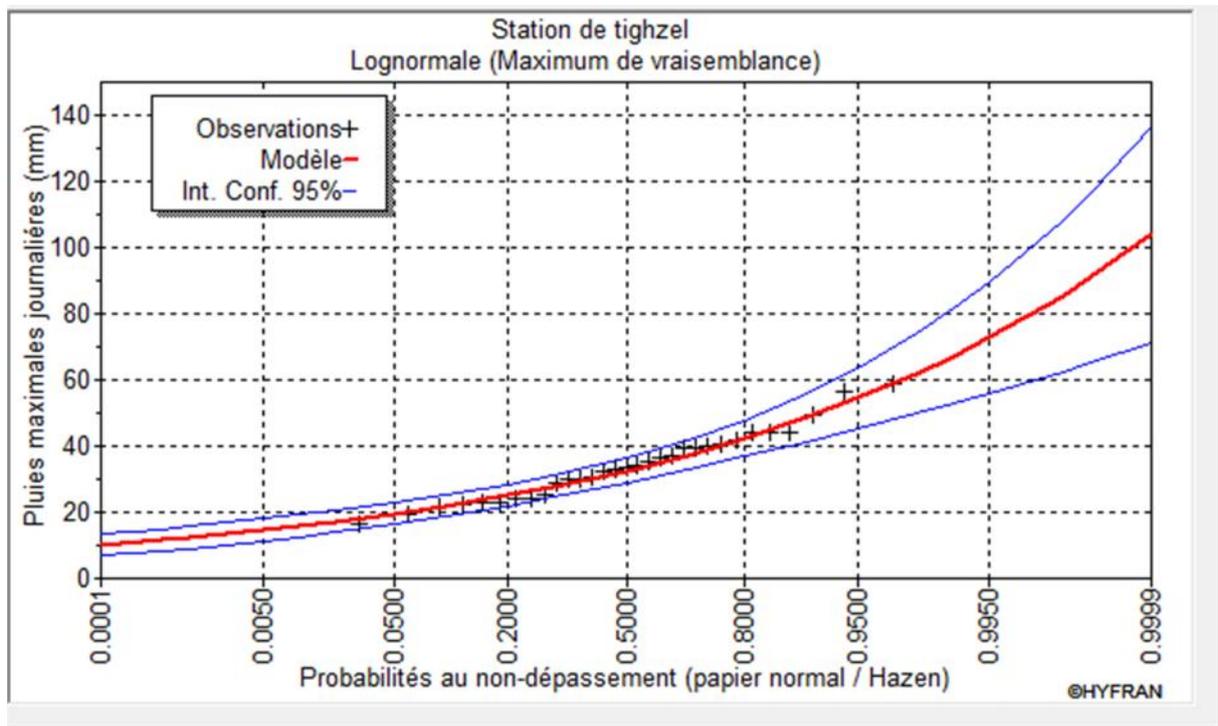


Figure.1.08. Représentation graphique de la loi de Galton.

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

Paramètre	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Maximum	aucun	16.7
moyenne	34.2	34.1
Ecart-type	10.9	10.5
médiane	32.6	33.3
Coefficient de variation (Cv)	0.309	0.307
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.991	0.509
Coefficient d'aplatissement (Ck)	4.79	2.58

Conclusion :

D'après les deux schémas on conclut que la pluie maximale journalière suit à la loi log-normale (Galton), car tous les points sont dans l'intervalle de confiance et proches de la droite de HENRY.

I.4. Les pluies de courtes durées de différentes fréquences et leurs intensités :

Tableau. I.13. Pluies, intensité et débit caractéristique de durée t et de fréquence donnée

Pt : pluie de durée t (mm)

It : intensité horaire (mm/h)

q : débit caractéristique (L/s/Km²)

DESIGNATION DES PARAMETRES			DUREE (heure)						
Pjmax % (mm)	Freq	Per Ret T	Pt/lt	1	2	12	24	48	72
35.34	50	2 ans	Pt (mm)	16.69	19.66	30.01	35.34	41.62	45.80
			It (mm/h)	16.6	9.83	2.50	1.47	0.87	0.64
			q (m3/s/km ²)	4.6	2.7	0.7	0.4	0.2	0.2
45.62	20	5 ans	Pt (mm)	21.55	25.38	38.74	45.62	53.73	59.12
			It (mm/h)	21.55	12.69	3.23	1.90	1.12	0.82
			q (m3/s/km ²)	6.0	3.5	0.9	0.5	0.3	0.2
			Pt (mm)	24.64	29.02	44.29	52.16	61.43	67.60



nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

			lt (mm/h)	24.64	14.51	3.69	2.17	1.28	0.94
			q (m ³ /s/km ²)	6.8	4.0	1.0	0.6	0.4	0.3
			Pt (mm)	27.48	32.36	49.39	58.17	68.51	75.3
58.17	5	20	lt (mm/h)	27.48	16.18	4.12	2.42	1.43	1.05
			q (m ³ /s/km ²)	7.6	4.5	1.1	0.7	0.4	0.3
65.9	2	50	Pt (mm)	31.13	36.66	55.96	65.90	77.61	85.41
			lt (mm/h)	31.13	18.33	4.66	2.75	1.62	1.19
			q (m ³ /s/km ²)	8.6	5.1	1.3	0.8	0.4	0.3
71.54	1	10	Pt (mm)	48.53	42.83	31.01	27.36	24.15	22.45
			lt (mm/h)	48.53	21.42	2.58	1.14	0.50	0.31
			q (m ³ /s/km ²)	13.5	5.9	0.7	0.3	0.1	0.1
90.385	0.1	100	Pt (mm)	42.69	50.28	76.75	90.39	106.45	117.14
			lt (mm/h)	42.69	25.14	6.40	3.77	2.22	1.63
			q (m ³ /s/km ²)	11.9	7.0	1.8	1.0	0.6	0.5



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

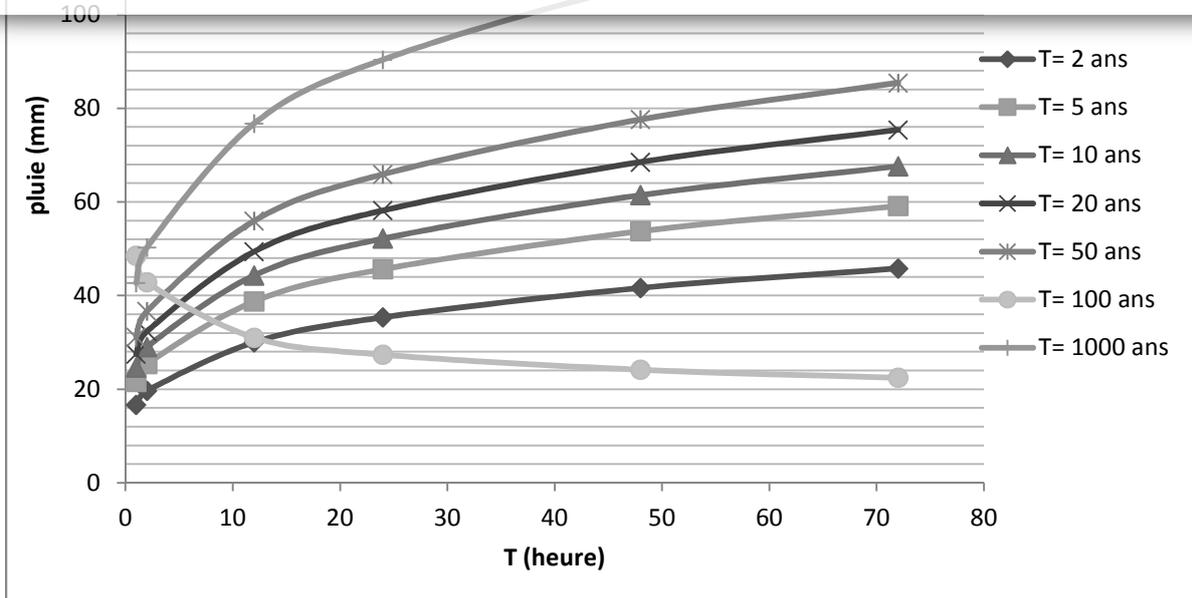


Figure. I.9. Pluie de courte durée

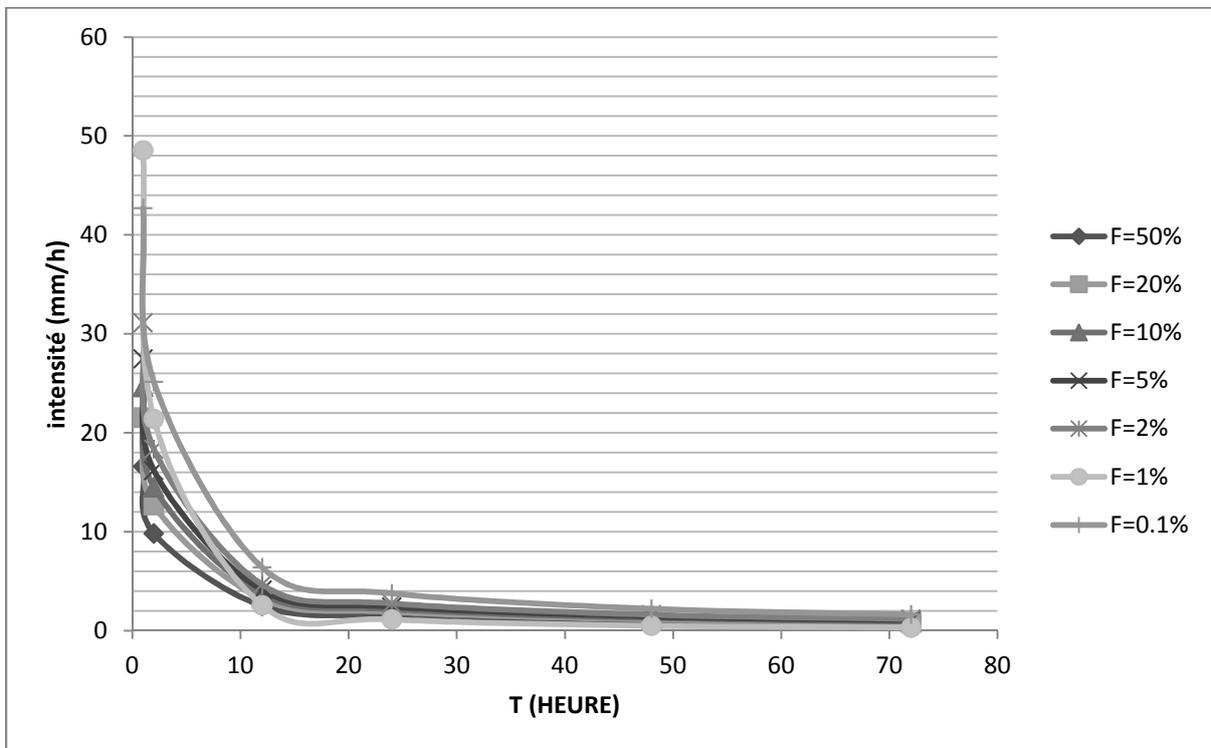


Figure.I.10.Intensité-durée-fréquence.

I.5. Estimation des apports :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Il sera ainsi procédé à l'analyse de la variabilité de ces apports en tenant des paramètres régissant la loi (log normal)

Ces analyses seront effectuées dans le but d'avoir un maximum d'éléments susceptible d'être utilisé dans la suite du projet.

I.5.1. Apport moyen annuel

Dans le cas d'absence de données d'observations directes, il est d'usage d'estimer les apports liquide par les méthodes empiriques.

Les méthodes les plus fréquemment utilisées sont :

I.5.1.1. Formules de Samie

$$L e - P * (293 - 2.5y/s) = 50.16 \text{ mm}$$

avec :

L : lame écoulée (mm)

S : superficie du bassin versant (Km²)

I.5.1.2. Formule de Deri II

$$A = 0.915 \cdot P_0^{2.684} \cdot S^{0.842} = 2.47 \text{ hm}^3$$

avec :

A : Apport moyenne annuel

P₀ : pluie moyenne annuelle

I.5.1.3. Formule de Urgiprovodkhoz :

$$M_0 = (P_0/340)^{2.24} = 1.69 \text{ l/s/Km}^2$$

$$A_0 = 31365000 * M_0 * S = 2.56 \text{ hm}^3$$

I.5.1.4. Formule de Turc :

Le déficit d'écoulement D qui est assimilable à l'évapotranspiration réelle sur une longue période et pour un bassin étendu.

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

Avec : $L = 300 + 25t + 0.05t^3$

$T = 13.6^\circ\text{C}$

$D = 430 - 390.05 = 39.95 \text{ mm}$

Soit : 9.29% de la pluviométrie

$\tilde{A}_0 = S \cdot D = 48.10^6 * 39.95$

$A_0 = 1.92 \text{ hm}^3$

Tableau 14. Récapitulatif :

	I_p (mm)	M_0 (l/s/km ²)	C_v	A (hm ³)
Den II	51.46	1.63	0.12	2.47
Urgiprovdokhoz	53.33	1.69	0.12	2.56
Turc	40.00	1.27	0.09	1.92

L'analyse des résultats nous mène à éliminer la valeur de A_0 obtenue par la formule de Turc qui ne semble pas convenir aux conditions du bassin versant de l'oued Tighzel car s'éloignant trop du consensus autour de la valeur moyenne de 2.5 hm³ obtenue par les autres formules.

$A_0 = 2.5 \text{ hm}^3$

I.5.1.5. Répartition mensuelle de l'apport moyen annuel :

La répartition mensuelle de l'apport moyen annuel proposé et inspiré de la répartition mensuelle de la pluviométrie avec prise en compte de l'absence d'écoulement durant les mois d'étiage.

Tableau. I.15. Répartition mensuel de l'apport moyen annuel.

Mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Juil	aou	Année
A(hm ³)	-	0.3	0.31	0.31	0.43	0.36	0.32	0.26	0.21	-	-	-	2.5
%	-	12.1	12.3	12.4	17.0	14.5	12.8	10.4	8.4	-	-	-	100

I.5.2. Variabilité de l'apport :

Le coefficient de variation de l'apport moyen annuel peut être estimé par les formules suivantes :

- Formule de Padoun : $C_v = \frac{0.93}{M_0^{0.23}} K$ $C_v = 0.828$

Avec : M_0 : module spécifique
 K: coefficient de réduction pris égale à 1 pour les cours d'eau temporaire

- Formule de Urgiprovdokhoz : $C_v = \frac{0.70}{M_0^{0.125}}$ $C_v = 0.658$

-Formule de Sokolowsky : $C_v = 0.78 - 0.27 \log M_0$ $C_v = 0.72$

La valeur moyenne de C_v est de 0.74

Les apports fréquentielles seront déterminés à l'aide de la formule suivante :

$$A(\%) = \frac{A_0}{\sqrt{Cv^2+1}} e^{u\sqrt{LnCv^2+1}}$$

Avec : $A(\%)$: apport de fréquence donnée (hm³)
 U : variable réduite de gauss
 A_0 : apport moyen annuel (hm³)
 C_v : coefficient de variation

$A_{(80\%)} = 1.15 \text{ hm}^3$

I.6. Etude des apports solides :

Pl... auteurs ont proposé des formules d'estimation de l'apport solide en tenant compte des caractéristiques morphologiques du bassin versant, parmi les plus utilisées en Algérie citons :

I.6.1. Formule de Fournier :

$$Es = \frac{1}{36} \left(\frac{Pm^2}{P_0} \right)^{2.65} \left(\frac{H^2}{S} \right)^{0.46} = 300.64 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

- Avec :**
- Es : Erosion spécifique
 - Pm : pluviométrie du mois plus errosé (février 62.32)
 - H : Dénivelée moyenne (Hmoy-Hmin=297m)
 - S : Superficie du bassin versant (48Km²)

I.6.2. Formule de Gavrilovic :

$$Es = 3.14 * T * P_0 * \bar{Z}^3 = 606.26 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

- Ou :** T : coefficient de temperature $T = \sqrt{\frac{T_0}{10}} = 1.27$
- Avec :**
- T₀ : Température moyenne annuelle
 - P₀ : pluie moyenne annuelle (mm)
 - Z : coefficient d'érosion relative du bassin = 0.5

I.6.3. Formule de Tixeront : (sogreah)

$$Es = 350 * R^{0.15} = 633.25 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

Après la comparaison, on tiendra compte de la deuxième et la troisième formule afin de choisir la valeur obtenue par la formule de Tixeront qui présente avantage d'être adaptée aux conditions algériennes.

$$Es = 633 \text{ T/Km}^2/\text{an}$$

En posant comme hypothèse que le délai de service de la retenue soit 15ans, le poids spécifique des sédiments ($\gamma_s = 1.6 \text{ T/m}^3$) et qu'en raison de la répartition spatiale des sédiments le long du cours d'eau en fonction de la vitesse d'écoulement et de celle de chute des éléments solides 70% de ces derniers atteigne la retenue, nous obtenons :

$$Vm = \frac{Es.S.T.m}{\gamma_s} \qquad Vm = 199365 \text{ m}^3$$

- Avec:**
- Es: érosion spécifique (T/Km²/an)
 - S : superficie du bassin versant (Km²)
 - m : pourcentage des alluvions dans le bloc
 - γ_s : poids volumique des matériaux solides (T/m³)

I.7. Etude des crues :

La connaissance des crues revêt une importance capitale pour le dimensionnement des ouvrages d'évacuation et de protection de chantier.

Comme souligné précédemment le non existence de séries d'observations directes des débits ayant transité par le cours d'eau ne laisse d'autres alternatives que le recours aux formules et méthodes empiriques, parmi les plus utilisées nous citerons :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Q_{max} : Débit max de la crue (m^3/s)

P_{Tc} : Pluie correspondant au temps de concentration

a : Coefficient de ruissellement

S : Superficie du bassin versant (km^2)

f : coefficient de forme de l'hydrogramme pris égale à 1.2 pour les petits BV.

T_c : Temps de concentration

I.7.2. Méthode rationnelle.

$$Q_{max} = (C \cdot P_{Tc} \cdot S) / (3.6 \cdot T_c)$$

Avec:

Q_{max} : Débit max de la crue (m^3/s)

P_{Tc} : Pluie correspondant au temps de concentration

C : Coefficient de ruissellement

S : Superficie du bassin versant (km^2)

T_c : Temps de concentration

I.7.3. Formule de Mallet Gauthier :

Quoique d'emploi assez fréquent cette formule n'est cependant valable que pour des fréquences supérieures ou égales à la centennale :

$$Q_{max} = 2 \cdot K \cdot \log(l + A + P_0) \cdot \frac{S}{L} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

Avec :

Q_{max} : Débit max de la crue (m^3/s)

S : Superficie du bassin versant (km^2) T : Période de retour

P_0 : Pluie moyenne annuelle

A et K : Coefficients fonctions des conditions topographiques et géologiques du bassin versant (pour de petits BV au relief assez régulier, assez imperméables il est recommandé d'utiliser les valeurs respectives de A et $K = 20$ et 1).

I.7.4. Formule de Giandotti.

$$Q_{max} = \frac{A \cdot S \cdot P_{Tc} \cdot \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{S} + 15L}$$

Q_{max} : Débit max de la crue (m^3/s)

S : Superficie du bassin versant (km^2)

P_{Tc} : Pluie correspondant au temps de concentration

L : Longueur du thalweg principal



Hmoy et Hmin : respectivement altitudes moyenne et minimale du bassin versant.

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Les résultats des calculs sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau.I.16. Les résultats de calculs.

T	Pic	Cr	Formules Q(m ³ /s)				
			Sokolowsk	Rationnel	Mal- Gaut	Giandotti	Adoptée
5	29.89	0.27	32.54	26.90	-	78.79	33
10	34.17	0.37	50.98	42.14	-	90.07	51
20	38.11	0.46	70.68	58.44	-	100.5	71
50	43.18	0.51	88.79	73.41	-	113.80	89
100	46.87	0.65	122.8	101.60	277.79	123.5	123
1000	59.22	0.70	167.1	138.20	325.67	156.1	167

NB : Il n'existe pas de formules pour le calcul du coefficient de ruissellement qui dépend de certains facteurs dont :

- La nature du terrain notamment sa perméabilité.
- La pente du bassin versant.
- La rétention possible du sol notamment la couverture végétale.
- Le degré de saturation (augmente en fonction de la période de retour)
- L'intensité de la pluie
- Géologie du bassin
- La superficie boisée

Le choix du coefficient de ruissellement est une étape très délicate dans toute étude hydrologiques dans laquelle il faut être très circonspect, d'autant plus que les observations font défaut dans notre étude, pour conséquent nous avons retenu des valeurs représentant aux mieux les moyennes recommandées par divers auteurs selon la fréquence de la crue, et l'état de saturation du sol.

Conclusion :

La méthode de **Sokolowsky** est d'usage très répandu chez les hydrologues du Maghreb dans les études de retenues collinaires, cet engouement est principalement du au fait qu'elle tient compte non seulement des caractéristiques du bassin versant mais aussi des paramètres de l'hydrogramme tels que sa forme, le temps de montée de la crue, ainsi que la pluie fréquentielle génératrice de la crue.

Tenant compte aussi des incertitudes relatives aux coefficients topographiques des autres formules, au fait reconnu que la formule de **Mallet - Gauthier** à tendance à la surestimation, et que la formule de **Giandotti** dans l'estimation des débits est beaucoup plus recommandée pour des bassins versants de superficie supérieure à 50 km², nous recommandant l'adoption des résultats obtenus par la méthode de **Sokolowsky**.

I.7.5. Crue de projet :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Le choix de crue de projet dépend essentiellement de l'importance de l'ouvrage à réaliser, des conséquences qui peuvent être causées à l'aval et des considérations technico-économiques liées à l'aménagement et à l'environnement.

Dans notre cas on a déterminé la crue de projet pour une période de retour de 100 ans, donc pour un débit qui vaut $Q_{1\%}=123 \text{ m}^3/\text{s}$

I.7.6. Hydrogramme de crue :

Sachant que pour le trace de l'hydrogramme de crue, le rapport entre le temps de crue (T_c) et le temps de décrue est égale à 2.5 pour les petits bassins versant à capacité de drainage limitée, et que pour les courbes de montée et le décrue les meilleures similitudes ont été observées pour des coefficients m et n d'une valeur respectivement de 2 et 3, les paramètres de l'hydrogramme seront alors :

$$T_m = T_c = 4 \text{ heures}$$

$$T_d = 2.5 T_m = 10 \text{ heures}$$

D'où :

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

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

Tableau. I.17. Hydrogramme de crue centennale.

N°	T(h)	T/TC	(T/TC) ²	Qe (m ³ /s)	Td-t	Td-t/Td	(Td- t/Td) ³	Q (m3/s)
1	0	0.00	0.00	0.00	9.75	0.975	0.927	114.00
2	0.25	0.06	0.004	0.48	9.50	0.950	0.857	105.46
3	0.50	0.13	0.016	1.92	9.25	0.925	0.791	97.35
4	0.75	0.19	0.035	4.32	9.00	0.900	0.725	89.67
5	1.00	0.26	0.063	7.65	8.75	0.875	0.670	82.40
6	1.25	0.31	0.098	12.01	8.50	0.850	0.614	75.54
7	1.50	0.38	0.141	17.30	8.25	0.825	0.562	69.07
8	1.75	0.44	0.191	23.54	8.00	0.800	0.512	62.98
9	2.00	0.50	0.250	30.75	7.75	0.775	0.465	57.25
10	2.25	0.56	0.316	38.92	7.50	0.750	0.422	51.89
11	2.50	0.63	0.391	48.05	7.25	0.725	0.381	46.87
12	2.75	0.69	0.473	58.14	7.00	0.700	0.343	42.19
13	3.00	0.75	0.563	69.19	6.75	0.675	0.308	37.83
14	3.25	0.81	0.660	81.20	6.50	0.650	0.275	33.78

15	0.88	0.766	94.17	6.25	0.625	0.244	30.03
16	0.879	0.766	108.14	6.00	0.600	0.215	26.57
17	0.860	0.766	123.00	5.75	0.575	0.190	23.38
18				5.50	0.550	0.166	20.46
19				5.25	0.525	0.145	17.80
20				5.00	0.500	0.125	15.38
21				4.75	0.475	0.107	13.18
22				4.50	0.450	0.091	11.21
23				4.25	0.425	0.077	9.44
24				4.00	0.400	0.064	7.87
25				3.75	0.375	0.053	6.49
26				3.50	0.350	0.043	5.27
27				3.25	0.325	0.034	4.22
28				3.00	0.300	0.027	3.32
29				2.75	0.275	0.021	2.56
30				2.50	0.250	0.016	1.92
31				2.25	0.225	0.011	1.40
32				2.00	0.200	0.008	0.98
33				1.75	0.175	0.005	0.66
34				1.50	0.150	0.003	0.42
35				1.25	0.125	0.002	0.24
36				1.00	0.100	0.001	0.12
37				0.75	0.075	0.000	0.05
38				0.50	0.050	0.000	0.02
39				0.25	0.025	0.000	0.00



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

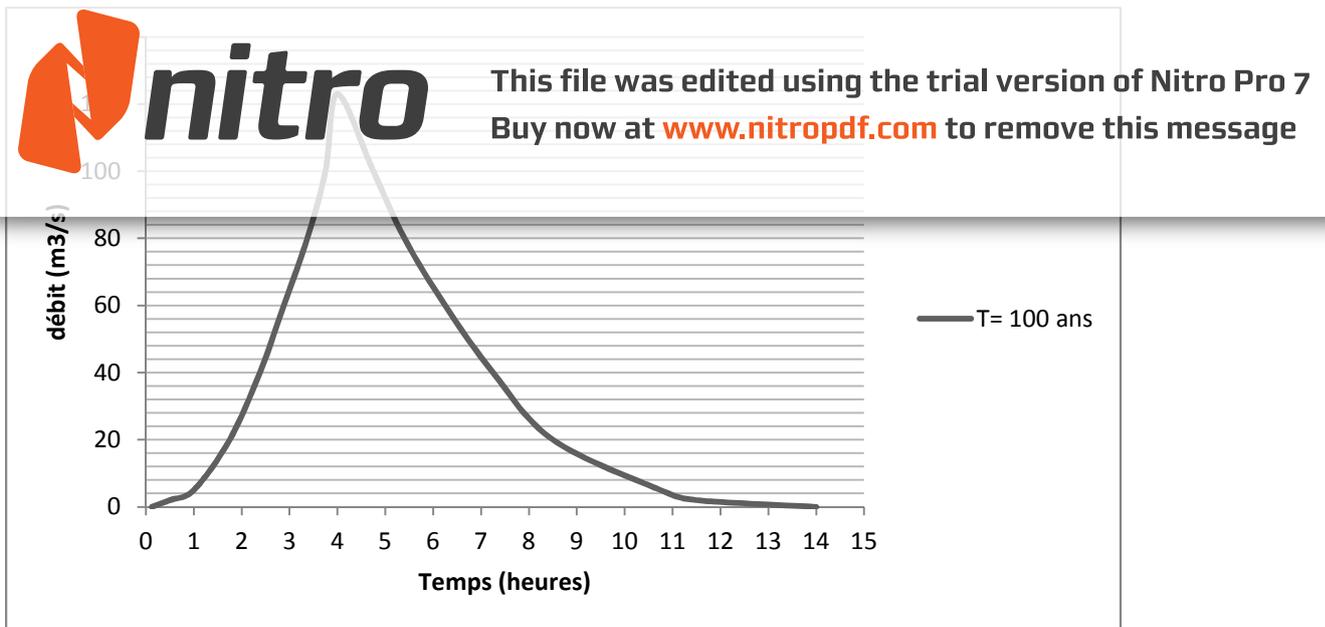


Figure. I.11. Hydrogramme de la crue centennale.

I.8. Régularisation :

L'étude de régularisation d'un petit barrage sur oued Tighzel a pour objectif la détermination du volume de la réserve utile ainsi le niveau correspondant.

On effectue une régularisation saisonnière car dans notre cas la régularisation interannuelle est impossible.

Les paramètres générant le calcul de régularisation sont :

- l'apport ($A_{80\%}$ en Mm^3)
- la consommation totale en Mm^3
- la courbe caractéristique de la retenue

Tableau .I.18. La répartition mensuelle de l'apport 80%.

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Jui	aou	année
%	0.0	12.1	12.4	12.4	17	14.5	12.8	10.4	8.4	0.0	0.0	0.0	100
$A_{80\%}$	0.0	0.14	0.14	0.2	0.17	0.15	0.12	0.10	0.01	0.0	0.0	0.0	1.15

Tableau .I.19. La répartition mensuelle des besoins.

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	Jui	aou	année
%	12	5	0.0	0.0	0.0	0.0	2	9	14	18	22	18	100
$U_{80\%}$	0.27	0.11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.20	0.31	0.4	0.49	0.4	1.15

I.8.1. Courbe hauteurs- capacités- surfaces :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

$$V_i = \frac{S_i - S_{i+1}}{2} \cdot H$$

S_i : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_i en ($10^3 m^3$)

S_{i+1} : surface du plan d'eau correspondant à la courbe de niveau H_{i+1} en ($10^3 m^3$)

H : différence d'altitude entre les deux courbes de niveaux successives

V : volume élémentaire compris entre deux courbes de niveaux successives ($10^3 m^3$)

Tableau.I.20. Courbe topographique et volumétrique.

Cote mNGA	S ($10^3 m^3$)	$S_{moy}(10^3 m^3)$	H(m)	$V_{part}(10^3 m^3)$	V_{cum}
307	0	0	5	0	0
312	16045	8022.5	2	53483	53483
314	33284	24664.5	2	48292	101775
316	53881	43582.5	2	86342	188117
318	76000	64940.5	2	132533	320650
320	100000	88000	2	186594	507244
322	131000	115500	2	244413	751657
324	161000	146000	2	318343	1070000
326	190000	175500	2	360000	1430000
328	224000	414000	2	400000	1830000
330	263000	243500	2	484401	2314401
332	307000	285000	2	1570877	3385278

La courbe capacités- Hauteurs- Surfaces est représentée dans l'annexe I.

I.8.2. Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes :

La capacité utile détermine le niveau de remplissage possible de la retenue dans les conditions normale d'exploitation c'est-à-dire la cote au niveau normale de la retenue NNR.

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

✓ **1^{ère} Consigne d'exploitation :**

Elle consiste à remplir le barrage jusqu'au niveau normale de la retenue NNR lors des crues et à restituer après. L'excédent d'eau est déversé par l'évacuateur de surface.

-On fixe le niveau de remplissage initiale et on détermine le remplissage final pour chaque mois en tenant compte du NNR et du niveau de volume mort NVM que l'on ne doit pas dépasser.

✓ **2^{ème} Consigne d'exploitation :**

Cette consigne consiste à faire évacuer les eaux excédentaires à travers l'évacuateur de surface. Remplir et ensuite restituer au consommateur

Tableau I.21. Régularisation saisonnière sans tenir compte des pertes.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

	dec	nov	oct	jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aoû	sep
A _{80%} -												
U _{80%} (hm ³)	0.028	0.143	0.143	0.196	0.167	0.102	0.081	0.215	0.4	0.489	0.4	0.268

Du tableau on a :

$$V_s=0.779 \text{ hm}^3 \quad \text{et} \quad V_d=1.853$$

Avec : V_s : volume excédentaire (A-U) compté (+)

V_d : volume déficitaire (A-u) compté (-)

Alors $V_s < V_d$ s'implique le passage à la régularisation interannuelle.

I.8.3. Régularisation interannuelle :

On fait une régularisation interannuelle quand la consommation dépasse l'apport. Il existe plusieurs méthodes de calcul du volume utile dans le cas d'une régularisation interannuelle, une des ces méthodes est celle de Pléhcov-Svanidzé.

Méthode de Pléhcov-Svanidzé :

$$V_{upa} = (\beta_s + \beta_{pa}) W_0$$

β_s : composante saisonnière du volume utile

β_{pa} : composante pluriannuelle du volume utile

W_0 : apport moyen interannuel égale à 2.5 hm³

$$\beta_{pa} = f(P\%, a, C_v, C_s, r)$$

P%: probabilité de garantie

a: coefficient de régularisation

C_v : coefficient de variation

C_s : coefficient d'asymétrie

r : coefficient de corrélation entre les écoulements des années voisines. Ce coefficient dépend de module spécifique selon Radkovitch.

$$1 < M_0 = 1.96 \text{ l/s/Km}^2 > 4 \quad \text{alors : } r=0.4$$

$$a=0.6$$

$$C_v=0.74$$

$$C_s=2C_v=1.48$$

$$P\%=80\%$$

Dans le cas ou $C_s=2C_v$ et $r = 0.3$; on peut utiliser les graphique de Gougli donnant β_{pa} en fonction de C_v et P%.

$$\beta_{pa} = 0.24$$

β_s peut être déterminé à partir des graphiques de Pléhcov (Annexe II), connaissant a et m.

m : la fonction relative d'écoulement pendant l'étiage et est égale à $W_{ét}/W_0$



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

A partir de la courbe capacités- hauteurs en tire le NNR du barrage.

Volume de la retenue normale = 2.049 hm³

NNR=329 mNGA

I.9. Laminage de crue :

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

$$Q \cdot dt = q \cdot dt + S \cdot dh$$

Ou:

Q : le débit entrant de la crue.

q : le débit déversé par l'évacuateur de crue.

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

Le débit cumulée a l'instant ' t ' est: $Q - q = S \cdot (dh / dt)$

Ou:

dh/dt : la vitesse de remplissage (ou de montée de la retenue).

Il existe plusieurs procédés de laminage, nous opterons pour la méthode de Kotcherine, qui est une méthode grapho-analytique.

I.9.1. La méthode de KOTCHERINE :

La méthode se base sur les principes suivants:

- 1-l'Hydrogramme de crue est considérée 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 NNR;
- 4-les pertes par infiltration et évaporation sont concéderait comme nulles au moment de la crue

Le débit d'évacuation est calculé d'après la formule suivante:

$$Q = mb\sqrt{2g} H^{3/2}$$

m : coefficient de débit dépend de la forme de déversoir $m=0.49$.

b : largeur du déversoir (m).

H : charge d'eau sur le déversoir dépend de la vitesse d'approche d'eau.

$$H_0 = H + \alpha \frac{V_0^2}{2g}$$

H_0 : charge global.

V_0 : vitesse d'approche d'eau déterminée d'abord dans le lit d'après la formule:

$$V_0 = Q/S \quad \text{Avec: } S = b \cdot H$$

Tous les résultats sont rassemblé dans le tableaux ci-après:

Tableau.I.22.Résultats de calcul par la méthode de Kotcherine

Hd (m)	PHE (m)	VPHE (Mm3)	Vf (Mm3)	qmax,p%=Qmax,p% (1- Vf/Vcr)	qmax,p% = m.b̄̄²g . hd^(3/2) (m3/s)											
					b (m)											
					5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
0	22	2.049	0	123.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	22.5	2.19	0.14	122.79	3.84	7.67	11.51	15.35	19.18	23.02	26.86	30.69	34.53	38.37	42.20	
1	23	2.31	0.27	122.61	10.85	21.70	32.56	43.41	54.26	65.11	75.97	86.82	97.67	108.52	119.37	
1.2	23.2	2.42	0.37	122.45	14.27	28.53	42.80	57.06	71.33	85.59	99.86	114.12	128.39	142.66	156.92	
1.4	23.4	2.53	0.48	122.30	17.98	35.95	53.93	71.91	89.88	107.86	125.84	143.81	161.79	179.77	197.74	
1.5	23.5	2.58	0.53	122.22	19.94	39.87	59.81	79.75	99.68	119.62	139.56	159.49	179.43	199.37	219.30	
1.6	23.6	2.64	0.59	122.14	21.96	43.93	65.89	87.85	109.82	131.78	153.74	175.71	197.67	219.63	241.60	
1.8	23.8	2.74	0.69	121.98	26.21	52.41	78.62	104.83	131.04	157.24	183.45	209.66	235.87	262.07	288.28	
2	24	2.85	0.80	121.82	30.69	61.39	92.08	122.78	153.47	184.17	214.86	245.56	276.25	306.95	337.64	
2.2	24.2	2.96	0.91	121.67	35.41	70.82	106.24	141.65	177.06	212.47	247.88	283.30	318.71	354.12	389.53	
2.5	24.5	3.12	1.07	121.43	42.90	85.79	128.69	171.59	214.48	257.38	300.28	343.17	386.07	428.97	471.87	

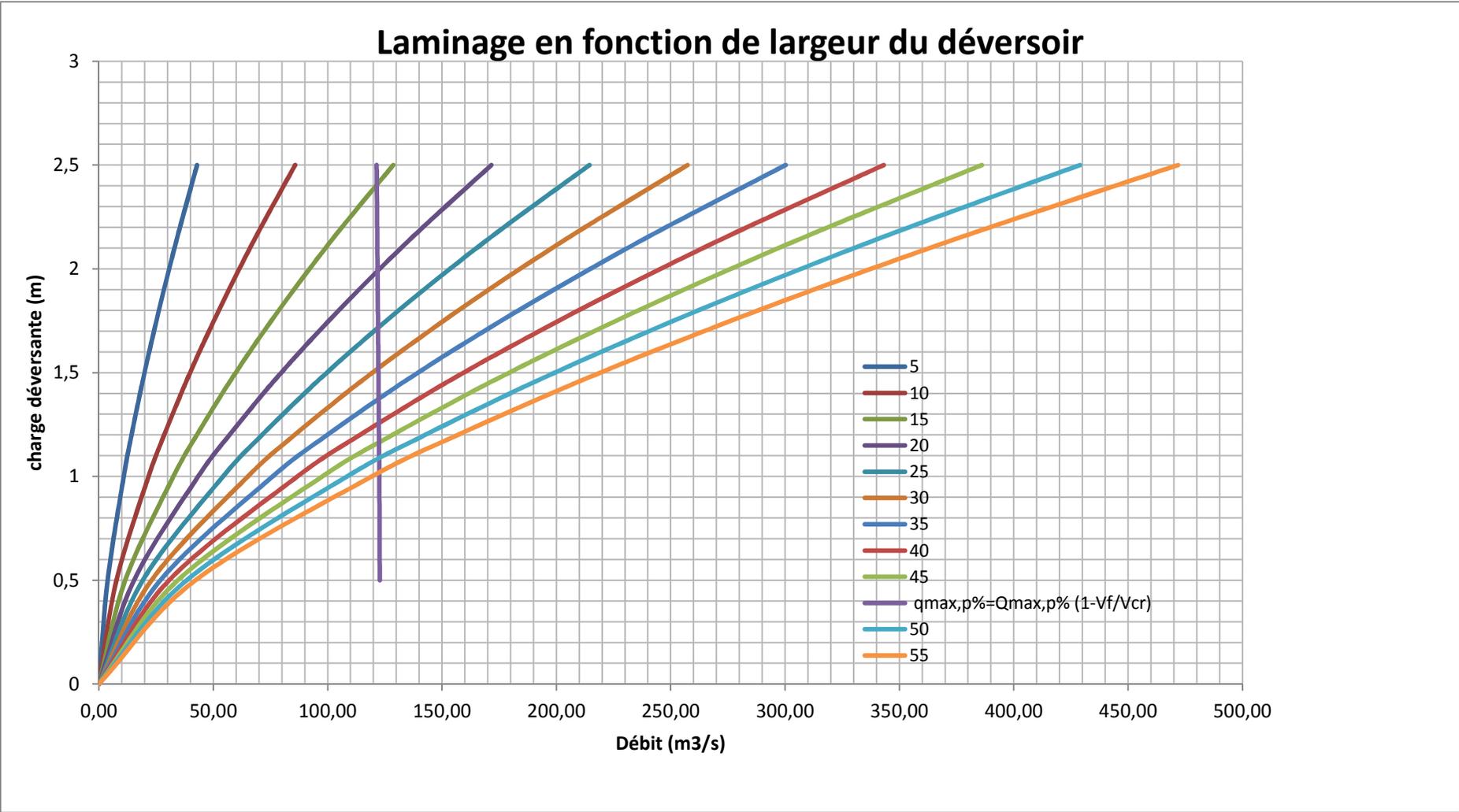


Figure .I.12. courbe H= f (q)

I.10. Etude d'optimisation :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

L'objectif 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 déversants correspondantes aux différentes hauteurs de la digue

I.10.1. La 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 :

$$R = H + \frac{V^2}{2g}$$

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

- Formule de Stevenson :

$$H = 0.75 + 0.34 F^{0.5} - 0.26 F^{0.25}$$

F : le Fetch F = 1.48 Km

- Formule de Molitor :

$$H = 0.75 + 0.032 (U.F)^{0.5} - 0.27 F^{0.25}$$

U : la vitesse du vent mesurée en Km/h ; U = 100 Km/h.

- Formule de Mallet-paquant :

$$H = 0.5 + 0.33 (F)^{0.5}$$

Tableau I.23: La revanche.

Formule	H (m)	V (m/s)	R (m)
Stevenson	0.86	3.25	1.19
Molitor	0.57	2.64	0.78
Mallet-paquant	0.83	3.16	1.13

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

$$V = 1.5 + 2H$$

H: hauteur des vagues (m).

R = 1.5 m est la valeur qui est considéré dans le dimensionnement du barrage

I.10.2 Tassement :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

✓ $T = 0.001 H_b^{3/2}$

où T=Tassement de la crête du barrage
 H_b =Hauteur du barrage

Les tassements sont estimés à 0.4 m

I.10.3 La largeur en crête :

La largeur du barrage près de son couronnement lorsque la retenue est pleine. Elle doit également permettre la circulation des engins pour la finition du barrage et les éventuels pour les eaux ultérieures.

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

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

Formule T.KNAPPEN	$b = 1.65 H_b^{0.5}$
Formule E.F.PREECE	$b = 1.1 H_b^{0.5} + 1$
Formule SIMPLIFIEE	$b = 3.6 . H_b^{1/3}$
Formule USBR	$b = H_b/5 + 3$

Récapitul

KNAPPEN	PREECE	USBR	Simplifiée
8.33	7.15	8.1	7.6

Les résultats obtenus dans la majorité préconisent une largeur en crête supérieure à 7 mètres sachant qu'en générale toutes ces formules ont tendance à légèrement surestimer les résultats, si pour ça qu'en choisi une largeur de :

$B_c = 7m$

I.10. Calcul des coûts :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Tableau I. : Calcul d'optimisation

H (m)	H _B (m)	Coûts de la digue	Coûts de l'évac	Cout des travaux (M da)
1	330.0	211.28	6.99	225.25
1.2	330.2	216.23	5.17	228.37
1.4	330.4	220.08	3.63	228.45
1.5	330.5	222.62	3.00	225.62
2	331.0	235.58	2.41	241.82
2.5	331.5	247.75	1.34	251.01

Pour l'estimation des coûts, on utilise les prix unitaires suivant :

Prix du m³ du béton : 16000 DA

Prix du m³ du remblai : 600 DA

Prix du m³ du déblai : 350 DA

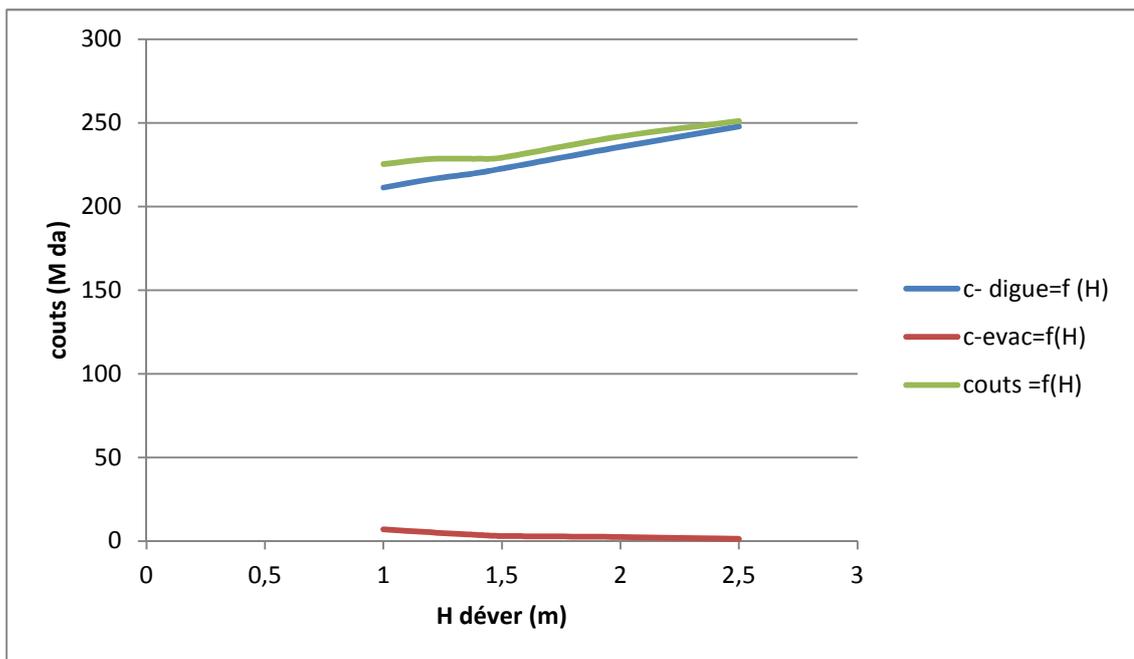


Figure.I.13. La courbe des coûts en fonction de H.



charge déversante est de 1.5m, cette charge convient à une largeur de déversoir de

nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Dénomination	Unités	Valeurs
Volume mort	Mm ³	0.19 9
Volume utile	Mm ³	1.85
Volume au NNR	Mm ³	2.049
Côte du fond	m.NGA	307
Côte NVM	m.NGA	316.15
Côte NNR	m.NGA	329
Côte NPHE	m.NGA	330.5
Côte en crête	m.NGA	332
Largeur en crête	m	7.0

Conclusion :

A cause de l'inexistence des séries d'observation suffisantes qui puissent servir pour la quantification des paramètres hydrologiques de oued Tighzel, on exploite rationnellement des données pluviométriques existantes, afin d'obtenir des résultats satisfaisants aussi proches que possible les conditions naturelles.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE II :

ETUDE DES VARIANTES



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Le choix du type de digue à implanter dépend essentiellement des études topographiques, géologiques, géotechniques et l'aspect technico-économique.

- ✓ L'étude topographique permet la localisation des axes probables sur le site.
- ✓ L'étude géologique donne un aperçu sur les formations géologiques des couches qui seront à la suite une future assise du barrage.
- ✓ L'étude géotechnique donne l'estimation de la quantité des matériaux disponibles tout autour du site et leurs caractéristiques.

La construction d'un barrage en matériaux disponibles aux alentours du site est le premier des choix à prendre en considération.

En se basant sur l'étude géologique, la fondation est de bonne qualité, et favorise l'implantation de tous types de digues, mais les dimensions de la digue nécessitent un volume de matériaux importants, une solution qui n'est pas économique pour une digue en béton, d'où l'exclusion de la variante digue en béton.

La fondation qui peut subir des tassements différentiels et des mouvements latéraux des formations marneuses, rend nécessaire la construction d'une digue souple qui peut s'accommoder à ces exigences.

II.1. Le choix de site de barrage :

L'axe du barrage est choisi sur la base de certaines conditions dictées par le critère économie, sécurité et facilité d'exécution de l'ouvrage.

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

- La projection de l'axe doit être dans la mesure du possible perpendiculaire à la trajectoire du cours d'eau
- La projection de l'axe doit tenir compte de l'implantation des ouvrages annexes de l'aménagement
- L'axe choisi doit donner la longueur la plus courte possible

II.2. Le choix de type de barrage :

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

- La topographie du site :

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



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

La morphologie de la vallée :
 La morphologie de la vallée est liée à son environnement. La morphologie de la vallée joue un rôle important dans le choix du site du barrage et du type d'ouvrage le mieux adapté. Bien entendu, l'emplacement idéal et le plus économique est celui d'un site étroit, précédé à l'amont par un élargissement de la vallée, à condition que les appuis du barrage soient sains (resserrement indépendant d'une zone d'éboulement ou d'un glissement). Ce type de site est peu fréquent, soit parce qu'il n'existe pas toujours de resserrement de vallée dans la nature, soit parce que le choix du site n'obéit pas toujours aux seules considérations techniques. En première approximation, une vallée large conviendra mieux à l'aménagement d'un barrage en remblai. Un site étroit conviendra aussi à un barrage poids et un site très étroit conviendra aussi à une voûte. Tout cela bien sûr sous réserve que les fondations le permettent.

- Les conditions géologiques et géotechniques :

La nature, la résistance, l'épaisseur, le pendage, la fracturation et la perméabilité des formations rencontrées au droit du site constituent un ensemble de facteurs souvent déterminants dans la sélection du type de barrage.

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

- Les matériaux de construction :

La disponibilité sur le site, ou à proximité, de matériaux utilisables pour la construction d'un barrage a une incidence considérable, souvent même prépondérante sur le choix du type de barrage :

- sols utilisables en remblai ;
- enrochements pour remblai ou protection de talus (rip-rap) ;
- agrégats à béton (matériaux alluvionnaires ou concassés) ;
- liants (ciment, cendres volantes ...).

La possibilité d'extraire ces matériaux de l'emprise du barrage permet d'accroître la capacité de stockage. En outre, cela minimise généralement les coûts de transport et de remise en état des zones d'emprunts.

D'une manière générale, si l'on dispose de sols limoneux ou argileux de qualité et en quantité suffisante (1,5 à 2 fois le volume du remblai), la solution barrage en terre homogène ou pseudo-zoné en réservant les matériaux les plus grossiers en recharge aval - s'impose comme la plus économique, du moins tant que les débits de crue à évacuer demeurent modestes.

Si l'on dispose de matériaux imperméables en quantité limitée, et par ailleurs de matériaux grossiers ou d'enrochements, il est envisageable de construire un barrage en terre zoné ou en enrochements avec noyau. Cette solution présente l'inconvénient d'une mise en



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Si l'on ne dispose que de matériaux grossiers, ceux-ci peuvent être exploités pour édifier un remblai homogène, l'étanchéité étant assurée par une paroi au coulis construite après montée du remblai en son centre, ou par une étanchéité amont artificielle (béton, membrane ou béton bitumeux).

Si l'on ne dispose que d'enrochements, un barrage en enrochements compactés avec étanchéité rapportée sur le parement amont éventuellement adouci (membrane, masque en béton hydraulique ou béton bitumineux) conviendra. La solution béton, en particulier la solution BCR, peut également s'avérer compétitive, sous réserve de fondation suffisamment bonne (rocher ou terrain compact) ne nécessitant pas de fouilles excessives.

II.3. Les variantes à choisir :

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

II.3.1. Barrage en enrochement avec masque en béton :

La réalisation d'un noyau étanche peut présenter des difficultés telles que manque de matériaux convenable, difficulté de mise en œuvre,....

Le masque en béton est une paroi étanche plaqué sur le talus amont du barrage.

Le masque en béton présente l'avantage de pouvoir être réparé aisément, il est par contre plus exposé à l'agression extérieure mécanique, thermique, abrasivité.....etc.

II.3.2. Barrage hétérogène à noyau d'argile :

Ce sont des barrages composés de deux matériaux. L'un imperméable et l'autre résistant, séparés par des couches de transition.

L'étanchéité est assurée par un noyau étanche en matériaux argileux, qui pourra placer en amont de la digue ou au centre de celle-ci.

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

II.3.3. Barrage homogène à membrane souple :

La membrane est une paroi étanche plaquée sur le talus amont du barrage, il est constitué des matériaux assurent une grande étanchéité, une facilité de mise en place,

elle est par contre plus exposée à l'agression extérieure mécanique, thermique, abrasivité.....etc.

II.4. Définition du profil générale du barrage :

II.4.1. Hauteur du barrage:

La revanche est calculée précédemment (chapitre I ; optimisation du coût), **R=1.5 m**



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

$$H_b = 330.5 - 307 + 1.5 + 0.5 = 25.5 \text{ m}$$

II.4.2. Largeur en crête :

La largeur en crête est calculé précédament (chapitre I, optimisation du cout), $B_c = 7\text{m}$

II.4.3. Longueur en crête :

La longueur en crête est tirée à partir du plan de l'aménagement qui égale à : $L_c = 328\text{m}$

II.4.4. Pente des talus :

Les fruits des talus du barrage dépendent certains facteurs tels :

- la nature des matériaux de remblai
- la nature des fondations
- le type de barrage
- la sécurité du barrage

Tableau II.01. Valeurs indicatifs des pentes de talus.

Hauteur du barrage (m)	Type du barrage	Fruit des talus	
		Amont	Aval
H<5	- Homogène	2,5	2.0
	- A zones	2,0	2,0
5<H<10	- Homogène granulométrie étendue	2,0	2,0
	- Homogène à fort % d'argile	2,5	2,5
	- A zones	2.0	2,5
10<H<20	- Homogène granulométrie étendue	2,5	2,5
	- Homogène à fort % d'argile	3,0	2,5
	- A zones	3,0	3,0
H >20	- Homogène granulométrie étendue	3,0	2,5
	- A zones	3,0	3,0

Tenant compte de tous ces éléments, on choisi les pentes des talus, ce qui va être vérifié après calcul de stabilité.

II.4.5. Les bermes :

Pour les hauteurs dépassant les dix 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 à 5 mètres de largeur.

-Talus amont :

Une berme de largeur de 5 m à la cote 318 mNGA.

-Talus aval :

Une berme de largeur 4 m à la cote 319 mNGA.

II.5. Barrage zoné à noyau d'argile :

II.5.1 Talus avals :

Sera protégé contre l'érosion par enrochement qui doit être réalisé au fur mesure des travaux de terrassement.

On fait un enrochement de pierre reposant sur un filtre (lit de gravier et sable d'épaisseur 0.3m)



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Sera protégé par un parement en rip-rap d'encrochement en fonction de la hauteur des vagues h_v et leur vitesse de propagation V par la formule suivante :

$$e = C.V^2 \dots\dots\dots (II.02)$$

- ou : e : épaisseur de l'encrochement en (m)
- V : vitesse de propagation des vagues en (m/s)
- C : coefficient dont la valeur est en fonction de la pente du talus et du poids spécifique γ du matériau d'encrochement.

Tableau II.2. Les valeurs de C en fonction de la pente de talus et du poids :

Pente du talus	Valeur de C pour différents poids spécifique		
	$\gamma=2,50$	$\gamma=2,65$	$\gamma=2,80$
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

Nous obtenons une épaisseur d'encrochement $e = 0.285m$, mais pour plus de sécurité nous prenons une épaisseur égale à $0.3m$.

II.5.3.Le noyau :

L'étanchéité du barrage de la variante II 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:

$$I = \Delta H / b_{moy} \leq I_{adm} \dots\dots\dots (II.03)$$

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

b_{moy} : largeur moyenne du noyau.

ΔH : la différence de charge d'eau

Le tableau suivant permet de choisir les valeurs de gradient hydraulique admissible

Tableau II.03 : 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	0.70	0.80	0.90	1.00
Limon sableux	0.51	0.65	0.75	0.85
Sable fin	0.45	0.55	0.65	0.75



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

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

H_1 : Hauteur d'eau à l'amont ($H_1= 23.5$ m)

$$b_{moy} = H_1/I = 23.5/1.5 = 16$$

Largeur en crête du noyau est donnée par la formule suivante :

$$L_n = \frac{1}{6} H_b = 4 \text{ m}$$

D'où les pentes des talus du noyau :

$$b_{base} = b_{cr} + 2.m_n.H_n$$

m_n : Fruit du noyau

H_n : Hauteur du noyau

$$m = (b_{moy} - b_{cr}) / (2.H_n) = (16-4) / (2.23.5) = 0.26$$

d'où $m_1 = m_2 = 0.26$

II.5.4. La côte en crête du noyau :

$$N_{CN} = C_{fond} + 24 = 331 \text{ m.NGA}$$

La profondeur du noyau dans la parafouille est de: $H_p = H_f + H_a$

H_p : profondeur de la parafouille (m).

H_f : profondeur de la fondation ($H_f = 4$ m).

H_a : profondeur d'ancrage du noyau dans le substratum ($h_a = 0.5$ m). $H_p = 4.5$ m

II.5.5. Les drains :

Pour intercepter les infiltrations dans le massif du barrage, nous disposons dans la partie avale du massif et au contact de celui-ci avec la fondation un tapis filtrant qui sert à évacuer les eaux filtrées à l'aide d'une galerie de drainage qui est le long du barrage et son rôle est de cumuler les eaux drainées et les évacuer à l'aide des collecteurs jusqu'à l'aval de la digue.

II.5.5.1. Dimensionnement du drain Tapis :

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

-La longueur du drain tapis est de :

$$L_d = L_b/3 \dots\dots\dots(II.04)$$



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

II.5.5.2. Dimensionnement du drain prisme :

Hauteur: $H_p = (0,15 \div 0,2) H_b$ (II.05)

Avec :

H_b : Hauteur du barrage ($H_b = 25.5m$)

On prend $H_p = 0,15 H_b$

On aura : $H_p = 3.8 m$

Largeur en crête: $b_p = (1/3 \div 1/4) h_{dr}$ (II.06)

On prend $b_p = 1/3 h_{dr}$

Ce qui donne: $b_p = 1.3 m$

Fruits des talus :

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

Donc, on prend : $m_1 = 1,5$

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

$m_2 = 2$

II.6. Barrage homogène à membrane souple :

II.6.1. La membrane souple :

L'utilisation des membranes dans les domaines des barrages est ancienne, la première utilisation remonte à 1959, pour la réhabilitation d'un barrage en enrochement en ITALY, depuis cette date cette solution a été fréquemment utilisée, qu'ils soient en enrochement, en remblai (sols grossier) ou en béton , c'est à cause de leurs fiabilité pour l'aspect économique , technique.

II.6.2. Complexe bentonite-géotextile :

II.6.2.1. la bentonite :

Il Ya 80 millions d'années, des cendres volcaniques se sont déposées au fond d'une mer intérieure, l'eau saline a transformé les sédiments en bentonite de sodium naturelle, à ce jour lors de l'excavation, la bentonite de sodium naturelle forme toujours une couche parfaitement étanche.

Après séchage et broyage cette argile naturelle est utilisée comme produit d'étanchéité. La bentonite de sodium naturelle appartient au groupe des argiles smectites et est composée d'une juxtaposition de feuillets extrêmement petits très minces et peu liés entre eux les feuillets sont dipolaires. La charge positive se manifeste sur le périmètre de feuillets et la charge négative est située sur la surface des feuillets. La bentonite de sodium naturelle contient des ions de sodium présents sur la surface des feuillets formant ainsi le lien dès que la bentonite est en contact avec l'eau les molécules d'eau pénètrent dans l'espace inter foliaire dissociant le sodium il en résulte que les charges négatives écartent les feuillets et provoquent ainsi le gonflement.

Les ions d'oxygène du silica-tétraèdre et les ions d'hydrogène venant de l'eau

 **nitro** This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Bentonite Type : bentonite de sodium naturelle Wyoming, spécialement sélectionnée, composée d'environ 90% de Montmorillonite de sodium avec un maximum de 10% de cendres volcaniques naturelles et d'autres sédiments.

Gonflement libre : 2 grammes de produit dans de l'eau dé-ionisée se gonflera jusqu'à un volume d'au moins 16 cc.

II.6.2.2. La géotextile :

Le produit consiste d'un géotextile en polypropylène tissé et un non-tissé, inter lié par le « needle-punch » (processus de fabrication breveté par CETCO). Cette technique pousse les fibres du géotextile non-tissé à travers la couche de bentonite et les intègre dans le géotextile tissé afin de réaliser plusieurs liaisons par cm² sur toute la surface du matelas.

II.6.2.3. Propriétés physiques :

Tableau : II.04. les propriétés physique de la membrane souple.

Quantité	4 kg/m ²
Poids spécifique	2.7g/cm ³
Valeur en PH	En suspension dans l'eau de 8.5 à 10 .00
Gonflement libre	Mini de 15 fois son volume à sec
Point de fusion	1337°C
Composition de la bentonite de sodium	
Silice	63.02 %
Aluminium	21.08 %
Oxyde ferrique	3.25 %
Oxyde de fer	0.35 %
Magnésium	2.67 %
Calcium	0.65 %
Teneur en eau	5.64 %
Elément altéré	0.72

II.6.3. ancrage de la membrane :

II.6.3.1. ancrage en tête :

Cet ancrage a un rôle d'empêcher le glissement de la membrane sur le talus, se réalise par enfouissement dans une tranchée de **1m** de largeur et **0.5m** d'hauteur, remplir par des sables.



nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

membrane et l'horizon étanche, la continuité horizontale de la continuité horizontale

de la membrane soit de **2m**.

II.6.4. Pentes des talus :

Fruits des talus d'après le tableau II.03 on a :

Parement amont $m_1 = 2.6$

Parement aval $m_2 = 2.2$

II.6.4.1. le talus aval :

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

La solution la plus répandue et la plus économique consiste à réaliser un enherbement sur une couche de Rip-rap d'une épaisseur de 30 cm

II.6.4.2. le talus amont :

Il sera protégé par un parement en Rip-rap d'encrochement en fonction de la hauteur des vagues h_v et leur vitesse de propagation V par la méthode de « T. V.A. »

Le but principal du rip-rap mis en place sur un remblai est d'empêcher l'érosion et les dégâts pouvant résulter de l'action des vagues. L'expérience a, en général, montré que le rip-rap déversé était le type de protection de talus le plus efficace.

1- Méthode T.V.A (Tennessee-Valley- Authority) :

Formule suivante : $e = C.V^2$

Où e : Epaisseur de l'encrochement en [m];

V : Vitesse de propagation des vagues en [m/s]; sachant que $V=3.25$ m/s

C : Coefficient dont la valeur est en fonction de la pente du talus et du poids spécifique θ du matériau d'encrochement.

La valeur de C est donnée par le tableau II.04

Pour une digue homogène $c = 0,025$.

Nous obtenons une épaisseur d'encrochement $e=0,26$ m, mais pour plus de sécurité nous prenons une épaisseur égale à 0,30 m

2 – Deuxième méthode :

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



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.pitropdf.com to remove this message

Hauteur des vagues (m)	Épaisseur minimale de la couche d'encrochement (m)	D _{min} (m)
0,0 ÷ 0,3	0,30	0,20
0,3 ÷ 0,6	0,40	0,25
0,6 ÷ 1,2	0,45	0,30
1,2 ÷ 1,8	0,55	0,40
1,8 ÷ 2,4	0,70	0,45
2,4 ÷ 3,0	0,8	0,55

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

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

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

Conclusion :

En analysant les résultats obtenus, on adopte pour la suite du dimensionnement de la digue homogène une épaisseur de couche $e = 50$ cm et un diamètre moyen de 30 cm. Donc, une protection du talus amont d'une épaisseur de 50 cm d'encrochement avec 30 cm de filtre (lit de gravier et sable).

II.6.5. Clé d'ancrage :

Afin de prévenir les risques d'affouillement au pied aval du barrage consécutives à l'éventuelles fuites à travers les fondations, il est primordial d'augmenter le cheminement de ces infiltrations à même de réduire le gradient hydraulique de sortie jusqu'à des limites acceptables, un parafouille sera exécuté sur la continuité du pied amont du barrage et sera.

- Hauteur maximum du parafouille : 5 m
- Talus : $m_1 = m_2 = 1$
- Largeur en base : 4 m

II.6.6. Prisme aval :

II.6.6.1. Fruits des talus :

$$m_1 = (1 \div 2) \quad \text{on prend} \quad m_1 = 2$$

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

II.6.6.2. hauteur du drain :

$$h_{dr} = (0,15 \div 0,2) H_b \quad \dots\dots\dots (II.07)$$

$$h_{dr} = 0.15 * 25.5 = 4 \text{ m}$$

II.6.6.3. largeur au sommet :

$$b_{dr} = (1/3 \text{ à } 1/4) h_{dr} \quad \dots\dots\dots (II.08)$$

$$b_{dr} = 1/3 h_{dr} \quad \quad \quad b_{dr} = 3 \text{ m}$$

II.6.6.4. largeur en base du drain :

$$B = b_{dr} + (m_1 + m_2) h_{dr} \quad \dots\dots\dots (II.09)$$

$$B = 19.5 \text{ m}$$



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

- ✓ facilité de la réalisation, zones d'emprunts
- ✓ Existences de carrière de matériaux de construction ;
- ✓ distance des zones d'emprunts ;
- ✓ Sismologie ;
- ✓ Volume des matériaux de construction
- ✓ Dispositif d'étanchéité ;

II.7.1 Etude comparative :

Une étude de comparaison approximation des différents volumes de chacun des types de barrage choisis paraît nécessaire pour faire le choix du type de retenue en fonction du coût et la disponibilité des matériaux de construction.

Le tableau suivant donne les différents coûts des variantes :

Tableau II.06 : les coûts des variantes étudiées.

variantes	Matériaux	Quantité (m ³)	Prix unit (DA)	Coût (10 ⁶ DA)	Total (10 ⁵ DA)
digue zonée à noyau d'argile	Bitume	11584,00	3000	52,752	1346,22
	Noyau	245235,30	500	262,62	
	Gravier	21457,00	600	33,27	
	Sable	19486,00	600	31,49	
	Recharge (allu)	2115672,40	400	1334,27	
	Rip-rap amont	47489,20	1200	89,39	
	Rip-rap aval	47056,10	1200	88,87	
	Terre végétal	98873,10	240	30,69	
Digue homogène à membrane souple	Bitume	11584,00	3000	52,75	1129,94
	Gravier	21256,70	600	31,95	
	Sable	19982,50	600	30,59	
	Filtre	12616,40	600	16,57	
	membrane	4987,80	600	48,85	
	Recharge (allu)	2188495,70	400	1371,40	
	Rip-rap aval	35367,80	1200	68,84	
	Rip-rap amont	55903,50	1200	105,48	
Terre végétal	729110,07	240	30,99		
digue en enrochement avec masque en béton	Béton	20034,70	12000	864,42	3825,16
	Bitume	12584,00	3000	52,75	
	Recharge (enro)	2063947,20	1100	3524,34	
	Rip-rap	39896,30	1100	52,69	
	Terre végétal	89110,07	240	30,99	



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

D'après l'estimation du coût des différentes variantes on remarque que les deux types de digues, à Noyau d'argile et homogène à membrane, sont les plus économiques.

Le choix de la variante à retenir est le résultat d'une comparaison entre les différentes variantes, et ceci d'après leurs avantages et leurs inconvénients et d'autres considérations.

D'après le rapport géologique et géotechnique, ainsi que la disponibilité des matériaux de remblai (alluvions), il n'y a aucun risque d'insuffisance des matériaux. Donc, on opte pour la variante de la digue homogène à membrane souple.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE III :

CONCEPTION DETAILLE DE LA DIGUE

Introduction :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Après avoir choisi un axe de barrage on s'efforce de réunir certaines conditions sur le site, tel que il soit confère au projet sécurité, économique et aisance dans l'exécution des travaux.

Les principales conditions de choix d'un site de barrage sont :

- La nature des matériaux sur le site
- La nature des fondations
- La hauteur de l'ouvrage
- Situation vis-à-vis de l'aléa sismique
- Tenir compte de l'implantation des ouvrages annexes
- La longueur en crête doit être la plus courte possible
- Le risque aval et les dommages encourues par une éventuelle rupture.

La médiocrité de la qualité d'argile disponible dans la cuvette du barrage et son rôle de l'étanchéité de cette dernière, nous mène à considérer l'alternative d'un remblai homogène en matériaux alluvionnaire dont l'étanchéité sera assuré par une membrane souple de nature bentonite commercialisé sur le marché.

Cette membrane sera disposée entre deux couches de sable qui lui conféreront une immunité contre le poinçonnement.

III.1 Conception de La Digue :

III.1.1 la revanche du barrage :

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

$$R = 1.5 \text{ m}$$

III.1.2 la hauteur du barrage :

Elle est donnée par la relation

$$H_b = H_{NNR} + H_f + R + t \dots\dots\dots(III.1)$$

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 : le tassement [m]

$$H_b = 22 + 1.5 + 1.5 + 0.5 = 25.5 \text{ m}$$

III.1.3 largeur en crête

La largeur du couronnement est fixée à **7 m** et de pente 2 %.

III.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 connaître 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



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

	Hauteurs de barrage (m)			
	>100	70÷100	25÷70	<25
Sols rocheux.	>100	70÷100	25÷70	<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 III.01 Tighzel est classé dans la troisième catégorie d’ouvrage.

III.1.5. Les bermes :

Pour les hauteurs dépassant les dix 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 à 5 mètres de largeur.

-Talus amont :

Une berme de largeur de 5 m à la cote 318 mNGA.

-Talus aval :

Une berme de largeur 4 m à la cote 319 mNGA.

III.1.6 Pentés des talus :

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

Pour les massifs, on donne des pentés qui paraissent optimales.

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

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

Pour le talus on prend :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

On vas les vérifier par la suite dans le calcul de stabilité.

III.1.7 Protection des talus :

III.1.7.1 le talus aval :

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

Pour sa protection, l'utilisation d'une (pierre) avec des épaisseurs entre 0,15 et 0,25 m est très commune.

La solution la plus ré pondue et la plus économique consiste a réaliser un enherbement sur une couche de Rip-rap d'une épaisseur de 30 cm

III.1.7.2 le talus amont :

Il sera protégé par un parement en Rip-rap d'enrochement en fonction de la hauteur des vagues h_v et leur vitesse de propagation V par la méthode de « T. V.A. »

Le but principal du rip-rap mis en place sur un remblai est d'empêcher l'érosion et les dégâts pouvant résulter de l'action des vagues. L'expérience a, en général, montré que le rip-rap déversé était le type de protection de talus le plus efficace.

1- Méthode T.V.A (Tennessee-Valley- Authority):

Formule suivante : $e = C.V^2$

Où e : Epaisseur de l'enrochement en [m];

V : Vitesse de propagation des vagues en [m/s]; sachant que $V=3.25$ m/s

C : Coefficient dont la valeur est en fonction de la pente du talus et du poids spécifique θ du matériau d'enrochement.

La valeur de C est donnée par le tableau II.04

Pour une digue homogène $c = 0,025$.

Nous obtenons une épaisseur d'enrochement $e=0,26$ m, mais pour plus de sécurité nous prenons une épaisseur égale à 0,30 m

2 – Deuxième méthode :

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



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

Hauteur de vagues (m)	Epaisseur minimale de la couche d'enrochement (m)	D_{min} (m)
0,0 ÷ 0,3	0,30	0,20
0,3 ÷ 0,6	0,40	0,25
0,6 ÷ 1,2	0,45	0,30
1,2 ÷ 1,8	0,55	0,40
1,8 ÷ 2,4	0,70	0,45
2,4 ÷ 3,0	0,8	0,55

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

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

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

III.1.8.La membrane souple :

L'utilisation des membranes dans les domaines des barrages est ancienne, la première utilisation remonte à 1959, pour la réhabilitation d'un barrage en enrochement en ITALY, depuis cette date cette solution a été fréquemment utilisée, qu'ils soient en enrochement, en remblai (sols grossier) ou en béton , c'est à cause de leurs fiabilité pour l'aspect économique , technique.

III.1.8.1.Complexe bentonite-géotextile :

III.1.8.1.1. la bentonite :

Il Ya 80 millions d'années, des cendres volcaniques se sont déposées au fond d'une mer intérieure, l'eau saline a transformé les sédiments en bentonite de sodium naturelle, à ce jour lors de l'excavation, la bentonite de sodium naturelle forme toujours une couche parfaitement étanche.

Après séchage et broyage cette argile naturelle est utilisée comme produit d'étanchéité.

La bentonite de sodium naturelle appartient au groupe des argiles smectites et est composée d'une juxtaposition de feuillets extrêmement petits très minces et peu liés entre eux les feuillets sont dipolaires. La charge positive se manifeste sur le périmètre de feuillets et la charge négative est située sur la surface des feuillets. La bentonite de sodium naturelle contient des ions de sodium présents sur la surface des feuillets formant ainsi le lien dès que la bentonite est en contact avec l'eau les molécules d'eau pénètrent dans l'espace inter foliaire dissociant le sodium il en résulte que les charges négatives écartent les feuillets et provoquent ainsi le gonflement.

Les ions d'oxygène du silica-tétraèdre et les ions d'hydrogène venant de l'eau forment ainsi des ponts d'hydrogène ceci forment une structure moléculaire rigide en plusieurs couches superposés la bentonite peut gonfler jusqu'à 15 fois son volume initial.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Le produit Type : bentonite de sodium naturelle Wyoming, spécialement sélectionnée, contenant 90% de Montmorillonite de sodium avec un maximum de 10% de cailloux et de sable. Elle est exempte de tout autre sédiments.
 Gonflement libre : 2 grammes de produit dans de l'eau dé-ionisée se gonflera jusqu'à un volume d'au moins 16 cc.

III.1.8.1.2. La géotextile :

Le produit consiste d'un géotextile en polypropylène tissé et un non-tissé, inter lié par le « needle-punch » (processus de fabrication breveté par CETCO). Cette technique pousse les fibres du géotextile non-tissé à travers la couche de bentonite et les intègre dans le géotextile tissé afin de réaliser plusieurs liaisons par cm² sur toute la surface du matelas.

III.1.8.2.Propriétés physiques :

Tableau :III.04.les propriétés physique de la membrane souple.

Quantité	4 kg/m2
Poids spécifique	2.7g/cm3
Valeur en PH	En suspension dans l'eau de 8.5 à 10 .00
Gonflement libre	Mini de 15 fois son volume à sec
Point de fusion	1337°C
Composition de la bentonite de sodium	
Silice	63.02 %
Aluminium	21.08 %
Oxyde ferrique	3.25 %
Oxyde de fer	0.35 %
Magnésium	2.67 %
Calcium	0.65 %
Teneur en eau	5.64 %
Elément altéré	0.72

III.1.8.3.ancrage de la membrane :

III.1.8.3.1.ancrage en tête :

Cet ancrage a un rôle d'empêcher le glissement de la membrane sur le talus, se réalise par enfouissement dans une tranchée de **1m** de largeur et **0.5m** d'hauteur, remplir par des sables.

III.1.8.3.2.ancrage en pied :

Cet ancrage peut avoir une fonction d'assurer la continuité de l'étanchéité entre la membrane et l'horizon étanche, la continuité horizontale de la continuité horizontale de la membrane soit de **2m**.

III.1. mise en place de la membrane :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Cette opération doit être réalisée avec grand soin en respectant certaines règles selon les produits (exemple : limites de température). Sur un parement de barrage, les joints horizontaux sont à proscrire à cause de leur plus faible résistance vis-à-vis des efforts de traction susceptibles de se développer.

En ce qui concerne le support de la géomembrane, deux éléments sont à considérer :

- le risque de poinçonnement, de déchirure, dû à un support trop agressif, soit dès la pose, soit ultérieurement sous l'effet du poids de l'eau ; en plus d'une recherche d'amélioration de la surface du support granulaire, il est souvent ajouté un géotextile de protection, indépendant ou bien associé en usine à la géomembrane ;
- le risque de sous-pressions lors d'une vidange dû à des fuites toujours possibles et à un matériau de remblai insuffisamment perméable ; une couche bien drainante continue sous la géomembrane et des exutoires à la base du remblai permettent l'évacuation des eaux au pied aval du barrage.

Dans le cas des bassins étanchés à l'aide d'une géomembrane, il faut aussi mettre en place un dispositif d'évacuation des gaz susceptibles de se former sous cette dernière.

La protection superficielle contre le rayonnement ultraviolet et contre le piétinement, le batillage, les corps flottants et le vandalisme est assurée par des enrochements ou des dalles en béton. Une transition est nécessaire pour protéger la géomembrane.

Il est important de bien s'assurer de la stabilité au glissement des différentes interfaces et d'éviter toute mise en traction de la géomembrane.

Il est tout à fait envisageable de ne pas protéger superficiellement les géomembranes des petits barrages, ce qui implique toutefois un minimum de surveillance ; les réparations sont aisées mais les géomembranes sont plus vulnérables, leur vieillissement est plus rapide et toute sortie de l'eau d'une personne ou d'un animal tombé accidentellement peut être très difficile. Une clôture est donc nécessaire. Cette solution facilite énormément la surveillance et la réparation.

Il convient d'ancrer la géomembrane au-dessus des plus hautes eaux. Un raccordement adéquat est à prévoir, d'une part en pied de talus avec le dispositif d'étanchéité de la fondation et, d'autre part avec les structures rigides (évacuateur de crues, vidange).

Lorsque les matériaux disponibles sont semi-perméables à peu perméables, il peut s'avérer intéressant de placer la seule géomembrane à l'intérieur du talus amont ; la recharge amont, d'une épaisseur suffisante vis-à-vis des sous-pressions, doit être mise en place avec précaution sur la géomembrane dont les deux faces doivent avoir un frottement suffisamment élevé ; les fuites éventuelles sont alors contrôlées à l'aide d'un drain cheminée classique et la géomembrane a finalement un rôle d'étanchéité complémentaire.

III.1.3 Vérification de l'absence de renard dans le sol de protection:



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

D'après la courbe granulométrique du sable :

$D_5 = 0,0009\text{mm}$; $D_{10}=0,0012 \text{ mm}$; $D_{15}=0,0018\text{mm}$;
 $D_{17}=0,0013\text{mm}$; $D_{50}=0.02\text{mm}$; $D_{85}=0.07\text{mm}$; $D_{60}=0.021\text{mm}$.
 $\eta=D_{60}/D_{10} = 17.5$ Coefficient d'hétérogénéité ;
 $n_0= 0,4$ d'où $n=0,28$;
 $D_5/D_{17}=0.69 > 0,38$

La condition est vérifiée donc, pas de phénomène de renard dans le sol.

Condition 2: (zone de transition)

La condition est vérifiée donc, pas de zone de transition

sol 2 :

Condition 1:

$$\frac{D_5}{D_{17}} \geq 0.32 \sqrt[6]{\varphi} (1 + 0.05\varphi)^{\frac{n}{1-n}}$$

D'après la courbe granulométrique du sable :

$D_5 = 0,0005\text{mm}$; $D_{10}=0,00052 \text{ mm}$; $D_{15}=0,00055\text{mm}$;
 $D_{17}=0,00056\text{mm}$; $D_{50}=0.007\text{mm}$; $D_{85}=0.05\text{mm}$; $D_{60}=0.012\text{mm}$.
 $\eta=D_{60}/D_{10} = 23.08$ Coefficient d'hétérogénéité ;
 $n_0= 0,4$ d'où $n=0,26$;
 $D_5/D_{17}=0.89 > 0,46$

La condition est vérifiée donc pas de phénomène de renard dans le sol.

Condition 2 : (zone de transition)

$$(D_{15}/d_{85}) = (0.00055/0.05) = 0.011 < 4$$

La condition est vérifiée.

Conclusion :

On prévoit :

- Une première couche de filtre en sable d'épaisseur de 15 cm ;
- Une deuxième couche en gravier d'épaisseur de 15 cm ;
- L'enrochement (Rip-rap) d'épaisseur de 50 cm.

III.1. Prisme aval :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Il sera constitué d'enrochement.

- hauteur de prisme H_p : 4m
- cote de la crête de prisme : 311 NGA
- talus inférieur : 1/2
- talus extérieurs : 1/2.5
- largeur en crête : 1.5 m

III.2. étanchéité du barrage :

III.2.1. La clé d'ancrage :

Afin de prévenir les risques d'affouillement au pied aval du barrage consécutives à l'éventuelle fuite à travers les fondations, il est primordial d'augmenter le cheminement de ces infiltrations à même de réduire le gradient hydraulique de sortie jusqu'à des limites acceptables, une parafouille sera exécuté sur la continuité du pied amont du barrage et sera.

- Hauteur maximum de la parafouille : 5 m
- Talus : $m_1=m_2=1$
- Largeur en base : 4 m

III.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 :

Lors de la mise en place de la membrane souple il faudra veiller particulièrement à l'étanchéité des soudures entre les différentes plaques ainsi qu'à la propreté du sable de lit et de la couverture qui doit être exempt de tout élément grossier pouvant être à l'origine d'un quelconque phénomène de poinçonnement ou de déchirure.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE IV :

ETUDE D'INFILTRATION

Introduction :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Les infiltrations sont responsables d'environ 50% environ des avaries causées aux barrages en terre sont provoquées par la déformation de filtration. C'est pourquoi il est utile d'étudier les infiltrations qui peuvent se produire à travers le barrage ou ses fondations.

Ces infiltrations doivent être étudiées sous deux angles :

- d'une part, elles ont pour conséquences les pertes d'eau dont il faut réduire la valeur déterminée dépendant de l'économie générale du projet.

- d'autre part, elles peuvent mettre en jeu la sécurité de l'ouvrage et compromettre sa stabilité si certaines précautions ne sont pas prises contre les risques qu'entraînent les renards et les pressions de filtration.

IV.1 Défaut d'étanchéité et conséquences des infiltrations :

Les infiltrations qui peuvent se produire à travers le barrage ou ses fondations entraînent généralement deux principales conséquences à savoir :

IV.1.1. les fuites diffuses :

Lorsque le remblai s'avère trop perméable et par voie de conséquence le débit de fuites trop élevé, le volume d'eau utilisable devient inférieur aux prévisions et ne permet plus de satisfaire la totalité des besoins.

IV.1.2. La surélévation de la ligne de saturation :

Un remblai soumis à une charge hydraulique se sature partiellement. Le problème se pose lorsque par erreur sur l'identification hydrodynamique des matériaux constitutifs ou suite à des défauts d'exécution, le remblai affiche un comportement hydraulique interne avec une ligne de saturation plus élevée que prévu, une telle configuration altère les conditions de stabilité du talus aval (cas de glissement) et de plus peut engendrer des sous pressions non prises en compte au projet, enfin et surtout l'apparition d'un renard est à craindre.

IV.2 Hypothèses simplificatrices dans les calculs de filtration hydraulique des barrages en terre :

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

- à admettre la filtration dans un seul plan ;
- à prendre comme valeurs nulles, les composantes des vitesses qui ont la direction perpendiculaire à ce plan ;
- à supposer que le sol du massif du barrage soit homogène, isotrope et que la couche imperméable ait 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 La ligne de saturation :

Il est nécessaire de déterminer le tracé de la ligne de saturation pour estimer le débit de fuite à travers le corps du barrage, et à apprécier les risques d'émergence de l'eau particulièrement dangereux 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 et le parement amont.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Tel que : $Y_0 = H^2/2d$

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

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

h : La hauteur d'eau en amont.

On détermine la ligne de saturation pour une hauteur d'eau correspondante à la retenue normale. Et pour la hauteur des plus hautes eaux qui est un cas exceptionnel et de durée relativement courte.

Niveau de La Retenue Normale (NNR), (h=22 m) :

on aura :

D'où **b= 61 m**

L'emprise de barrage : $L_b = 136m$

$d = L_b - 0,7 \cdot b = L_d$ d'où **d = 75.42 m**

On aura donc : $Y_0 = 3.2 m$.

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

$$Y = \sqrt{6.4 X}$$

Tableau IV.01 : Coordonnées de la ligne de saturation

X	Y
0	3,2
5	5,65685425
10	8
15	9,79795897
20	11,3137085
25	12,6491106
30	13,8564065
35	14,9666295
40	16
45	16,9705627
50	17,8885438
55	18,761663
60	19,5959179
65	20,3960781
70	21,1660105
75	21,9089023
75,43	22

IV.4. Evaluation des fuites à travers le corps du barrage :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Les fuites à travers le corps du barrage sont très minimes du fait de la mise en œuvre de la membrane souple qui est un matériau constituant de base soit d'origine naturelle qui constitue tout de même un élément artificiel étudié spécialement pour le besoin dont il en est fait usage et dont l'imperméabilité est de 5.10^{-12} m/s, elle est de loin supérieure aux matériaux naturels locaux généralement adoptés pour l'étanchéité des digues en terre et qui nécessitent la vérification de l'infiltration à travers.

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

$$q = K \cdot Y_0 \dots\dots\dots (IV.02)$$

avec :

K : Coefficient de perméabilité en (m/s). ($K = 5.10^{-12}$ m/s)

$$q = 1,6.10^{-11} \text{ m}^3/\text{s/ml}$$

IV.5. Evaluation des fuites à travers la fondation :

Le débit à travers la fondation est calculé par la loi de DARCY :

$$q = \frac{K.H.T}{L} \dots\dots\dots (IV.03)$$

D'où : K : coefficient de perméabilité ($K = 2,6 \cdot 10^{-6}$ m/s)

H : charge d'eau amont ($H = 23\text{m}$)

T : profondeur du sol de fondation perméable (4 m)

L : l'emprise du barrage ($L = 139\text{m}$)

$$q = 0,17 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s/ml}$$

IV.6. Vérification de la résistance d'infiltration de la fondation :

$$I_f < \frac{I_{cr}}{K_s} \dots\dots\dots (IV.04)$$

Avec:

I_{cr} : gradient d'infiltration critique qui est déterminé en fonction du type de sol de la fondation. Il est donné par le tableau :

Tableau IV.02 : gradient d'infiltration admissible en fonction de sol de fondation

Sols de fondation	I_{cr}
Argile	1.2
Limon	0.65
Sable gros	0.45
Sable moyen	0.38
Sable fin	0.29

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



Tableau IV.03 : Détermination du coefficient de sécurité

Classe du barrage	I	II	III	IV
K_s	1.5	1.20	1.1	1.10

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

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

$$I_f = \frac{\Delta H}{L_b + 0.88T_c} \dots\dots\dots (IV.05)$$

T_c : profondeur de calcul de la zone de l'infiltration de la fondation. ($T_c = 4$ m)

ΔH : charge d'eau ($H = 25$ m).

L_b : largeur à la base du barrage ($L = 139$ m). On a donc : $I_f = 0.175$

Notre barrage appartient à la III classe ce qui donne ($K_s = 1,15$).

Les fondations sont argileuses, donc: $I_{cr} = 1.2$

On a donc : $I_{cr}/K_s = 1.043$

Alors la condition est vérifiée et la résistance d'infiltration à travers la fondation est assurée.

Conclusion :

L'étanchéité de la membrane et leur continuité dans la clé d'ancrage assurant une bonne résistance à l'infiltration.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE V :

ETUDE DE STABILITE



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

explique la magnitude dans laquelle on peut réduire la résistance au cisaillement du sol pour que le glissement se produise le long de la surface la plus défavorable. Le résultat final du coefficient de sécurité dépend de:

- a. Les paramètres mécaniques du sol, obtenus pour l'investigation géotechniques, représentant les états de charge nécessaires à étudier tout en concevant le talus.
- b. La méthode de calcul de stabilité utilisée dans l'examen du facteur de sécurité.
- c. L'approximation avec laquelle on définissent les valeurs des pressions interstitielles (pressions des pores) et leur mode d'utilisation dans la méthode d'analyse de la stabilité choisie.

V.1 Conséquences de l'instabilité des talus :

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

V.2 Méthode de calcul :

Pour l'appréciation de la stabilité du remblai compacté du barrage de Tighzel, et la vérification des valeurs des fruits des parements adoptés, nous avons utilisé la méthode des tranches (Méthode de FELLENIUS). Cette vérification a fait l'objet d'un calcul détaillé effectué manuellement. Ce calcul manuel a été réalisé avec la contribution d'une application en Excel.

Quatre cas peuvent être vérifiés :

Parement amont : cas fin de construction et vidange rapide.

Parement aval : cas fin de construction et fonctionnement normal.

Pour réaliser cette étude nous avons tenir compte des données suivantes :

- ✓ De la géométrie de la digue
- ✓ Des caractéristiques des matériaux utilisés
- ✓ Des différents niveaux d'eau dans la cuvette en fonction de l'exploitation du barrage (niveau de retenue normale et vidange rapide).
- ✓ Du niveau piézoélectrique dans les différentes couches.
- ✓ De l'accélération de la pesanteur en cas de séisme prévu pour une période de retour de 500 ans



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

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

Tableau V.01 : détermination des rayons max et min

Pente des parements	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
$K_1=R_1/H_b$	0,75	0,75	1,00	1,50	2,20	3,00
$K_2=R_2/H_b$	1,50	1,75	2,30	3,75	4,80	5,50

H_b : Hauteur totale du barrage ($H_b=25$ m).

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

Le coefficient de sécurité à la stabilité est égale : $K_S = M_{res}/M_{mot} \dots\dots\dots(V.01)$

M_{resist} : les moments résistants.

M_{mot} : les moments moteurs.

La valeur minimale du facteur de sécurité est caractérisée par un centre de cercle critique qui définit en fin de compte la valeur à prendre en considération, cette valeur du facteur de sécurité définie doit être supérieure du moins égale à la valeur admissible.

Tableau V.02 : les valeurs admissibles des coefficients de sécurité

Combinaison des charges et des actions	Classe de l'ouvrage			
	I	II	III	IV
Fondamentales (sans séisme)	1,20 ÷ 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 : $K_{ss,adm} = 1,1 \div 1,15$

- avec séisme : $K_{as,adm} = 1,05 \div 1,1$



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

	R ₁	R ₂	R ₁ (m)	R ₂ (m)
Amont	2.6	0.9	2.08	22.5
Aval	2.2	0.8	1.86	20
				46.5

Le centre des rayons étant le point « B »

L'intersection des rayons R₁ ; R₂ 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 coté 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).

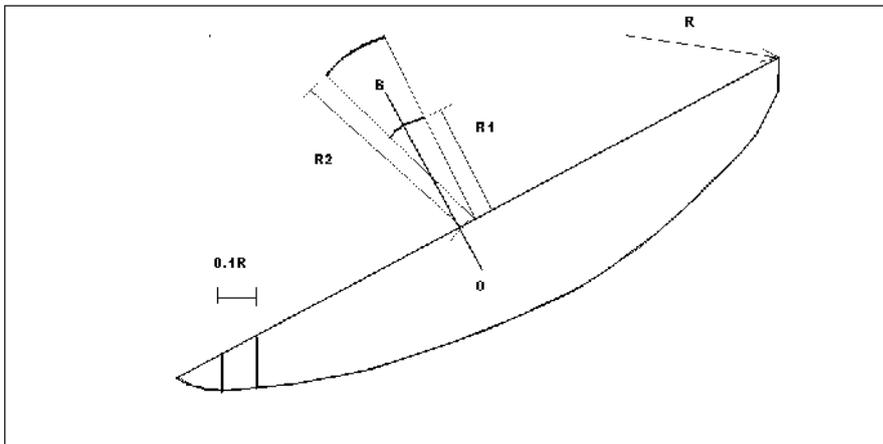


Figure .V.01.représentation de la méthode FUNDIEF.

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.2.2 Calcul des forces appliquées à chaque tranche :

V.2.2.1. 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 :

$$G_n = b (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3) \dots\dots\dots (V.02)$$

h_1 , h_2 , h_3 : hauteurs des tranches.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

b : largeur de la tranche.

V.2.2.2. Force de pression interstitielle :

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

$$P = U \cdot dl = \gamma_w \cdot h \cdot dl \dots\dots\dots (V.03)$$

U : pression interstitielle.

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

tranche. γ_w : poids volumique de l'eau

$\delta_w = 10 \text{KN/m}^3$.

h : hauteur de la tranche.

V.2.2.3. Forces de cohésion :

$$F_c = c \cdot dl \dots\dots\dots (V.04)$$

C : Cohésion du sol (Matériau)

V.2.2.4. Forces de séisme:

$$T = a \cdot G_n \dots\dots\dots (V.05)$$

a : Coefficient de séisme.

G_n : Poids de la tranche.

V.2.3. Classement des forces :

On peut classer toutes ces forces comme suit :

V.2.3.1 Les forces stabilisatrices :

- Force de frottement :

$$F_f = N_n \cdot \text{tg} \varphi - U \cdot dl \text{tg} \varphi \dots\dots\dots (V.06)$$

φ : Angle de frottement.

dl : Longueur de la courbe de glissement dans les limites de la partie partagée.

- Force de cohésion :

$$F_c = c \cdot dl \dots\dots\dots (V.07)$$

Avec :
$$dl = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot B_i}{360}$$

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 :

$$M_s = [(N_n - U \cdot dl) \text{tg} \varphi + c \cdot dl] \cdot R \dots\dots\dots (V.08)$$

V.2.3.2. Les forces motrices :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

$$M = R \sum T_n \dots\dots\dots (V.09)$$

V.3 Calcul du coefficient de sécurité pour les différents types de fonctionnement :

La formule générale pour le calcul est posée comme suit:

$$k_{SS} = \frac{\sum CL + \sum (N - P)tg\phi}{\sum T} \text{ Sans séisme } \dots\dots\dots (V.10)$$

$$k_{SS} = \frac{\sum CL + \sum (N - P)tg\phi}{\left(\sum T + \frac{\sum asdL}{R} \right)} \text{ Avec séisme } \dots\dots\dots (V.11)$$

où:

- N = Composant normal.
- L = Longueur de l'élément (tranchées de déblai)
- T = Composant tangentiel.
- P = Pression hydrostatique interne.
- φ = Angle de frottement interne du matériau.
- C = Cohésion du matériau.
- a=Accélération sismique
- s=Surface de la tranchée
- d= Densité du sol
- R= Rayon du cercle de rupture

Le coefficient «Ks» sera calculé pour les différents types de fonctionnement de retenue.

V.3.1.Fin de construction (talus amont et aval) :

L'étape la plus critique se situe juste a la fin de la construction, alors que les pressions interstitielles sont à leur maximum, le drainage n'a pas encore eu lieu, le calcul se fera alors en contraintes effectives en considérant les densités de mise en place des terres (95% Proctor).

V.3.2. Fonctionnement normale (talus aval) :



nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

V.3.3. Vidange rapide (talus amont) :

La vidange rapide par laquelle a été vérifiée la stabilité du talus amont, est le cas le plus défavorable. Pour ce dernier, l'abaissement rapide du plan d'eau entraîne un écoulement en régime transitoire dans la digue. L'état critique se situant juste après vidange.

Tableau V.03 : Les caractéristiques géotechniques des sols

Paramètres	Unité	Corps du barrage
φ	Degré (°)	38°
C	t/m ²	0.25
γ_{sat}	t/m ³	2,25
γ_d	t/m ³	1,98
γ_{fond}	t/m ³	2,70

Les résultats du calcul sont regroupés dans le tableau suivant et les schémas de calcul de stabilité sont représentés dans la planche N° 05.

Tableau V.04 : coefficient de sécurité pour différents cas de fonctionnement



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

COEFFICIENT DE SECURITE

Avec séisme

Sans séisme

	Talus amont		
Fin de construction	R= 41.11m	3.5	1.37
	R= 51.22m	2.35	1.19
	R= 39.79m	4.42	1.21
	R= 46.14m	3.15	1.41
	Talus aval		
	R= 37.79m	3.64	1.4
	R= 45.34m	2.66	1.49
	R= 40.70m	2.41	1.27
	R= 42.23m	3.41	1.31
Fonctionnement normal	Talus aval		
	R= 37.79m	2.43	1.44
	R= 45.34m	1.36	1.16
	R= 40.70m	1.83	1.36
	R= 42.23m	2.15	1.37
Vidange rapide	Talus amont		
	R= 41.11m	1.67	1.27
	R= 51.22m	1.61	1.33
	R= 39.79m	2.38	1.15
	R= 46.14m	2.56	1.42

Conclusion :

Les coefficients de sécurité pour différentes cas de fonctionnement sont vérifiés la condition, alors la stabilité des talus est vérifier.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE VI :

ORGANISATION DE CHANTIER

Introduction :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

omique, ainsi que les autres moyens mis en œuvre pour gérer le chantier. 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 tâches par la contraction d'une main d'œuvre spécialisée ;
Structurer convenablement les postes de travail stabilisés pour les quels, on adopter 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 .

VI.1. Organisation technique de préparation :

Les opérations essentielles de préparations dans l'organisation technique pour la construction hydrotechnique commencent par la préparation des documents qui donnent droit à l'organisme de réaliser l'exécution des travaux de construction.

L'organisation technique de préparation passe par les étapes suivantes :

1-Période de préparation, consiste à établir l'ordre chronologique et la cadence de réalisation des travaux en qualités et en quantités.

2-Mesure d'approvisionnement du chantier en matériaux de construction concernant le lieu et la qualité.

VI.2. Travaux préparatoires et installation de l'entreprise :

L'implantation d'un chantier nécessite un terrain de larges espaces, a fin de ménager les divers aires de stockages et des pistes de circulation d'engins, suivie de leur occupation progressive par les locaux, engins, poste fixes de travail. On peut distinguer les installations suivantes :

VI.2.1. Installations destinées au personnel :

En générale, sont les dortoirs ; les réfectoires, les installations sanitaires et les bureaux de chantier.

VI.2.2. Installations destinées au stockage des matériaux :

Pour les ciments nous utilisons soit, des silos métalliques, soit des baraquements en bois ou en métal. Les agrégats stockés peuvent être en plein air, on doit seulement prévoir un croisement entre les différents types d'agrégats, pour éviter leur mélange et la faciliter de dosage du béton, et les aciers dans des baraquements, hangarsetc.

VI.2 Installations destinées à la réparation des engins :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

urgence et les réparations ne se font pas sur le chantier lui-même, mais il faut de disposer d'un atelier suffisamment bien équipé pour assurer l'entretien courant et les réparations d'urgence des différents matériels.

VI.2.4. Installation destinée pour la préfabrication :

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

VI.3.Travaux de réalisation**VI.3.1 Travaux de terrassements :**

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

VI.3.2 .Travaux d'excavations :

Les différentes opérations d'excavation devront être faites selon les données avancées dans le dossier des plans et le programme général des travaux, ces derniers comprennent le décapage, excavation et mise en dépôt des déblais suivant les étapes suivantes :

- Décapage de la terre végétale sur l'assise de la digue et la zone d'emprunt, qui sera transporté vers une décharge dans une zone stable sans influence sur le déroulement et le régime des travaux.

VI.3.3. Travaux secondaires

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

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

Tous les travaux peuvent être exécutés à partir de l'automne de la première année de construction et au cours de la deuxième année sauf pendant la période humide.

VI.4. Les moyens de chantier :

En ce qui concerne les moyens en personnel, l'entreprise devra indiquer nommément la personne physique responsable du chantier et son intérimaire en précisant leurs titres, références et compétence. Les mêmes indications devront être fournies pour



les techniciens spécialisés tels que géotechnicien spécialiste en travaux d'étanchéité,

compacts qui seraient à intervenir sur le chantier.

La construction d'une digue en terre nécessite l'utilisation de nombreux engins mécaniques destinés à scarifier, excaver, transporter, niveler et compacter les matériaux.

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

On peut distinguer le matériel de compactage, la fonction les caractéristiques principales et le rendement des différents engins de terrassement et de compactage susceptible d'être utilisés lors de la réalisation du petit barrage.

VI.4.1. Les moyens humains :

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

VI.4.2. Les engins de terrassement :

Le matériel général de terrassement comprend les engins traditionnels mis en œuvre pour la constitution des fouilles d'assise du barrage, l'extraction et / ou le transport des matériaux et la réalisation des finitions (remblai- enrochement ...).

- Le bulldozer.
- Pelle mécanique.
- Chargeur à pneu ou à chenilles.
- Décapeuse.
- Les niveleuses et les camions.

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

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

VI.4.3. Le matériel de bétonnage :

On utilise le plus souvent des bétonnières pour la fabrication du béton nécessaire pour la construction des ouvrages en béton (évacuateur).

VI.4.4. Le matériel spécifique :

On utilise comme matériel :

- Les engins de forage et d'injection.
- Le matériel pour la fabrication des produits bitumineux.

VI.5 Définition :

VI.5.1 Définition :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

L'efficacité de l'action à entreprendre, elle consiste en :

- Installation des postes de travail ;
- Observations instantanées ;
- Analyse des tâches ;
- Définition des objectifs et des attributions ;
- Simplification des méthodes ;
- Stabilisation des postes de travail.

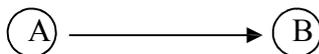
VI.5.2. méthodes basées sur le réseau :

VI.5.2.1. Définition du réseau :

Le réseau est une représentation graphique d'un projet qui permet d'indiquer la relation entre les différentes opérations qui peuvent être successives, simultanées, convergentes et la durée de réalisation. On distingue deux types de réseaux :

Réseau à flèches :

L'opération est représentée par une flèche et la succession des opérations représentée par des nœuds.



L'opération A précède l'opération 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.

VI.5.2.2. Construction du réseau :

Pour construire un réseau, il convient d'effectuer les six (6) opérations suivantes :

- Etablissement d'une liste des tâches : il s'agit dans cette première phase de procéder à un inventaire très précis et détaillé de toutes les opérations indispensables à la réalisation d'un projet.
- Détermination des tâches antérieures : après avoir dressé la liste des tâches à effectuer, il n'est pas toujours facile de construire un réseau, car il n'est pas aisé de dire si les tâches antérieures doivent être successives ou convergentes.
- Construction des graphes partiels ;
- Regroupement des graphes partiels ;
- Détermination des tâches de début de l'ouvrage et de fin de l'ouvrage ;
- Construction du réseau ;

VI.5.3. 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 :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
 Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

VI.5.3.1. les étapes de la planification :

La planification est le processus de la ligne de conduite des travaux à réaliser, elle comprend des étapes suivantes :

VI.5.3.2. collection des informations :

L'établissement d'une synthèse d'analyse des informations acquises par des études comparatives permet l'usage correct du plan de réalisation de notre projet.

VI.5.3.3. décomposition du projet :

C'est une partie importante, car chaque projet peut être analysé de diverses manières ; nous attribuons à chaque tâche un responsable et ses besoins en matériels.

VI.5.3.4. relations entre les tâches :

Il existe deux relations essentielles entre les tâches lors de la réalisation; l'une porte sur un enchaînement logique et l'autre sur un enchaînement préférentiel.

VI.5.3.5. les paramètres de la méthode C.P.M :

Les paramètres indispensables dans 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.
- DCPP : date de commencement au plus tard.
- DFP : date de finition au plus tôt.
- DFPP : date de finition au plus tard.
- MT : marge totale.

Et :

$$\begin{cases} DFP = DCP + TR \\ DCPP = DFPP - TR \end{cases}$$

VI.5.3.6. 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 :

$$C.C \Leftrightarrow \begin{cases} MT = 0 \\ \sum_{C.C} D.T.P \end{cases}$$

VI.5 Attribution des durées de chaque opération :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Dimensions du projet.

En utilisant les normes C.N.A.T, on pourra appliquer la formule suivante:

$$T = \frac{Q.N}{n}$$

Avec : Q : quantité du travail ;
N : rendement ;
n : nombre d'équipes.

VI.6 Les plannings :

Il existe trois types du plan de travail :

VI.6.1. Plan du travail au plus tôt :

Toutes les opérations commencent à leur date au plus tôt, l'entreprise opte pour ce type de planning lorsqu'elle est riche en moyens et travaille sur plusieurs chantiers.

VI.6.2. Plan de travail au plus tard (PTPP) :

Toutes les opérations commencent à leur date au plus tard ; les tâches ne sont pas retardées, l'entreprise opte pour ce type de planning quand ses moyens sont limités (plus économique).

VI.6.3. Plan de travail intermédiaire :

Les opérations commencent à une date intermédiaire, entre date au plus tôt et date au plus tard ; l'entreprise opte pour ce type de planning quand elle est riche et travaille sur un seul chantier (moyens parfaits).

VI.7. Délai de construction et programme des travaux :

- Le délai de construction de l'ouvrage est déterminé en tenant compte du temps de réalisation de chacune des opérations qui le composent, tout en sachant que certaines opérations peuvent être menées parallèlement. La bonne exécution de ces travaux suppose une bonne planification des différentes tâches.
- 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.
- Faire le travail le plus économiquement possible.

Ainsi, cette rationalisation des travaux est tributaire de certaines conditions à savoir la mécanisation maximale des travaux, disponibilité d'un matériel de construction de haut rendement asservie par du personnel qualifié ; bon état du réseau routier servant à l'exécution des opérations de transport; la combinaison dans le temps de différents travaux sur plusieurs fronts sans en pénaliser leur bonne réalisation.

VI.8. Symboles des différentes opérations :



nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Symboles	Opérations	Durée
IC	Mobilisation générale et installation de chantier	1
AC	Accès carrière	2
EC	Excavation clef	3
EF	Excavation fondation	2
PZE	Préparation des zones d'emprunt	1
EMB	Excavation mur bajover	1
BMB	Bétonnage mur bajover	2
RD	Remblai de la digue	4
MCP	Mise en place de la conduite de prise d'eau	1
RP	Remblai du parafoille	1
BD	Bétonnage du déversoir	2
BBA	Bétonnage du bassin amortisseur	1
MM	Mise en place de la membrane	1
RT	Revêtement des talus	2
FC	Finition de la crête	2
MCV	Mise en place de la conduite de vidange	1
DF	Dispositif de filtration	1
PGF	Pose des guides de fermeture	1

Schéma du réseau à nœuds de l'organigramme des opérations est le diagramme de Gant sont représentées dans la planche N° 06.

VI.9. Détermination du chemin critique :

Le chemin qui donne la durée totale du projet (DTR) reliant les opérations possédant la marge totale nulle (0) est nulle, dans notre cas on a (03) chemins critique comme nous montre la planche N 06

En conclusion, la construction du barrage de Tighzel devrait durer environ 14 mois.

VI.10. Avant-mètre et devis estimatif :

Avant-métré c'est les mesures sur plan pour estimer le devis estimatif de l'ouvrage. L'estimation du coût de l'ouvrage se compose de deux parties, le corps de la digue et les ouvrages annexes.

Pour notre travail on s'intéresse au corps de la digue

VI.10.1. Estimation du coût de la digue :

La réalisation du corps de la digue du barrage de Tighzel est composée des parties suivantes :

- ✓ Le décapage et les terrassements de l'assiette d'assise de la digue, des enclaves et des fouilles,
- ✓ Le remblaiement du corps de la digue en matériaux homogènes par couches successives avec compactage par engin compacteur et arrosage ainsi que les essais de laboratoire,
- ✓ Le système de drainage composé de différents filtres en sable et gravier de type bien spécifié,



- ✓ Les talus et leur protection en rip-rap,
- ✓ Aménagement de la crête en Bitume-Gravier
- ✓ Installation du chantier
- ✓ Frais administratifs
- ✓ Frais d'ingénierie

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Nous résumons dans le tableau suivant l'estimation grossière du coût du corps de la digue.

Tableau VI.02: avant mètres et devis estimatif.

Désignation	Unité	Prix unitaire	Quantité	Prix (DA)
Déblais en terrain meuble	m ³	20000	12540	250800000
Remblais de la digue-alluvions	m ³	35000	187500	656250000
Remblais de parafouille-alluvions	m ³	35000	9785	342475000
sable	m ³	10500	5700	59850000
Membrane souple-étanche	M ²	14000	5000	70000000
gravier	m ³	5600	1800	10080000
enrochement	m ³	10300	4350	448055000
Gravier stabilisés (crête)	m ³	30000	811	2433000
total constriction				1129943000
Travaux préparatoires et installations Env. 7% des coûts de construction	%	-		79096010
total constriction				1209039010
Frais administratifs 3% du coût de construction	%	-		33898290
total constriction				1242937300
Frais d'ingénierie 7% du coût de construction	%	-		79096010

COUT TOTAL(DA)

1322033310 (DA)



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Un milliard trois cent vingt-deux millions trente-trois
mille trois cent dix dinars



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CHAPITRE VII :

PROTECTION ET SECURITE DE TRAVAIL

Introduction :



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

Il n'y a nul doute que l'une des conditions du développement est la protection du travailleur. La qualité de son travail et son rendement requiert une sécurité maximale. Si l'on ne peut, au stade actuel du développement de l'Algérie, assurer un niveau de vie optimum à tous les citoyens, on peut, par contre essayer de prodiguer à tous ses aspects (sociale, culturelle, économique et physique).

Nul ne peut nier l'importance des problèmes soulevés. Toutefois il semble que les approches développées sur les risques professionnels ne font pas suffisamment ressortir la liaison avec les conditions de travail. Or ce sont bien, celles-ci qui déterminent dans une très large mesure, la situation du travailleur et les contraintes auxquelles il est assujéti pour assurer sa tâche. L'homme est soumis à des rythmes biologiques, il varie continuellement. Son travail varie aussi en fonction de ces rythmes, de ces caractéristiques psychophysiologiques et de son environnement.

Lorsqu'on évoque les accidents du travail, on a souvent plus ou moins tendance à penser qu'une seule cause serait à l'origine de la situation. S'agissant de l'accident de travail, on peut l'attribuer soit à la machine, soit à l'homme. Dans l'autre cas, on tente de faire ressortir la part de l'homme et la part de la machine. Ainsi les préoccupations concernant les risques professionnels, ne doivent pas être séparées de l'analyse du travail et les conditions dans lesquelles le travailleur est amené à exécuter son travail. L'analyse des causes d'accident n'a intérêt que si elle met celle-ci en relation avec le travail des opérateurs et on prend place dans un diagnostic général de la situation de travail et de ses effets sur la charge de travail, les risques pour la santé et la sécurité.

VII.1 : Les Causes Des Accidents :

L'accident du travail n'est jamais le fait d'un hasard ou de la fatalité. Les causes sont la somme des différents éléments classés en deux catégories :

Facteur matériel et facteur humain

Le facteur matériel concerne les conditions dangereuses susceptibles d'évoluer au cours du travail.

Les causes d'accident d'origine matérielle proviennent soit :

- De la profession en général et du poste de travail en particulier ;
- De la nature de la forme des matériaux mis en œuvre ;
- Des outils et machines utilisés, implantation, entretien ;
- De l'exécution du travail, difficultés particulières ;
- Du lieu de travail, éclairage, conditions climatiques ;
- Des conditions d'hygiène et de sécurité, ventilation, protection etc...

Par opposition aux conditions dangereuses techniquement et pratiquement décevables, les actions dangereuses dans le travail sont

imputables au facteur humain et nécessitant parfois l'intervention de



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

de l'ensemble des accidents graves et mortels. Les accidents graves et mortels sont des réactions psychiques
difficilement prévisibles, car chaque être humain est un cas particulier qui
réagit différemment, selon les circonstances.

VII.2 : LES ACTIONS ET CONDITIONS DANGEREUSES :

- Intervenir sans précaution sur les machines en mouvement ;
Ex : Graisser un engin en marche.
- Imprudence durant les opérations de stockage et manutention ;
Ex : Passer sous une charge suspendue (lors de la pose des tubes) dans la tranchée.
- Intervenir sans précaution sur des installations sous tension, sous pression ;
Ex : ramasser un outil à proximité d'un conducteur sous tension (dans une station de pompage) ;
- Ne pas utiliser l'équipement de protection individuelle ;
Ex : ne pas porter un masque et une paire de gants lors du soudage des conduites ;
- Adopter une position peu sûre ;
Ex : transport du personnel sur la plate –forme d'un camion chargé de gros matériel ;
- Suivre un rythme de travail inadapté ;
Ex : cadence de travail trop rapide ;
- Outillage, engin, équipement en mauvais état ;
Ex : échelle dont les barreaux cassés ont été remplacés par des planches clouées ;
- Défaut dans la conception, dans la construction ;
Ex : installation électrique en fil souple ;
- Eclairage défectueux ;
Ex : éclairage individuel du poste de travail sans éclairage (travaux sur chantier) ;
- Conditions climatiques défavorables.

VII.3 : Organisation De La Prévention Des Accidents Du Travail :

L'organisation de la prévention se présente à travers les activités professionnelles du pays comme une immense chaîne de solidarité, composée de multiples maillons, correspondant chacun aux différents services ou personnes intéressées figurés dans l'organigramme ci-après :



nitro

This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

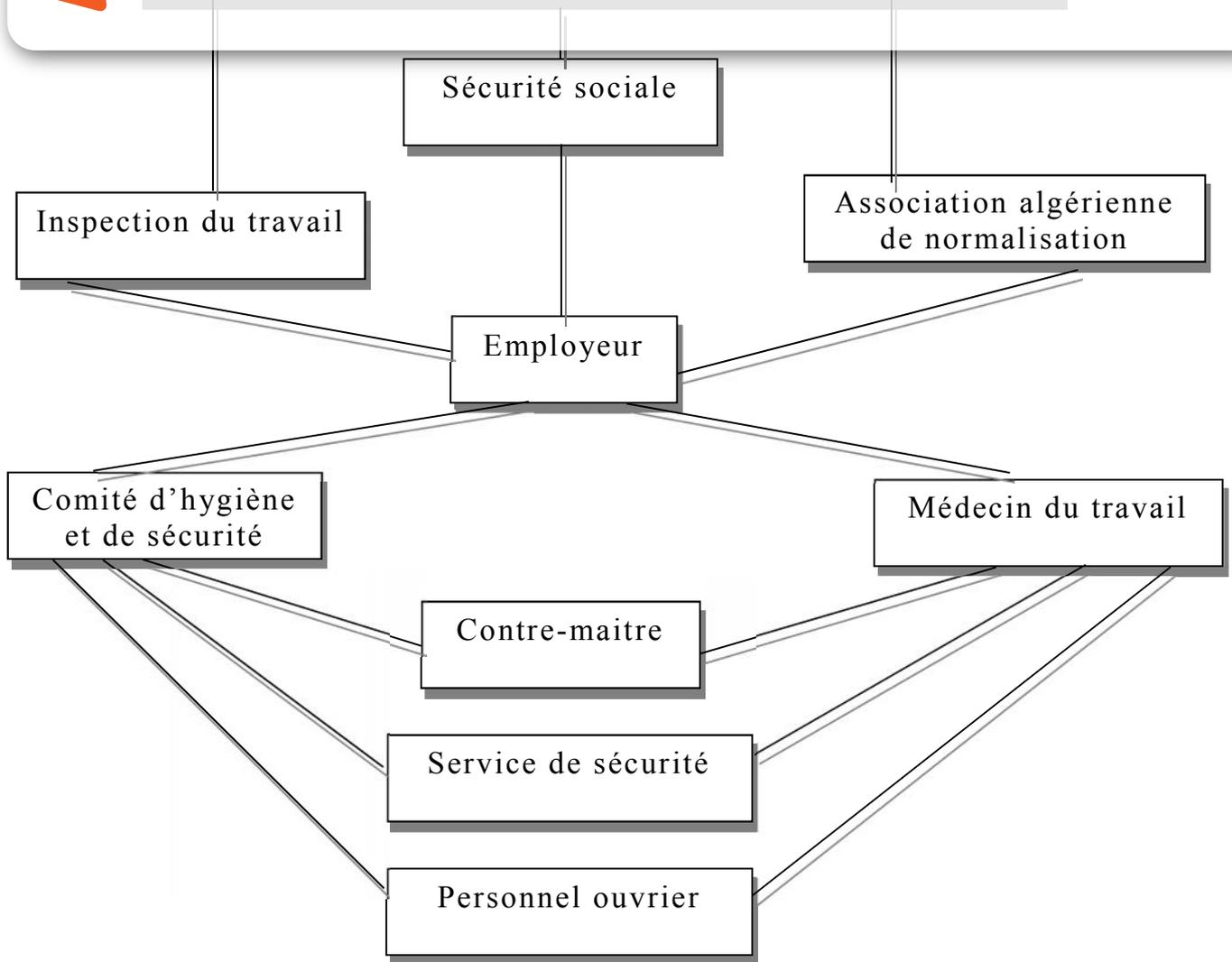


FIGURE VII.1.ORGANIGRAMME DE LA PREVENTION

Le contremaître constitue le maillon essentiel de la chaîne de prévention des accidents du travail. Vu sous l'angle de la protection du personnel, le rôle du contremaître revêt trois aspects important, pédagogique, de surveillance, de suggestion.

Parmi les principales fonctions du service de protection :

- Etudes, participation au comité d'hygiène et de sécurité ;
- Exécution, mesures légales d'hygiène et de sécurité (code de travail, réalisations pratiques des suggestions et des études).
- Les mesures de prévention collective sont la suite logique de l'étude de sécurité. Les mesures de prévention collectives peuvent être classées en deux catégories distinctes :
- Respect de la réglementation, la législation, les contrôles techniques ;

- Les moyens techniques (protection des éléments de machines et
mouvement)
On constate dans l'exercice de certaines professions
l'emploi de nouveaux produits, la législation a de plus en plus
tendance à compléter la prévention collective par des moyens de protection
individuelle.

La protection des membres supérieurs est assurée par le port de gants,
moufles, maniques, épaulières, doigtiers ;

Protection des membres inférieurs ;

Protection des yeux ;

Protection du tronc ;

Protection de la tête ;

Protection des voies respiratoires.

L'équipement de protection est nécessaire lorsque les risques auxquels est
exposé le personnel n'ont pu être éliminés ou supprimés à la source.

Cet équipement doit remplir les conditions suivantes :

- Correspondre au danger considéré ;
- Etre pratique et confortable ;
- Etre solide ;

Conclusion :

La prévention devrait tendre à ne plus être conçue comme un correctif
et s'appuyer uniquement sur des critères défensifs. Avec les avancées du
progrès technique et scientifique, on doit pouvoir en saisir les acquis pour
renverser la tendance, c'est à dire faire de la prévention une action offensive
pour qu'il n'y ait plus de risques.

A cet effet, il convient d'accorder d'avantage d'intérêt aux aspects
éducationnels de l'homme au travail afin de lui permettre une grande maîtrise
de l'outil de production et une plus grande adaptation à son environnement



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de ce travail de fin d'études, nous avons essayé de traiter et d'étudier en détail les principales caractéristiques de la digue. Ce travail a permis de tirer les conclusions suivantes.

D'un point de vue géologique, le site proposé est favorable à l'implantation d'une retenue, aussi bien pour le barrage que sa cuvette.

La topographie de la cuvette de l'oued Tighzel est peu plate à l'exception de quelques buttes rocheuses. Les pentes des rives sont assez douces et la vallée est ainsi étroite.

On constate que les zones d'emprunt prospectées sont très vastes et recèlent des volumes très importants, bien au-delà des besoins nécessaires pour la réalisation du corps de la digue.

La quantité insuffisante de matériaux granulaires de qualité pour la fabrication de béton et le manque de qualité d'argile pour un noyau étanche de digue zonée favorise la construction d'une digue homogène à membrane souple, les seuls matériaux de construction disponibles en quantité importante à proximité du site étant des alluvions. Des matériaux pour la fabrication de béton doivent être amenés depuis une carrière.

La construction d'un petit barrage dans cette région va remédier au problème d'approvisionnement en eau d'irrigation auxquels sont confrontées les agricultures.

Les résultats obtenus par le biais de ce travail sont satisfaisants. Donc, le site proposé pour la réalisation de cet ouvrage est favorable tant sur le plan technique que sur le plan économique.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] **B. TOUAIBIA**: Manuel pratique d'hydrologie. ENSH Blida(2004) p : 5-136.

- [02] **CIGB** : Barrages en remblai, filtre et drain granulaire. Bulletin 95(1994) p : 25-7.

- [03] **CIGB** : Calcul statique des barrages en remblai. Bulletin 53(1986) p : 26-36.

- [04] **G.SANGLERAT** : cours pratique de mécanique des sols(1981) p : 265 – 334.

- [05] **Gérard DEGOUTTE** : petites Barrages, Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi Cemagref(2002) p : 67-89.

- [07] **Jean Maurice DURAND** : techniques des petits barrages(2003) P : 39-42.

- [06] **Renolit ALKORGEO** : Etanchéité des barrages(2004) P18.

- [07] **SIPLAT** : Guide de pose géomembrane/ élément de conception(2005) P :03-04.



This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

LES ANNEXES



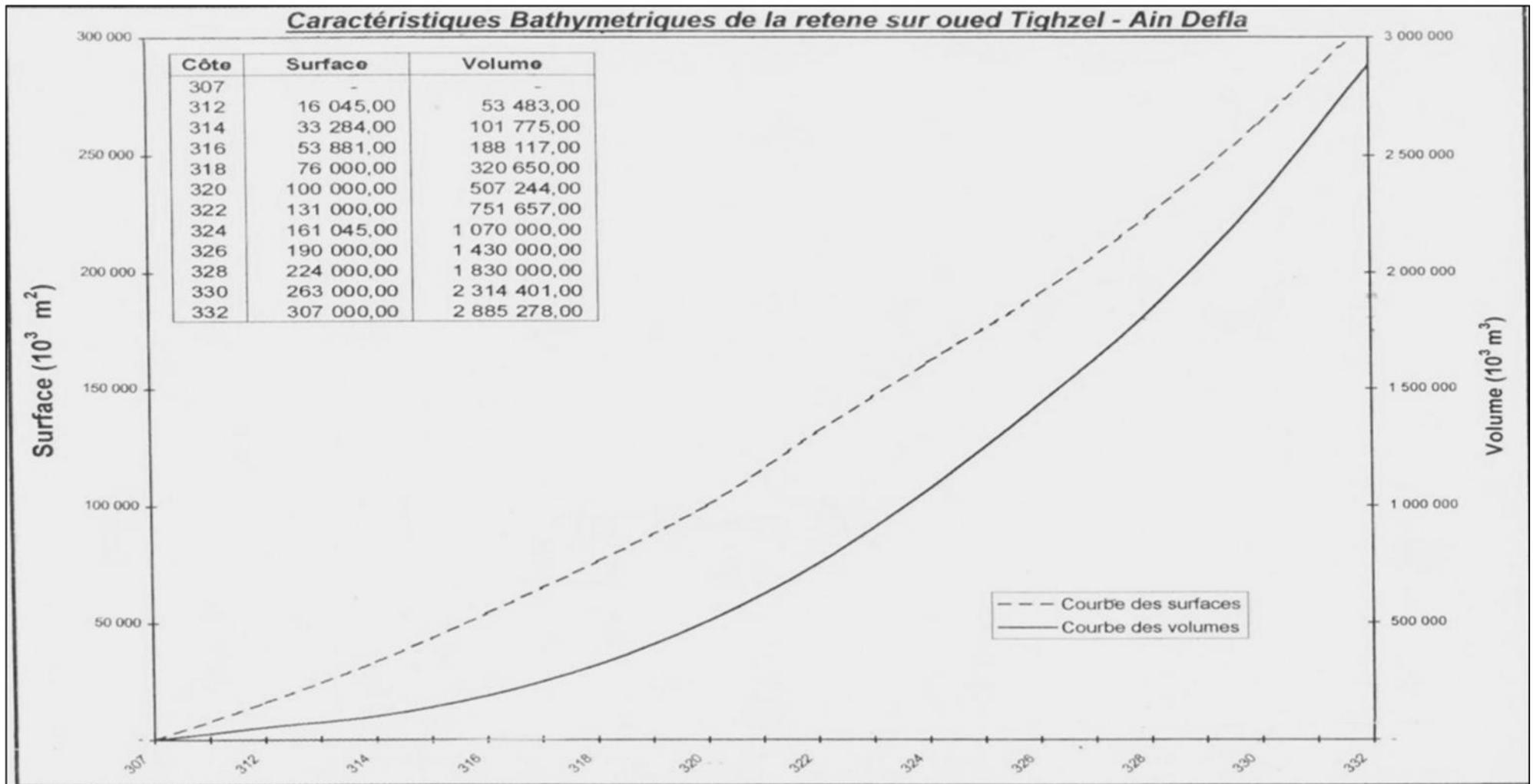
This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

ANNEXE I

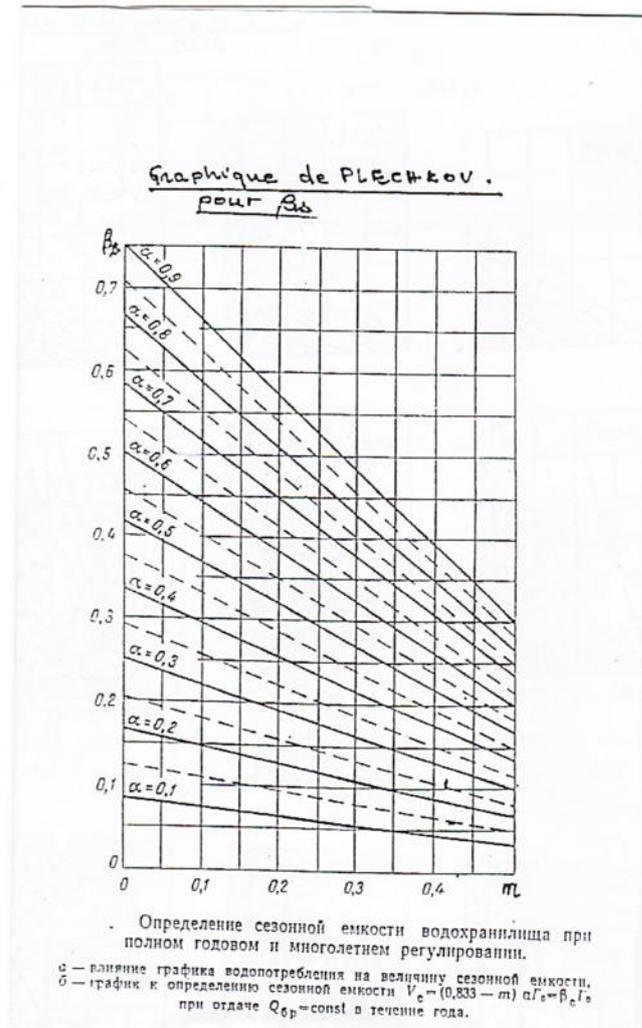


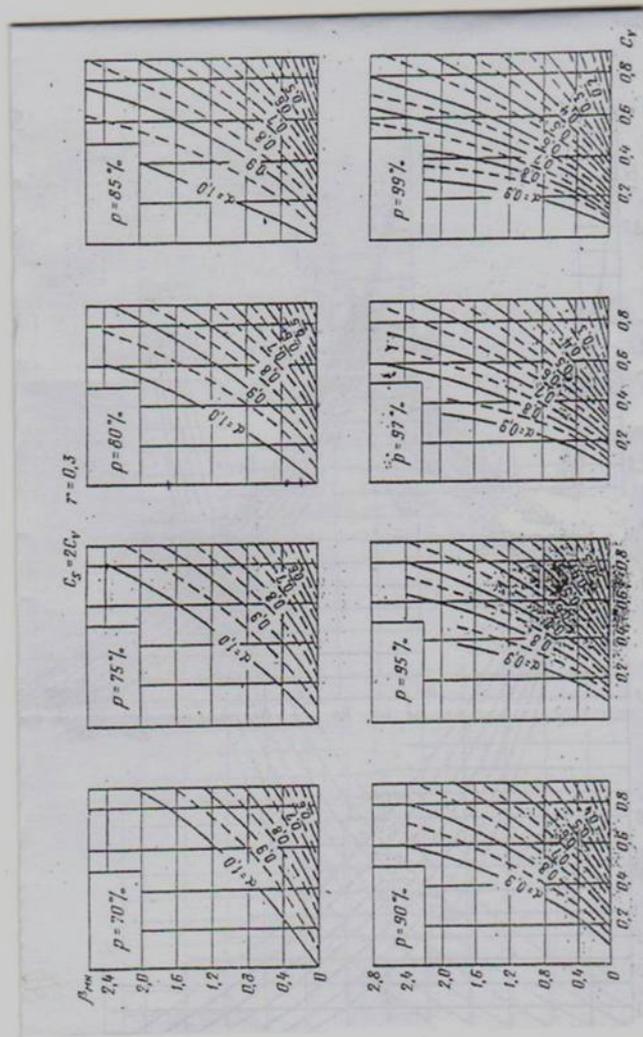
This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

ANNEXE II



La courbe capacité Hauteurs







This file was edited using the trial version of Nitro Pro 7
Buy now at www.nitropdf.com to remove this message

ANNEXE III

Stabilité du talus amont en cas de fin de construction (R=41.11)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	T=Gn*Ssin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tang θ	N*tang θ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang θ	dn	a*Gn*dn
-4	2,44	2,04	0,00	-0,27	0,96	11,050272	-2,98357344	10,61	2,7	6,75	0,78	8,27	2,04	5,508	4,29624	34,66	27,62568
-3	4,11	4,62	0,00	-0,20	0,98	42,153804	-8,4307608	41,31	4,11	10,275	0,78	32,22	4,62	18,9882	14,810796	34,66	105,38451
-2	4,11	7,13	0,00	-0,13	0,99	65,055546	-8,45722098	64,40	4	10	0,78	50,24	7,13	28,52	22,2456	34,66	162,638865
-1	4,11	9,7	0,00	-0,07	1,00	88,50474	-6,1953318	88,50	3,89	9,725	0,78	69,03	9,7	37,733	29,43174	34,66	221,26185
0	4,11	11,7	0,00	0,00	1,00	106,75314	0	106,75	3,86	9,65	0,78	83,27	11,7	45,162	35,22636	34,66	266,88285
1	4,11	21,89	0,00	0,07	1,00	199,728738	13,98101166	199,73	3,89	0	0,78	155,79	21,89	85,1521	66,418638	34,66	499,321845
2	4,11	13,64	0,00	0,13	0,99	124,454088	16,17903144	123,21	4	0	0,78	96,10	13,64	54,56	42,5568	34,66	311,13522
3	4,11	13,65	0,00	0,20	0,98	124,54533	24,909066	122,05	4,19	0	0,78	95,20	13,65	57,1935	44,61093	34,66	311,363325
4	4,11	13,53	0,00	0,27	0,96	123,450426	33,33161502	118,51	4,49	0	0,78	92,44	13,53	60,7497	47,384766	34,66	308,626065
5	4,11	13,45	0,00	0,33	0,94	122,72049	40,4977617	115,36	0,93	0	0,78	89,98	13,45	12,5085	9,75663	34,66	306,801225
6	4,11	11,62	0,00	0,40	0,92	106,023204	42,4092816	97,54	5,59	0	0,78	76,08	11,62	64,9558	50,665524	34,66	265,05801
7	4,11	10,16	0,00	0,47	0,88	92,701872	43,56987984	81,58	6,63	0	0,78	63,63	10,16	67,3608	52,541424	34,66	231,75468
8	4,11	6,32	0,00	0,53	0,85	11,050272	5,85664416	9,39	8,51	0	0,78	7,33	6,32	53,7832	41,950896	34,66	27,62568
9	1,07	1,57	0,00	0,60	0,80	3,729378	2,2376268	2,98	5,21	0	0,78	2,33	1,57	8,1797	6,380166	34,66	9,323445
somme							196,9050312			46,4		642,88			468,27651		10 587,94

kss= 3,500570787

kss= 1,372015149

Stabilité du talus amont en cas de fin de construction (R=51.22)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	T=Gn*Sin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tang θ	N*tang θ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang θ	dn	a*Gn*dn
-4	2,15	2,77	0,00	-0,27	0,96	13,22121	-3,5697267	12,69	2,7	6,75	0,78	9,90	2,77	7,479	5,83362	40,24	33,053025
-3	5,12	6,45	0,00	-0,20	0,98	73,31328	-14,662656	71,85	4,11	10,275	0,78	56,04	6,45	26,5095	20,67741	40,24	183,2832
-2	5,12	10,21	0,00	-0,13	0,99	116,050944	-15,08662272	114,89	4	10	0,78	89,61	7,13	28,52	22,2456	40,24	290,12736
-1	5,12	12,13	0,00	-0,07	1,00	137,874432	-9,65121024	137,87	3,89	9,725	0,78	107,54	12,13	47,1857	36,804846	40,24	344,68608
0	5,12	14,29	0,00	0,00	1,00	162,425856	0	162,43	3,86	9,65	0,78	126,69	14,29	55,1594	43,024332	40,24	406,06464
1	5,12	16,02	0,00	0,07	1,00	182,089728	12,74628096	182,09	3,89	9,725	0,78	142,03	16,02	62,3178	48,607884	40,24	455,22432
2	5,12	16,05	0,00	0,13	0,99	182,43072	23,7159936	180,61	4	10	0,78	140,87	16,05	64,2	50,076	40,24	456,0768
3	5,12	17,28	0,00	0,20	0,98	196,411392	39,2822784	192,48	4,19	10,475	0,78	150,14	17,28	72,4032	56,474496	40,24	491,02848
4	5,12	17,32	0,00	0,27	0,96	196,866048	53,15383296	188,99	4,49	11,225	0,78	147,41	17,32	77,7668	60,658104	40,24	492,16512
5	5,12	16,5	0,00	0,33	0,94	187,5456	61,890048	176,29	0,93	2,325	0,78	137,51	16,5	15,345	11,9691	40,24	468,864
6	5,12	15,65	0,00	0,40	0,92	177,88416	71,153664	163,65	5,59	13,975	0,78	127,65	15,65	87,4835	68,23713	40,24	444,7104
7	5,12	12,41	0,00	0,47	0,88	141,057024	66,29680128	124,13	6,63	16,575	0,78	96,82	12,41	82,2783	64,177074	40,24	352,64256
8	5,12	8,62	0,00	0,53	0,85	97,978368	51,92853504	83,28	8,51	21,275	0,78	64,96	8,62	73,3562	57,217836	40,24	244,94592
9	0,97	1,62	0,00	0,60	0,80	3,488508	2,0931048	2,79	5,21	13,025	0,78	2,18	1,62	8,4402	6,583356	40,24	8,72127
somme							339,2903234			155		642,88			552,586788		13 345,62

kss=	2,35161
kss=	1,19

Stabilité du talus amont en cas de fin de construction (R=39.79)

-4	1,17	0,77	0,00	-0,27	0,96	1,999998	-0,53999946	1,92	2,7	6,75	0,78	1,50	0,77	2,079	1,62162	32,08	34,999965
-3	3,98	3,23	0,00	-0,20	0,98	28,538988	-5,7077976	27,97	4,11	10,275	0,78	21,82	3,23	13,2753	10,354734	32,08	499,43229
-2	3,98	6,04	0,00	-0,13	0,99	53,367024	-6,93771312	52,83	4	10	0,78	41,21	7,13	28,52	22,2456	32,08	933,92292
-1	3,98	8,27	0,00	-0,07	1,00	73,070412	-5,11492884	73,07	3,89	9,725	0,78	56,99	8,27	32,1703	25,092834	32,08	1278,73221
0	3,98	9,6	0,00	0,00	1,00	84,82176	0	84,82	3,86	9,65	0,78	66,16	9,6	37,056	28,90368	32,08	1484,3808
1	3,98	10,75	0,00	0,07	1,00	94,9827	6,648789	94,98	3,89	9,725	0,78	74,09	10,75	41,8175	32,61765	32,08	1662,19725
2	3,98	12,25	0,00	0,13	0,99	108,2361	14,070693	107,15	4	10	0,78	83,58	12,25	49	38,22	32,08	1894,13175
3	3,98	12,04	0,00	0,20	0,98	106,380624	21,2761248	104,25	4,19	10,475	0,78	81,32	12,04	50,4476	39,349128	32,08	1861,66092
4	3,98	11,9	0,00	0,27	0,96	105,14364	28,3887828	100,94	4,49	11,225	0,78	78,73	11,9	53,431	41,67618	32,08	1840,0137
5	3,98	11,99	0,00	0,33	0,94	105,938844	34,95981852	99,58	0,93	2,325	0,78	77,67	11,99	11,1507	8,697546	32,08	1853,92977
6	3,98	9,86	0,00	0,40	0,92	87,119016	34,8476064	80,15	5,59	13,975	0,78	62,52	9,86	55,1174	42,991572	32,08	1524,58278
7	3,98	8,39	0,00	0,47	0,88	74,130684	34,84142148	65,24	6,63	16,575	0,78	50,88	8,39	55,6257	43,388046	32,08	1297,28697
8	3,98	5,06	0,00	0,53	0,85	44,708136	23,69531208	38,00	8,51	21,275	0,78	29,64	5,06	43,0606	33,587268	32,08	782,39238
9	0,29	0,38	0,00	0,60	0,80	0,244644	0,1467864	0,20	5,21	13,025	0,78	0,15	0,38	1,9798	1,544244	32,08	4,28127
somme							180,5748955			155		642,88			370,290102		16 951,94

kss= 4,418554406

kss= 1,21

Stabilité du talus amont en cas de fin de construction (R=39.79)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	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	1,62	1,36	0	-27	0,96	4,891104	-132,059808	4,70	4,21	7,36	0,78	3,66	1,36	5,7256	4,465968	35,26	36,68328
-4	3,52	5,21	0,00	-0,27	0,96	40,713024	-10,99251648	39,08	2,7	6,75	0,78	30,49	5,21	14,067	10,97226	35,26	305,34768
-3	3,52	8,95	0,00	-0,20	0,98	69,93888	-13,987776	68,54	4,11	10,275	0,78	53,46	8,95	36,7845	28,69191	35,26	524,5416
-2	3,52	11,45	0,00	-0,13	0,99	89,47488	-11,6317344	88,58	4	10	0,78	69,09	7,13	28,52	22,2456	35,26	671,0616
-1	3,52	13,84	0,00	-0,07	1,00	108,151296	-7,57059072	108,15	3,89	9,725	0,78	84,36	13,84	53,8376	41,993328	35,26	811,13472
0	3,52	15,83	0,00	0,00	1,00	123,701952	0	123,70	3,86	9,65	0,78	96,49	15,83	61,1038	47,660964	35,26	927,76464
1	3,52	16,98	0,00	0,07	1,00	132,688512	9,28819584	132,69	3,89	9,725	0,78	103,50	16,98	66,0522	51,520716	35,26	995,16384
2	3,52	18,5	0,00	0,13	0,99	144,5664	18,793632	143,12	4	10	0,78	111,63	18,5	74	57,72	35,26	1084,248
3	3,52	18,45	0,00	0,20	0,98	144,17568	28,835136	141,29	4,19	10,475	0,78	110,21	18,45	77,3055	60,29829	35,26	1081,3176
4	3,52	18,99	0,00	0,27	0,96	148,395456	40,06677312	142,46	4,49	11,225	0,78	111,12	18,99	85,2651	66,506778	35,26	1112,96592
5	3,52	17,89	0,00	0,33	0,94	139,799616	46,13387328	131,41	0,93	2,325	0,78	102,50	17,89	16,6377	12,977406	35,26	1048,49712
6	3,52	16,22	0,00	0,40	0,92	126,749568	50,6998272	116,61	5,59	13,975	0,78	90,96	16,22	90,6698	70,722444	35,26	950,62176
7	3,52	13,75	0,00	0,47	0,88	107,448	50,50056	94,55	6,63	16,575	0,78	73,75	13,75	91,1625	71,10675	35,26	805,86
8	3,52	11,15	0,00	0,53	0,85	87,13056	46,1791968	74,06	8,51	21,275	0,78	57,77	11,15	94,8865	74,01147	35,26	653,4792
9	1,66	3,04	0,00	0,60	0,80	11,203008	6,7218048	8,96	5,21	13,025	0,78	6,99	3,04	15,8384	12,353952	35,26	84,02256
somme							253,0363814			155		642,88			628,781868		11 056,03

kss= 3,153222455

kss= 1,41

Stabilité du talus aval en cas de fin de construction (R=37.79)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tang θ	N*tang θ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang θ	dn	a*Gn*dn
-2	2,58	1,72	0,00	-0,1818182	0,9833322	9,851472	-1,7911767	9,69	4	10	0,78	7,56	7,13	28,52	22,2456	32,91	172,40076
-1	4,5	3,89	0,00	-0,0909091	0,9958592	38,8611	-3,5328273	38,70	3,89	9,725	0,78	30,19	3,89	15,1321	11,803038	32,91	680,06925
0	4,5	5,67	0,00	0	1	56,6433	0	56,64	3,86	9,65	0,78	44,18	5,67	21,8862	17,071236	32,91	991,25775
1	4,5	7,08	0,00	0,0909091	0,9958592	70,7292	6,4299273	70,44	3,89	9,725	0,78	54,94	7,08	27,5412	21,482136	32,91	1237,761
2	4,5	8,11	0,00	0,1818182	0,9833322	81,0189	14,730709	79,67	4	10	0,78	62,14	8,11	32,44	25,3032	32,91	1417,83075
3	4,5	8,53	0,00	0,2727273	0,9620914	85,2147	23,240373	81,98	4,19	10,475	0,78	63,95	8,53	35,7407	27,877746	32,91	1491,25725
4	4,5	8,87	0,00	0,3636364	0,931541	88,6113	32,222291	82,55	4,49	11,225	0,78	64,39	8,87	39,8263	31,064514	32,91	1550,69775
5	4,5	8,67	0,00	0,4545455	0,8907235	86,6133	39,369682	77,15	0,93	2,325	0,78	60,18	8,67	8,0631	6,289218	32,91	1515,73275
6	4,5	7,95	0,00	0,5454545	0,8381404	79,4205	43,320273	66,57	5,59	13,975	0,78	51,92	7,95	44,4405	34,66359	32,91	1389,85875
7	4,5	6,13	0,00	0,6363636	0,7713892	61,2387	38,970082	47,24	6,63	16,575	0,78	36,85	6,13	40,6419	31,700682	32,91	1071,67725
8	3,01	3,73	0,00	0,7272727	0,6863486	24,924606	18,126986	17,11	8,51	21,275	0,78	13,34	3,73	31,7423	24,758994	32,91	436,180605
somme							211,08632			124,95		642,88			254,25995		11 954,72

kss= 3,637516658

kss= 1,40

Stabilité du talus aval en cas de fin de construction (R=45.34)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tang θ	N*tang θ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang θ	dn	a*Gn*dn
-3	1,59	1,15	0,00	-0,25	0,9682458	4,05927	-1,0148175	3,93	4,11	10,275	0,78	3,07	1,15	4,7265	3,68667	45,34	30,444525
-2	4,5	4,2	0,00	-0,1666667	0,9860133	41,958	-6,993	41,37	4	10	0,78	32,27	7,13	28,52	22,2456	45,34	314,685
-1	4,5	6,77	0,00	-0,0833333	0,9965217	67,6323	-5,636025	67,40	3,89	9,725	0,78	52,57	6,77	26,3353	20,541534	45,34	507,24225
0	4,5	8,9	0,00	0	1	88,911	0	88,91	3,86	9,65	0,78	69,35	8,9	34,354	26,79612	45,34	666,8325
1	4,5	10,57	0,00	0,0833333	0,9965217	105,5943	8,799525	105,23	3,89	9,725	0,78	82,08	10,57	41,1173	32,071494	45,34	791,95725
2	4,5	11,76	0,00	0,1666667	0,9860133	117,4824	19,5804	115,84	4	10	0,78	90,35	11,76	47,04	36,6912	45,34	881,118
3	4,5	12,74	0,00	0,25	0,9682458	127,2726	31,81815	123,23	4,19	10,475	0,78	96,12	12,74	53,3806	41,636868	45,34	954,5445
4	4,5	12,78	0,00	0,3333333	0,942809	127,6722	42,5574	120,37	4,49	11,225	0,78	93,89	12,78	57,3822	44,758116	45,34	957,5415
5	4,5	12,44	0,00	0,4166667	0,9090593	124,2756	51,7815	112,97	0,93	2,325	0,78	88,12	12,44	11,5692	9,023976	45,34	932,067
6	4,5	11,4	0,00	0,5	0,8660254	113,886	56,943	98,63	5,59	13,975	0,78	76,93	11,4	63,726	49,70628	45,34	854,145
7	4,5	9,5	0,00	0,5833333	0,8122329	94,905	55,36125	77,08	6,63	16,575	0,78	60,13	9,5	62,985	49,1283	45,34	711,7875
8	4,07	6,52	0,00	0,6666667	0,745356	58,910808	39,273872	43,91	8,51	21,275	0,78	34,25	6,52	55,4852	43,278456	45,34	441,83106
somme							292,47125			135,225		642,88			379,56461		8 044,20

kss= 2,66044949

kss= 1,49

Stabilité du talus aval en cas de fin de construction (R=40.7)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tang ϕ	N*tang ϕ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang ϕ	dn	a*Gn*dn
-4	2,41	2,15	0,00	-0,3076923	0,9514859	11,50293	-3,5393631	10,94	2,7	6,75	0,78	8,54	2,15	5,805	4,5279	31,79	86,271975
-3	4,07	5,32	0,00	-0,2307692	0,9730085	48,068328	-11,092691	46,77	4,11	10,275	0,78	36,48	5,32	21,8652	17,054856	31,79	360,51246
-2	4,07	8,03	0,00	-0,1538462	0,9880948	72,554262	-11,162194	71,69	4	10	0,78	55,92	7,13	28,52	22,2456	31,79	544,156965
-1	4,07	10,32	0,00	-0,0769231	0,997037	93,245328	-7,1727175	92,97	3,89	9,725	0,78	72,52	10,32	40,1448	31,312944	31,79	699,33996
0	4,07	12,4	0,00	0	1	112,03896	0	112,04	3,86	9,65	0,78	87,39	12,4	47,864	37,33392	31,79	840,2922
1	4,07	13,72	0,00	0,0769231	0,997037	123,96569	9,5358222	123,60	3,89	9,725	0,78	96,41	13,72	53,3708	41,629224	31,79	929,74266
2	4,07	14,82	0,00	0,1538462	0,9880948	133,90463	20,600712	132,31	4	10	0,78	103,20	14,82	59,28	46,2384	31,79	1004,28471
3	4,07	15,51	0,00	0,2307692	0,9730085	140,13905	32,339782	136,36	4,19	10,475	0,78	106,36	15,51	64,9869	50,689782	31,79	1051,042905
4	4,07	15,73	0,00	0,3076923	0,9514859	142,12684	43,731336	135,23	4,49	11,225	0,78	105,48	15,73	70,6277	55,089606	31,79	1065,951315
5	4,07	15,45	0,00	0,3846154	0,9230769	139,59693	53,691127	128,86	0,93	2,325	0,78	100,51	15,45	14,3685	11,20743	31,79	1046,976975
6	4,07	14,57	0,00	0,4615385	0,8871202	131,64578	60,75959	116,79	5,59	13,975	0,78	91,09	14,57	81,4463	63,528114	31,79	987,343335
7	4,07	12,97	0,00	0,5384615	0,8426501	117,18914	63,101844	98,75	6,63	16,575	0,78	77,02	12,97	85,9911	67,073058	31,79	878,918535
8	4,07	10,12	0,00	0,6153846	0,788227	91,438248	56,269691	72,07	8,51	21,275	0,78	56,22	10,12	86,1212	67,174536	31,79	685,78686
9	2,57	6,02	0,00	0,6923077	0,7216024	34,346508	23,778352	24,78	5,21	13,025	0,78	19,33	6,02	31,3642	24,464076	31,79	257,59881
somme							330,84129			155		642,88			539,56945		10 438,22

kss= 2,411669965

kss= 1,27

Stabilité du talus aval en cas de fin de construction (R=42.23)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-2	2,99	1,99	0,00	-0,1818182	0,9833322	13,209222	-2,4016767	12,99	4	10	0,78	10,13	7,13	28,52	22,2456	36,66	231,161385
-1	4,2	4,34	0,00	-0,0909091	0,9958592	40,46616	-3,6787418	40,30	3,89	9,725	0,78	31,43	4,34	16,8826	13,168428	36,66	708,1578
0	4,2	6,39	0,00	0	1	59,58036	0	59,58	3,86	9,65	0,78	46,47	6,39	24,6654	19,239012	36,66	1042,6563
1	4,2	7,97	0,00	0,0909091	0,9958592	74,31228	6,7556618	74,00	3,89	9,725	0,78	57,72	7,97	31,0033	24,182574	36,66	1300,4649
2	4,2	9,12	0,00	0,1818182	0,9833322	85,03488	15,460887	83,62	4	10	0,78	65,22	9,12	36,48	28,4544	36,66	1488,1104
3	4,2	9,82	0,00	0,2727273	0,9620914	91,56168	24,971367	88,09	4,19	10,475	0,78	68,71	9,82	41,1458	32,093724	36,66	1602,3294
4	4,2	10,04	0,00	0,3636364	0,931541	93,61296	34,041076	87,20	4,49	11,225	0,78	68,02	10,04	45,0796	35,162088	36,66	1638,2268
5	4,2	9,79	0,00	0,4545455	0,8907235	91,28196	41,4918	81,31	0,93	2,325	0,78	63,42	9,79	9,1047	7,101666	36,66	1597,4343
6	4,2	8,74	0,00	0,5454545	0,8381404	81,49176	44,450051	68,30	5,59	13,975	0,78	53,28	8,74	48,8566	38,108148	36,66	1426,1058
7	4,2	7,15	0,00	0,6363636	0,7713892	66,6666	42,4242	51,43	6,63	16,575	0,78	40,11	7,15	47,4045	36,97551	36,66	1166,6655
8	3,29	4,05	0,00	0,7272727	0,6863486	29,58039	21,513011	20,30	8,51	21,275	0,78	15,84	4,05	34,4655	26,88309	36,66	517,656825
somme							225,02764			124,95		642,88			283,61424		12 718,97

kss= 3,412158674

kss= 1,31

Stabilité du talus aval en cas de fonctionnement normal (R=37.79)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang	dn	a*Gn*dn
-2	2,58	1,72	0,00	-0,1818182	0,9833322	9,851472	-1,7911767	9,69	4	10	0,78	7,56	7,13	28,52	22,2456	32,91	73,88604
-1	4,5	3,89	0,00	-0,0909091	0,9958592	38,8611	-3,5328273	38,70	3,89	9,725	0,78	30,19	3,89	15,1321	11,803038	32,91	291,45825
0	4,5	5,67	0,00	0	1	56,6433	0	56,64	3,86	9,65	0,78	44,18	5,67	21,8862	17,071236	32,91	424,82475
1	4,5	7,08	0,00	0,0909091	0,9958592	70,7292	6,4299273	70,44	3,89	9,725	0,78	54,94	7,08	27,5412	21,482136	32,91	530,469
2	4,5	8,11	0,00	0,1818182	0,9833322	81,0189	14,730709	79,67	4	10	0,78	62,14	8,11	32,44	25,3032	32,91	607,64175
3	4,5	8,53	0,00	0,2727273	0,9620914	85,2147	23,240373	81,98	4,19	10,475	0,78	63,95	8,53	35,7407	27,877746	32,91	639,11025
4	4,5	8,87	0,00	0,3636364	0,931541	88,6113	32,222291	82,55	4,49	11,225	0,78	64,39	8,87	39,8263	31,064514	32,91	664,58475
5	4,5	8,67	0,00	0,4545455	0,8907235	86,6133	39,369682	77,15	0,93	2,325	0,78	60,18	8,67	8,0631	6,289218	32,91	649,59975
6	4,5	7,95	0,00	0,5454545	0,8381404	79,4205	43,320273	66,57	5,59	13,975	0,78	51,92	7,95	44,4405	34,66359	32,91	595,65375
7	4,5	6,13	0,00	0,6363636	0,7713892	61,2387	38,970082	47,24	6,63	16,575	0,78	36,85	6,13	40,6419	31,700682	32,91	459,29025
8	3,01	3,73	0,00	0,7272727	0,6863486	24,924606	18,126986	17,11	8,51	21,275	0,78	13,34	3,73	31,7423	24,758994	32,91	186,934545
somme							211,08632			124,95		642,88			254,25995		5 123,45

kss= 2,432985944

kss= 1,44

Stabilité du talus aval en cas de fonctionnement normal (R=45.34)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang	dn	a*Gn*dn
-3	1,59	1,15	0,00	-0,25	0,9682458	4,05927	-1,0148175	3,93	4,11	10,275	0,78	3,07	1,15	4,7265	3,68667	45,34	101,48175
-2	4,5	4,2	0,00	-0,1666667	0,9860133	41,958	-6,993	41,37	4	10	0,78	32,27	7,13	28,52	22,2456	45,34	89,16075
-1	4,5	6,77	0,00	-0,08333333	0,9965217	67,6323	-5,636025	67,40	3,89	9,725	0,78	52,57	6,77	26,3353	20,541534	45,34	143,7186375
0	4,5	8,9	0,00	0	1	88,911	0	88,91	3,86	9,65	0,78	69,35	8,9	34,354	26,79612	45,34	188,935875
1	4,5	10,57	0,00	0,08333333	0,9965217	105,5943	8,799525	105,23	3,89	9,725	0,78	82,08	10,57	41,1173	32,071494	45,34	224,3878875
2	4,5	11,76	0,00	0,1666667	0,9860133	117,4824	19,5804	115,84	4	10	0,78	90,35	11,76	47,04	36,6912	45,34	249,6501
3	4,5	12,74	0,00	0,25	0,9682458	127,2726	31,81815	123,23	4,19	10,475	0,78	96,12	12,74	53,3806	41,636868	45,34	270,454275
4	4,5	12,78	0,00	0,33333333	0,942809	127,6722	42,5574	120,37	4,49	11,225	0,78	93,89	12,78	57,3822	44,758116	45,34	271,303425
5	4,5	12,44	0,00	0,4166667	0,9090593	124,2756	51,7815	112,97	0,93	2,325	0,78	88,12	12,44	11,5692	9,023976	45,34	264,08565
6	4,5	11,4	0,00	0,5	0,8660254	113,886	56,943	98,63	5,59	13,975	0,78	76,93	11,4	63,726	49,70628	45,34	242,00775
7	4,5	9,5	0,00	0,58333333	0,8122329	94,905	55,36125	77,08	6,63	16,575	0,78	60,13	9,5	62,985	49,1283	45,34	201,673125
8	4,07	6,52	0,00	0,6666667	0,745356	58,910808	39,273872	43,91	8,51	21,275	0,78	34,25	6,52	55,4852	43,278456	45,34	125,185467
somme							292,47125			135,225		642,88			379,56461		2 372,04

kss= 1,36266515

kss= 1,16

Stabilité du talus aval en cas de fonctionnement normal (R=40.70)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tang θ	N*tang θ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang θ	dn	a*Gn*dn
-4	2,41	2,15	0,00	-0,3076923	0,9514859	11,50293	-3,5393631	10,94	2,7	6,75	0,78	8,54	2,15	5,805	4,5279	31,79	86,271975
-3	4,07	5,32	0,00	-0,2307692	0,9730085	48,068328	-11,092691	46,77	4,11	10,275	0,78	36,48	5,32	21,8652	17,054856	31,79	360,51246
-2	4,07	8,03	0,00	-0,1538462	0,9880948	72,554262	-11,162194	71,69	4	10	0,78	55,92	7,13	28,52	22,2456	31,79	544,156965
-1	4,07	10,32	0,00	-0,0769231	0,997037	93,245328	-7,1727175	92,97	3,89	9,725	0,78	72,52	10,32	40,1448	31,312944	31,79	699,33996
0	4,07	12,4	0,00	0	1	112,03896	0	112,04	3,86	9,65	0,78	87,39	12,4	47,864	37,33392	31,79	840,2922
1	4,07	13,72	0,00	0,0769231	0,997037	123,96569	9,5358222	123,60	3,89	9,725	0,78	96,41	13,72	53,3708	41,629224	31,79	929,74266
2	4,07	14,82	0,00	0,1538462	0,9880948	133,90463	20,600712	132,31	4	10	0,78	103,20	14,82	59,28	46,2384	31,79	1004,28471
3	4,07	15,51	0,00	0,2307692	0,9730085	140,13905	32,339782	136,36	4,19	10,475	0,78	106,36	15,51	64,9869	50,689782	31,79	1051,042905
4	4,07	15,73	0,00	0,3076923	0,9514859	142,12684	43,731336	135,23	4,49	11,225	0,78	105,48	15,73	70,6277	55,089606	31,79	1065,951315
5	4,07	15,45	0,00	0,3846154	0,9230769	139,59693	53,691127	128,86	0,93	2,325	0,78	100,51	15,45	14,3685	11,20743	31,79	1046,976975
6	4,07	14,57	0,00	0,4615385	0,8871202	131,64578	60,75959	116,79	5,59	13,975	0,78	91,09	14,57	81,4463	63,528114	31,79	987,343335
7	4,07	12,97	0,00	0,5384615	0,8426501	117,18914	63,101844	98,75	6,63	16,575	0,78	77,02	12,97	85,9911	67,073058	31,79	878,918535
8	4,07	10,12	0,00	0,6153846	0,788227	91,438248	56,269691	72,07	8,51	21,275	0,78	56,22	10,12	86,1212	67,174536	31,79	685,78686
9	2,57	6,02	0,00	0,6923077	0,7216024	34,346508	23,778352	24,78	5,21	13,025	0,78	19,33	6,02	31,3642	24,464076	31,79	257,59881
somme							330,84129			155		642,88			539,56945		10 438,22

kss= 1,825358

kss= 1,36

Stabilité du talus aval en cas de fonctionnement normal (R=42.23)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*	T=Gn*Sin	N=Gn*Cos	dli	C*dli	tangø	N*tangø	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tangø	dn	a*Gn*dn
-2	2,99	1,99	0,00	-0,1818182	0,9833322	13,209222	-2,4016767	12,99	4	10	0,78	10,13	7,13	28,52	22,2456	36,66	99,069165
-1	4,2	4,34	0,00	-0,0909091	0,9958592	40,46616	-3,6787418	40,30	3,89	9,725	0,78	31,43	4,34	16,8826	13,168428	36,66	303,4962
0	4,2	6,39	0,00	0	1	59,58036	0	59,58	3,86	9,65	0,78	46,47	6,39	24,6654	19,239012	36,66	446,8527
1	4,2	7,97	0,00	0,0909091	0,9958592	74,31228	6,7556618	74,00	3,89	9,725	0,78	57,72	7,97	31,0033	24,182574	36,66	557,3421
2	4,2	9,12	0,00	0,1818182	0,9833322	85,03488	15,460887	83,62	4	10	0,78	65,22	9,12	36,48	28,4544	36,66	637,7616
3	4,2	9,82	0,00	0,2727273	0,9620914	91,56168	24,971367	88,09	4,19	10,475	0,78	68,71	9,82	41,1458	32,093724	36,66	686,7126
4	4,2	10,04	0,00	0,3636364	0,931541	93,61296	34,041076	87,20	4,49	11,225	0,78	68,02	10,04	45,0796	35,162088	36,66	702,0972
5	4,2	9,79	0,00	0,4545455	0,8907235	91,28196	41,4918	81,31	0,93	2,325	0,78	63,42	9,79	9,1047	7,101666	36,66	684,6147
6	4,2	8,74	0,00	0,5454545	0,8381404	81,49176	44,450051	68,30	5,59	13,975	0,78	53,28	8,74	48,8566	38,108148	36,66	611,1882
7	4,2	7,15	0,00	0,6363636	0,7713892	66,6666	42,4242	51,43	6,63	16,575	0,78	40,11	7,15	47,4045	36,97551	36,66	499,9995
8	3,29	4,05	0,00	0,7272727	0,6863486	29,58039	21,513011	20,30	8,51	21,275	0,78	15,84	4,05	34,4655	26,88309	36,66	221,852925
somme							225,02764			124,95		642,88			283,61424		5 450,99

kss= 2,151805745

kss= 1,37

Stabilité du talus amont en cas de vidange rapide (R=41.11)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	T=Gn*Ssin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tang θ	N*tang θ	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tang θ	dn	a*Gn*dn
-4	2,44	2,04	0,00	-0,27	0,96	11,050272	-2,98357344	10,61	2,7	6,75	0,78	8,27	2,04	5,508	4,29624	34,66	552,5136
-3	4,11	4,62	0,00	-0,20	0,98	42,153804	-8,4307608	41,31	4,11	10,275	0,78	32,22	4,62	18,9882	14,810796	34,66	2107,6902
-2	4,11	7,13	0,00	-0,13	0,99	65,055546	-8,45722098	64,40	4	10	0,78	50,24	7,13	28,52	22,2456	34,66	3252,7773
-1	4,11	9,7	0,00	-0,07	1,00	88,50474	-6,1953318	88,50	3,89	9,725	0,78	69,03	9,7	37,733	29,43174	34,66	4425,237
0	4,11	11,7	0,00	0,00	1,00	106,75314	0	106,75	3,86	9,65	0,78	83,27	11,7	45,162	35,22636	34,66	5337,657
1	4,11	21,89	0,00	0,07	1,00	199,728738	13,98101166	199,73	3,89	9,725	0,78	155,79	21,89	85,1521	66,418638	34,66	9986,4369
2	4,11	13,64	0,00	0,13	0,99	124,454088	16,17903144	123,21	4	10	0,78	96,10	13,64	54,56	42,5568	34,66	6222,7044
3	4,11	13,65	0,00	0,20	0,98	124,54533	24,909066	122,05	4,19	10,475	0,78	95,20	13,65	57,1935	44,61093	34,66	6227,2665
4	4,11	13,53	0,00	0,27	0,96	123,450426	33,33161502	118,51	4,49	11,225	0,78	92,44	13,53	60,7497	47,384766	34,66	6172,5213
5	4,11	13,45	0,00	0,33	0,94	122,72049	40,4977617	115,36	0,93	2,325	0,78	89,98	13,45	12,5085	9,75663	34,66	6136,0245
6	4,11	11,62	0,00	0,40	0,92	106,023204	42,4092816	97,54	5,59	13,975	0,78	76,08	11,62	64,9558	50,665524	34,66	5301,1602
7	4,11	10,16	0,00	0,47	0,88	92,701872	43,56987984	81,58	6,63	16,575	0,78	63,63	10,16	67,3608	52,541424	34,66	4635,0936
8	4,11	6,32	0,00	0,53	0,85	11,050272	5,85664416	9,39	8,51	21,275	0,78	7,33	6,32	53,7832	41,950896	34,66	552,5136
9	1,07	1,57	0,00	0,60	0,80	3,729378	2,2376268	2,98	5,21	13,025	0,78	2,33	1,57	8,1797	6,380166	34,66	186,4689
somme							196,9050312			155		642,88			468,27651		60 357,08

kss= 1,673921118

kss= 1,271139909

Stabilité du talus amont en cas de vidange rapide (R=51.22)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	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	2,15	2,77	0,00	-0,27	0,96	13,22121	-3,5697267	12,69	2,7	6,75	0,78	9,90	2,77	7,479	5,83362	40,24	33,053025
-3	5,12	6,45	0,00	-0,20	0,98	73,31328	-14,662656	71,85	4,11	10,275	0,78	56,04	6,45	26,5095	20,67741	40,24	183,2832
-2	5,12	10,21	0,00	-0,13	0,99	116,050944	-15,08662272	114,89	4	10	0,78	89,61	7,13	28,52	22,2456	40,24	290,12736
-1	5,12	12,13	0,00	-0,07	1,00	137,874432	-9,65121024	137,87	3,89	9,725	0,78	107,54	12,13	47,1857	36,804846	40,24	344,68608
0	5,12	14,29	0,00	0,00	1,00	162,425856	0	162,43	3,86	9,65	0,78	126,69	14,29	55,1594	43,024332	40,24	406,06464
1	5,12	16,02	0,00	0,07	1,00	182,089728	12,74628096	182,09	3,89	9,725	0,78	142,03	16,02	62,3178	48,607884	40,24	455,22432
2	5,12	16,05	0,00	0,13	0,99	182,43072	23,7159936	180,61	4	10	0,78	140,87	16,05	64,2	50,076	40,24	456,0768
3	5,12	17,28	0,00	0,20	0,98	196,411392	39,2822784	192,48	4,19	10,475	0,78	150,14	17,28	72,4032	56,474496	40,24	491,02848
4	5,12	17,32	0,00	0,27	0,96	196,866048	53,15383296	188,99	4,49	11,225	0,78	147,41	17,32	77,7668	60,658104	40,24	492,16512
5	5,12	16,5	0,00	0,33	0,94	187,5456	61,890048	176,29	0,93	2,325	0,78	137,51	16,5	15,345	11,9691	40,24	468,864
6	5,12	15,65	0,00	0,40	0,92	177,88416	71,153664	163,65	5,59	13,975	0,78	127,65	15,65	87,4835	68,23713	40,24	444,7104
7	5,12	12,41	0,00	0,47	0,88	141,057024	66,29680128	124,13	6,63	16,575	0,78	96,82	12,41	82,2783	64,177074	40,24	352,64256
8	5,12	8,62	0,00	0,53	0,85	97,978368	51,92853504	83,28	8,51	21,275	0,78	64,96	8,62	73,3562	57,217836	40,24	244,94592
9	0,97	1,62	0,00	0,60	0,80	3,488508	2,0931048	2,79	5,21	13,025	0,78	2,18	1,62	8,4402	6,583356	40,24	8,72127
somme							339,2903234			155		642,88			552,586788		13 345,62

kss= 1,608887617

kss= 1,33

Stabilité du talus amont en cas de vidange rapide (R=39.79)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	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	1,17	0,77	0,00	-0,27	0,96	1,999998	-0,53999946	1,92	2,7	6,75	0,78	1,50	0,77	2,079	1,62162	32,08	34,999965
-3	3,98	3,23	0,00	-0,20	0,98	28,538988	-5,7077976	27,97	4,11	10,275	0,78	21,82	3,23	13,2753	10,354734	32,08	499,43229
-2	3,98	6,04	0,00	-0,13	0,99	53,367024	-6,93771312	52,83	4	10	0,78	41,21	7,13	28,52	22,2456	32,08	933,92292
-1	3,98	8,27	0,00	-0,07	1,00	73,070412	-5,11492884	73,07	3,89	9,725	0,78	56,99	8,27	32,1703	25,092834	32,08	1278,73221
0	3,98	9,6	0,00	0,00	1,00	84,82176	0	84,82	3,86	9,65	0,78	66,16	9,6	37,056	28,90368	32,08	1484,3808
1	3,98	10,75	0,00	0,07	1,00	94,9827	6,648789	94,98	3,89	9,725	0,78	74,09	10,75	41,8175	32,61765	32,08	1662,19725
2	3,98	12,25	0,00	0,13	0,99	108,2361	14,070693	107,15	4	10	0,78	83,58	12,25	49	38,22	32,08	1894,13175
3	3,98	12,04	0,00	0,20	0,98	106,380624	21,2761248	104,25	4,19	10,475	0,78	81,32	12,04	50,4476	39,349128	32,08	1861,66092
4	3,98	11,9	0,00	0,27	0,96	105,14364	28,3887828	100,94	4,49	11,225	0,78	78,73	11,9	53,431	41,67618	32,08	1840,0137
5	3,98	11,99	0,00	0,33	0,94	105,938844	34,95981852	99,58	0,93	2,325	0,78	77,67	11,99	11,1507	8,697546	32,08	1853,92977
6	3,98	9,86	0,00	0,40	0,92	87,119016	34,8476064	80,15	5,59	13,975	0,78	62,52	9,86	55,1174	42,991572	32,08	1524,58278
7	3,98	8,39	0,00	0,47	0,88	74,130684	34,84142148	65,24	6,63	16,575	0,78	50,88	8,39	55,6257	43,388046	32,08	1297,28697
8	3,98	5,06	0,00	0,53	0,85	44,708136	23,69531208	38,00	8,51	21,275	0,78	29,64	5,06	43,0606	33,587268	32,08	782,39238
9	0,29	0,38	0,00	0,60	0,80	0,244644	0,1467864	0,20	5,21	13,025	0,78	0,15	0,38	1,9798	1,544244	32,08	4,28127
somme							180,5748955			155		642,88			370,290102		16 951,94

kss= 2,367936567

kss= 1,15

Stabilité du talus amont en cas de vidange rapide (R=46.14)

N°Tr	bi	h1	h2	Sin α	Cos α	Gn=bi*h1*2,2	T=Gn*Ssin α	N=Gn*Cos α	dli	C*dli	tango	N*tango	Ui	Ui*dli	Ui*dli*tango	dn	a*Gn*dn
-5	1,62	1,36	0	-27	0,96	4,891104	-132,059808	4,70	4,21	7,36	0,78	3,66	1,36	5,7256	4,465968	35,26	36,68328
-4	3,52	5,21	0,00	-0,27	0,96	40,713024	-10,99251648	39,08	2,7	6,75	0,78	30,49	5,21	14,067	10,97226	35,26	305,34768
-3	3,52	8,95	0,00	-0,20	0,98	69,93888	-13,987776	68,54	4,11	10,275	0,78	53,46	8,95	36,7845	28,69191	35,26	524,5416
-2	3,52	11,45	0,00	-0,13	0,99	89,47488	-11,6317344	88,58	4	10	0,78	69,09	7,13	28,52	22,2456	35,26	671,0616
-1	3,52	13,84	0,00	-0,07	1,00	108,151296	-7,57059072	108,15	3,89	9,725	0,78	84,36	13,84	53,8376	41,993328	35,26	811,13472
0	3,52	15,83	0,00	0,00	1,00	123,701952	0	123,70	3,86	9,65	0,78	96,49	15,83	61,1038	47,660964	35,26	927,76464
1	3,52	16,98	0,00	0,07	1,00	132,688512	9,28819584	132,69	3,89	9,725	0,78	103,50	16,98	66,0522	51,520716	35,26	995,16384
2	3,52	18,5	0,00	0,13	0,99	144,5664	18,793632	143,12	4	10	0,78	111,63	18,5	74	57,72	35,26	1084,248
3	3,52	18,45	0,00	0,20	0,98	144,17568	28,835136	141,29	4,19	10,475	0,78	110,21	18,45	77,3055	60,29829	35,26	1081,3176
4	3,52	18,99	0,00	0,27	0,96	148,395456	40,06677312	142,46	4,49	11,225	0,78	111,12	18,99	85,2651	66,506778	35,26	1112,96592
5	3,52	17,89	0,00	0,33	0,94	139,799616	46,13387328	131,41	0,93	2,325	0,78	102,50	17,89	16,6377	12,977406	35,26	1048,49712
6	3,52	16,22	0,00	0,40	0,92	126,749568	50,6998272	116,61	5,59	13,975	0,78	90,96	16,22	90,6698	70,722444	35,26	950,62176
7	3,52	13,75	0,00	0,47	0,88	107,448	50,50056	94,55	6,63	16,575	0,78	73,75	13,75	91,1625	71,10675	35,26	805,86
8	3,52	11,15	0,00	0,53	0,85	87,13056	46,1791968	74,06	8,51	21,275	0,78	57,77	11,15	94,8865	74,01147	35,26	653,4792
9	1,66	3,04	0,00	0,60	0,80	11,203008	6,7218048	8,96	5,21	13,025	0,78	6,99	3,04	15,8384	12,353952	35,26	84,02256
somme							253,0363814			155		642,88			628,781868		11 056,03

kss= 2,560422325

kss= 1,42