

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

جامعة-البليدة-1
Université De Blida1



كلية التكنولوجيا
Faculté De Technologie
قسم الهندسة المدنية
Département de Génie Civil
مذكرة نهاية التخرج

MEMOIRE DE MASTER EN GENIE CIVIL

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE CIVIL

Option : GÉOTECHNIQUE

Thème :

Dimensionnement et étude de stabilité du barrage de Souk Tleta
Willaya de Tizi-Ouzou

Soutenu par :

BELAID Tinhinnane
BEN DJABOU Radhia

Promoteur :
Pr. GRINE Khaled.

Blida, Décembre 2021

Remerciement :

Nous remercions en premier lieu Allah le tous puissant de nous avoir illumine et ouvert les portes de savoir, et de nous avoir donne la volonté et le courage d'élaborer ce travail.

Nous tenons à remercier profondément et sincèrement tous ceux qui ont participes de près ou de loin a la réalisation de ce travail et particulièrement a nos profonds remerciements s'adressent en premier lieu a notre encadreur

Pr GRINE Khaled

pour avoir accepte de diriger ce travail, pour son aide, ses encouragements, ses précieux conseils, sa confiance, sa patience, ... tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous saisissons également cette opportunité pour remercier les membres de jury

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont participe à la réalisation de ce modeste travail de près ou de loin.

Merci a tous les Patients.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma chère petite famille : mes parents, mes sœurs

A tous mes amis en particulier : Yasmine, Amel,

Roufaïda, Nassima, Ikrame, Nadjib et Sid ali...

A tous ceux qui m'ont soutenu de loin ou de près.

Tinhinnane

Dédicace

Je dédie ce travail :

*Avant tout à mes chers parents qui m'ont
soutenu durant toutes ces années de
formation.*

*A tous mes amis en particulier : Yasmine, Amel,
Roufaïda, Nadjib et Sid ali...*

A ma sœur : Ikrame

*A ma famille (bendjabou) Et toute personne
contribuée de près ou de loin à ma formation*

Radhia

ملخص

من خلال هذا العمل قمنا بدراسة وتصميم وتحليل استقرار سد سوق تليطة الواقع بولاية تيزي وزو، مما سيسمح بتنظيم 98Hm³ من المياه المخصصة لشبّاح المنطقة بالمياه الصالحة للشرب والمياه الصناعية بكل من الجزائر العاصمة، تيزي وزو وبومرداس: يندرج هذا السد ضمن فئة السدود الكبيرة.

محتوى تقريرنا يتضمن أبعاد ودراسة استقرار السد مع الأخذ في الاعتبار التحليل الساكن والكاذب الساكن في حالت النقل المختلفة هذه (نهاية البناء، والاحتفاظ العادي، والتفريغ السريع).

الأداة العددية المستخدمة في هذه الدراسة هي R22018GeoStudio، الذي يعتمد على مقارنة التوازن الحدي وطريقة بيشوب وطريقة Morgenstern-Price لحالت التصريف السريع. النتائج التي تم الحصول عليها لمعامل الأمان لكل حالة معالجة تعتبر نتائج مقبولة.

Résumé

On a réalisé dans ce travail une étude, conception et l'analyse de la stabilité du barrage de Souk Tlet situé dans la Wilaya de Tizi Ouzou pour permettre la régularisation de 98 Hm³ d'eau destinée à satisfaire en eau potable et industrielle les régions d'Alger, Tizi Ouzou et Boumerdes. Ce barrage rentre dans la catégorie des grands barrages.

Notre rapport porte sur le dimensionnement et l'étude de la stabilité du barrage en tenant compte de l'analyse Statique et Pseudo-Statique dans ces différents cas de charges (fin de construction, retenue normal et vidange rapide).

L'outil numérique utilisé dans cette étude est *GeoStudio 2018 R2*, basé sur l'approche d'équilibre limite, méthode de Bishop et méthode de Morgenstern-Price cas de vidange rapide. Les résultats obtenus du coefficient de sécurité pour chaque cas traité sont acceptables.

Abstract

We carried out, in this work, a study, design and analysis of the stability of the Souk Tlet dam located in the Wilaya of Tizi Ouzou, will enable effective management of 98 Hm³ of water intended to meet the need of the regions of Algiers, Tizi Ouzou and Boumerdes with the drinking and industrial water. This dam is classified as one of the large dams.

Our report covers the sizing and study of the stability of the dam taking into account the Static and Pseudo-Static analysis in these different load cases (end of construction, normal retention and rapid emptying).

The numerical tool used in this study is *GeoStudio 2018 R2*, based on the limit equilibrium approach, Bishop's method and Morgenstern-Price method for fast draining cases. The results obtained for the safety factor for each treated case are acceptable.

Liste des symbols

K [m/s]	Perméabilité
Cu	Coefficient d'uniformité
F_s	Coefficient de sécurité
C' [KPa]	Cohésion effective
φ' [°]	Angle de frottement effectif
C_u [KPa]	Cohésion non drainé
D [m]	La distance de drainage
δ_h	Coefficient sismique
WL (%)	Limite de liquidité
IP (%)	Indice de plasticité
W (%)	Teneur en eau
γ_{dmax} [Kn/m ³]	Poids volumique sec maximal
W_{optm} (%)	Teneur en eau optimal
W_{moy} (%)	Teneur en eau moyenne
h_{vag} [m]	Hauteur de la vague
v_v [Km/h]	Vitesse du vent
F [km]	Fetch
R [m]	La revanche
g [m/s ²]	Accélération de la pesanteur
L [m]	Largeur en crête
H [m]	Hauteur du remblai
M_{min}	Masse minimale de l'encrochement
ρ_r [Kg/m ³]	Masse volumique moyenne du calcaire de la carrière
S_r [ρ_r/ρ_w]	La densité relative du roc
K	Coefficient de stabilité
M [k g]	Masse du bloc
C_f	Coefficient de forme
L_{base} [m]	Largeur de la base du noyau
ΔH [m]	Charge hydraulique dans le noyau
I_{adm}	Gradient admissible
V_B [m ³]	Volume totales de la digue
R_u	Coefficient de pression interstitiel

Liste des figures

Figure VI- 1: Géométrie d'un modèle	80
Figure VI- 2: Fin de construction talus amont($F_s=1.527$).....	81
Figure VI- 3: Fin de construction talus aval($F_s=1.505$).....	81
Figure VI- 4: Fin de construction talus amont($F_s=1.306$).....	82
Figure VI- 5: Fin de construction talus aval($F_s=1.276$).....	82
Figure VI- 6: Maillage de calcul 1504 nœuds, 2798 éléments	83
Figure VI- 7: Distribution des pressions interstitielles et ligne de saturation en régime permanent	83
Figure VI- 8: Etat stationnaire talus amont($F_s=1.446$).....	84
Figure VI- 9: Etat stationnaire talus aval($F_s=1.520$).....	84
Figure VI- 10: Pseudo-statique talus amont($F_s=1.063$)	85
Figure VI- 11: Pseudo-statique talus aval($F_s=1.295$).....	85
Figure VI- 12: Fonction de condition limite de lavage rapide	86
Figure VI- 13: Taux de rabattement après 30 jours.....	86
Figure VI- 14: facteur de sécurité le plus critique de talus amont après lavage rapide.....	87
Figure II- 1: Vue générale sur le site du barrage	29
Figure II- 2: Carte géologique du réservoir	31
Figure II- 3: Carte géologique et structurale du site du barrage principal.....	32
Figure II- 4: Carte de zonage sismique de l'Algérie	33
Figure III- 1: Bassin versant Oued Bougdoura.....	40
Figure III- 2: Coordonnées LAMBERT	40
Figure III- 3: Classes d'altitudes	43
Figure III- 4: Courbe hypsométrique.....	44
Figure III- 5: Répartition mensuelle de la température	48
Figure III- 6: Répartition mensuelle de l'évaporation.....	49
Figure III- 7: Répartition mensuelle de l'humidité.....	50
Figure III- 8: Répartition mensuelle de vents	50
Tableau IV- 1: Les principaux résultats des essais physiques.....	55
Tableau IV- 2: Les résultats moyens des essais Proctor.	56
Tableau IV- 3: Résultats des essais de compression à l'odomètre.....	57
Tableau IV- 4: les principaux résultats des essais physiques	58
Tableau IV- 5: résultats des essais de compression à l'odomètre	59
Tableau IV- 6: résultats des essais de compactage Proctor.....	59
Tableau IV- 7: les principaux résultats des essais physiques	60
Tableau IV- 8: résultats des essais de dégradabilité.....	60
Tableau IV- 9: résultats des essais de fragmabilité	60
Figure IV- 1: Les zones d'emprunts des matériaux pour la réalisation du barrage.....	55

Figure V- 1: vus en plans d'aménagement.....	70
Figure V- 2: Coupe du profil de la digue.....	75
Figure VI- 1: Géométrie du modèle	80
Figure VI- 2: Fin de construction talus amont($F_s=1.527$).....	81
Figure VI- 3: Fin de construction talus aval($F_s=1.505$).....	81
Figure VI- 4: Fin de construction talus amont($F_s=1.306$).....	82
Figure VI- 5: Fin de construction talus aval($F_s=1.276$).....	82
Figure VI- 6: Maillage de calcul 1504 nœuds, 2798 éléments	83
Figure VI- 7: Distribution des pressions interstitielles et ligne de saturation en régime permanent	83
Figure VI- 8: Etat stationnaire talus amont($F_s=1.446$).....	84
Figure VI- 9: Etat stationnaire talus aval($F_s=1.520$).....	84
Figure VI- 10: Pseudo-statique talus amont($F_s=1.063$)	85
Figure VI- 11: Pseudo-statique talus aval($F_s=1.295$).....	85
Figure VI- 12: Fonction de condition limite de la vidange rapide	86
Figure VI- 13: Taux de rabattement après 30 jours.....	86
Figure VI- 14: facteur de sécurité le plus critique de talus amont après la vidange rapide.....	87

Liste des tableaux

Tableau VI- 1: Facteurs de sécurité etfacteurs partiels	78
Tableau VI- 2: Paramètres géotechniquesdesmatériaux.....	80
Tableau II-1:Coefficientd'accélération.	33
Tableau II- 2: Les valeurs moyennes desparamètresgéomécaniques	34
Tableau II- 3: Résultats desessaisphysiques.....	35
Tableau II- 4: Résultats desessaisphysiques.....	36
Tableau II- 5: Résultats des essais decompactageProctor.	36
Tableau III- 1: Répartition altimétrique des superficies dubassinversant.....	43
Tableau III- 2: Classes de relief avecleursdescriptions	45
Tableau III- 3: Classification O.R.S.T.O.M (typederelief)	46
Tableau III- 4: Répartition mensuelle delatempérature.....	48
Tableau III- 5: Répartition mensuelle del'évaporation.....	49
Tableau III- 6: Répartition mensuelle del'humidité	49
Tableau III- 7: Répartition mensuelle de la vitesseduvent	50
Tableau IV- 10: résultats d'essais de Los Angeles etMicroDeval	61
Tableau IV- 11: Résultats moyennes des essais decompressionsimple	61
Tableau IV- 12: résultats des essaisdeclassification.....	63
Tableau IV- 13: résultats des essais decompactageProctor.....	63
Tableau IV- 14: Résultats d'essais effectués surlescalcaires	64
Tableau IV- 15: Volumes de matériaux estimésparBET.....	64
Tableau V- 1: La largeurenchrête.....	68
Tableau V- 2:Epaisseur de la protection en fonction de la hauteurdesvagues	71
Tableau V- 3: Pentesdu noyau.....	73
Tableau V- 4: Le volume des matériaux constituantsla digue.....	75
Tableau VI- 1: Facteurs de sécurité etfacteurs partiels.....	78
Tableau VI- 2: Paramètres géotechniquesdesmatériaux.....	80

Sommaire

<i>Remerciement</i>	<i>I</i>
<i>Dédicace</i>	<i>II</i>
<i>Dédicace</i>	<i>III</i>
<i>ملخص</i> <i>IV</i>	
<i>Résumé</i>	<i>IV</i>
<i>Abstract</i>	<i>IV</i>
<i>Listedessymboles</i>	<i>V</i>
<i>Liste desfigures</i>	<i>VI</i>
<i>Listedestableaux</i>	<i>VIII</i>
<i>IntroductionGénérale</i>	<i>II</i>

Chapitre I: Généralité sur les barrages

I. Introduction	14
II. Les différents typesdebarrage	14
LesBarragesrigides	14
LesBarragessouple	17
III. Classificationdesbarrages	22
IV. Les éléments d'un barrageen terre	22
V. Les pentesdestalus	22
VI. Capacité d'un barrage	24
VII. Choix du site et du type de barrageenterre	25
VIII. Conclusion	26

Chapitre II: Situation du projet, topographie, géologie et géotechnique

I. Introduction	28
II. SituationGéographique	28
III. Topographie	28
IV. Géologie	29
Géologierégionale	29
Géologie du réservoir du barrage de Souk Tleta(la cuvette)	30
V. Tectonique	30
VI. Lasismicité	31
VII. Fondation du barrage (lescouchesd'assise)	33
VIII. Conclusion	36

Chapitre III: Etude hydrologique

I. Introduction	38
II. Bassinversant	38
Caractéristiques générales dubassinversant	38
Caractéristiquesphysiques	38
Paramètre du relief	42
Tempsde concentration	46
Vitesse moyennederuissellement	47
Caractéristiqueclimatique	47

Climat.....	47
Température	47
Evaporation	48
Humidité.....	49
Vents	49
Calcul du volume mort delaretenue	50
III.CONCLUSION	50

Chapitre IV : Matériaux de construction

I. Introduction	53
II. Leszonesd'emprunt	53
III. Etude Géotechnique de matériauxde 'contractions'	55
Colluvionsargileuses	55
Alluvions graveleuses del'OuedBougoura	58
LesGrès.....	59
PoudinguesPliocènes	60
Enrochements decarrièreKeddara.....	63
IV. Estimationdesvolumes.....	64
V. Conclusion.....	65

Chapitre V: Conception de la digue

I. Introduction.....	67
II. Cote de la crêtedubarrage	67
III. Conception de la digue.....	68
IV. Dispositif des drainsetfiltres	73
V. Volume de la digue	74
VI. Conclusion	75

Chapitre VI: Vérification de la stabilité de la dige de barrage

I. Introduction	77
II. Programme decalcul	77
III. Critèresdevérification	77
IV. Cas de charges et Procéduredecalcul.....	78
V. Géométrie	79
VI. Paramètresgéotechniques	80
VII. Résultat et interprétation des résultats de la modélisation deladigue	81
Fin dela construction.....	81
Etatstationnaire(NNR).....	82
Vidangerapide.....	85
VIII. Conclusion.....	88
<i>ConclusionGénérale</i>	89
<i>Reference</i>	
<i>Annexes</i>	

Introduction générale

Les barrages, sont considérés comme l'un des moyens les plus anciens que l'homme a utilisés pour apprivoiser la puissance des rivières et des cours d'eau naturels, afin de conjurer et d'éviter des dangers récurrents tels que les inondations, dans le but d'organiser et de gérer les ressources en eau disponibles, pour pourvoir à ses besoins en eau potable et agricole.

Selon le type de matériau constituant, les barrages sont divisés principalement en deux types, les Barrages rigides (en béton) et les Barrages souples (en remblai, (terre et enrochement). La conception d'un barrage est très complexe, car peu répétitive, c'est en fonction des conditions du site, des fondations, des matériaux disponibles et du coût de réalisation, que le type de barrage est adopté.

Les barrages en terre sont considérés comme les plus utilisés en raison de leur coût et de leur capacité à résister à des grandes déformations. Les barrages en terre peuvent être construits à partir de matériaux aux propriétés très diverses, tandis que les matériaux constitutifs des barrages en béton ont des contenus dans une fourchette plus étroite.

La sécurité des barrages en terre constitue le souci permanent des ingénieurs, car ils rencontrent souvent des problèmes de stabilité des pentes dans leurs conceptions. Ces dernières peuvent mener en cas de rupture, à des catastrophes naturelles considérables ainsi qu'à des pertes en vies humaines. La défaillance ou l'indisponibilité d'un barrage, peut aussi affecter des intérêts économiques vitaux et entraîner des dommages sérieux même en l'absence de rupture..

L'objectif de notre travail est le dimensionnement de la digue du barrage de souk Tlata. La vérification de la stabilité des talus du barrage à la fin de construction, fonctionnement normal et lors de vidange rapide a été réalisé utilisant un outil numérique, le logiciel GeoStudio 2018 R2.

Pour ce faire, le présent mémoire, suivra le plan suivant.

Le premier chapitre fait le point sur des généralités sur les barrages (les types, classification, les éléments d'un barrage en terre, les pentes et talus, capacité d'un barrage, choix du site et du type de barrage en terre).

Le deuxième chapitre donne une présentation générale du site d'étude et définit, la topographie, la géologie et les caractéristiques géotechniques des sols de fondation.

Le troisième chapitre présente une étude hydrologique de barrages.

Le quatrième chapitre vise à interpréter les résultats obtenus de la campagne de reconnaissance géotechnique dans le but de définir les matériaux disponibles sur site et de déterminer leurs caractéristiques.

Le cinquième chapitre est consacré à la conception et le dimensionnement de la digue.

Le sixième chapitre est consacré à l'étude de la stabilité de la digue du barrage en terre.

CHAPITRE I :
Généralité sur les barrages

I. Introduction

Les barrages sont des ouvrages hydrauliques construits et définis comme une barrière à travers un ruisseau, une rivière ou une voie navigable pour confiner puis contrôler le débit d'eau. La taille des barrages varie de petits remblais de terre, souvent à usage agricole, à de hautes structures massives en béton, généralement la hauteur d'un barrage dépasse le niveau d'eau atteint par les cours d'eau en période de forte crue. Les barrages sont constitués de plusieurs sous ouvrages tel que l'évacuateur de crues, La prise d'eau, vidange de fond et le réseau de drainage.

Les barrages ont principalement deux rôles à jouer, celui de stocker les apports d'eau afin de répondre aux besoins vitaux et économiques des populations (L'approvisionnement en eau, l'hydroélectricité et l'irrigation, développement touristique et de loisirs) et celui de la protection contre les effets destructeurs de l'eau (Protection contre les crues et les avalanches, rétention des sédiments charriés).

II. Les différents types de barrage

Selon le type de matériau constituant les barrages, ces derniers sont classés en deux grandes catégories, les barrages rigides (en béton) et les barrages souples (en remblais).

II.1 les Barrages rigides :

Généralement Construits en béton armé ou en pierre (maçonnerie) ont des formes qui tiennent compte de la qualité du sol de fondation et de la forme de la vallée.

Les barrages rigides sont devisés principalement on trois types. Ces derniers, se distinguent par leur forme, la nature de leur système statique et la façon avec laquelle ils s'opposent à la poussée de l'eau :

a) Barrage-poids :

La majorité des barrages poids sont massif et pleins avec un profil triangulaire (fig I.1). Le parement amont est vertical ou légèrement incliné (moins de 5%). Le parement aval est incliné avec un fruit de 75 à 80%. Cette géométrie lui permet de résister par son propre poids au renversement et au glissement sous l'action des forces extérieures. Par la simplicité de ses formes, il a été le type le plus fréquemment utilisé.

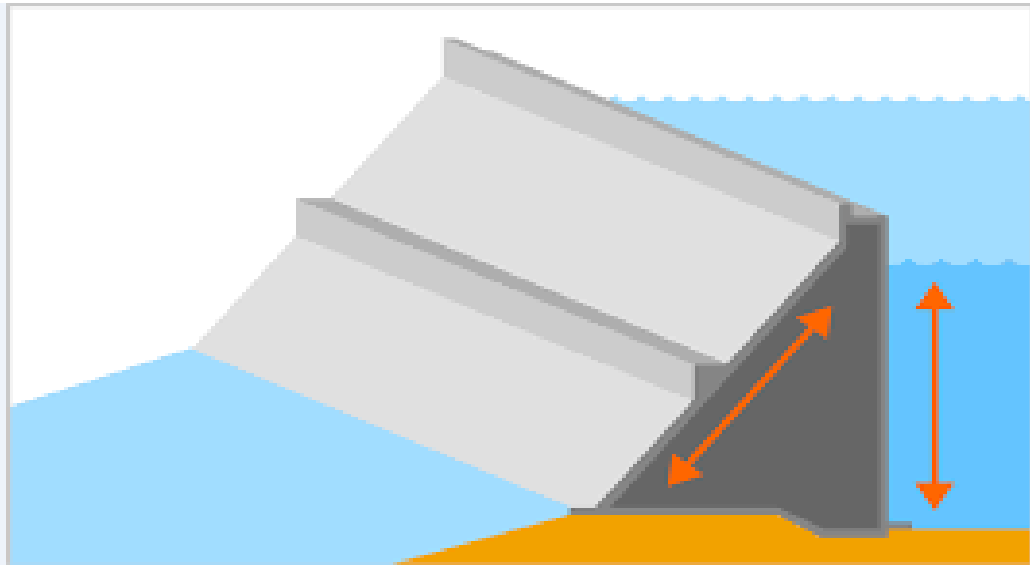


Figure I.1: Schéma d'un barrage poids en béton.

b) Les barrages contreforts :

Ce type de structure a une forme triangulaire avec des faces inclinées (amont et aval). Ils conduisent les efforts jusqu'aux fondations, qui doivent être de qualité permettant des sollicitations en général élevées. Afin de réduire les contraintes au sol, la base des contreforts peut être élargie. Comme dans le cas des barrages-poids, les contreforts sont construits côte à côte et sont séparés par un joint vertical. En raison des espaces vides qu'il comporte, le volume de béton est bien entendu plus faible que celui d'un barrage-poids équivalent. Par contre, la surface de coffrage est plus importante et la mise en place du coffrage plus ardue.

Les contreforts en béton de forme triangulaire (figI.2) supportent en principe des voûtes de faible portée ou des dalles planes qui transmettent la poussée de l'eau vers le sol. Ces barrages nécessitent moins de béton (20 à 25 % de moins) que les barrages poids et n'exigent pas de vallée étroite comme les barrages voûtes. Il est néanmoins nécessaire que le rocher soit de bonne qualité. Dans de telles structures, le parement amont (dalles ou voûtes) doit être incliné de l'ordre de 0.3/1 (rapport de l'horizontale / la verticale) pour profiter de la composante verticale de la poussée de l'eau.



Figure I.2 : Barrage a contrefort.

c) Les barrages-voûtes :

Sont des structures tridimensionnelles agissant comme un voile ou une coque. Ils présentent une forte courbure en plan qui transmet une partie importante des efforts dûla poussé de l'eau sur les flancs de la vallée (fig I.3). Lorsque toutes les conditions nécessaires sont réunies, ilspermettent d'économiser un volume important de béton par rapport aux deux types précédents. Comme le barrage –poids, le barrage-voûte est construit en plots juxtaposés, mais une différence constructive essentielle les distingue. Alors que les joints séparant les plots du barrage-poids sont ouverts. Les joints d'un barrage voûte sont injectées avec du coulis de ciment pour rendre la voute monolithique et assurer la transmission des efforts horizontaux jusqu'aux rives. De par son système statique, le barrage-voute sollicite de manière importante la fondation sur les flancs de la vallée. Ces derniers doivent être résistants et peu déformables. Il nécessite des caractéristiques topographiques bien particulières, les vallées relativement étroites sont les plus favorables.



Figure I.3 : Barrage voûte.

Les différentes catégories de barrage en béton sont données dans la figure I.4 ci-dessous.

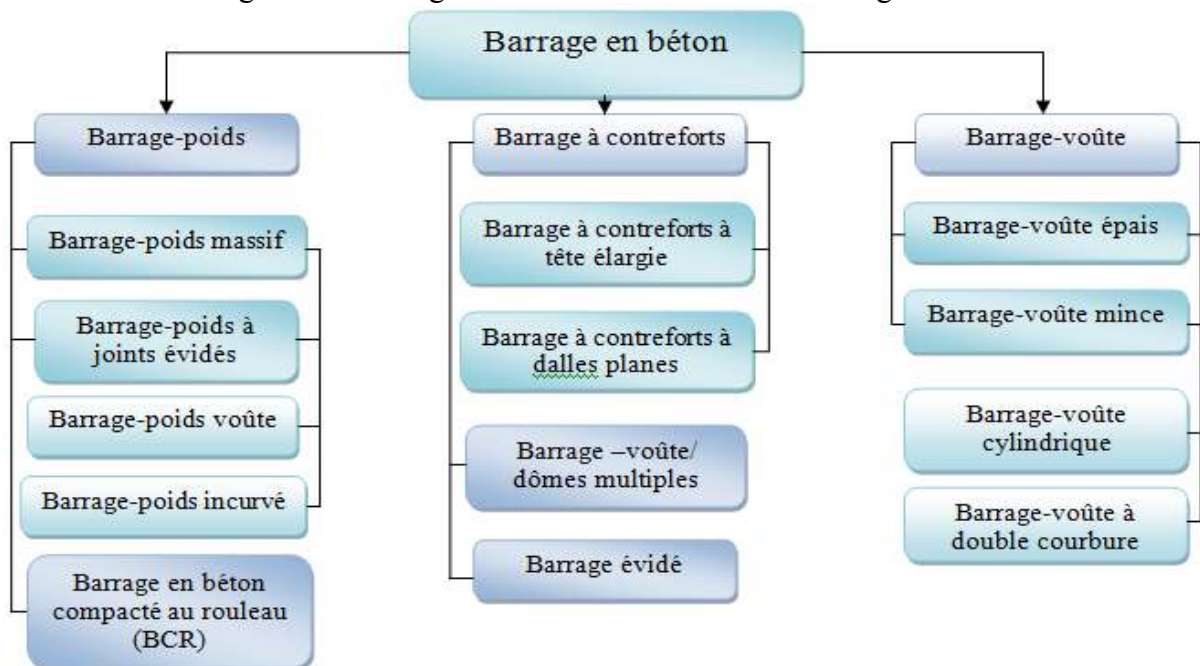


Figure I.4: Organigramme représente les différents types de barrages en béton.

II.2 Les Barrages souple :

Les digues, dans de telles structures sont constituées essentiellement de matériaux meubles prélevés à proximité immédiate de l'ouvrage. Ce type d'ouvrage se divise en deux catégories :

- ✚ Les barrages en enrochements, dont la majeure partie est constituée de matériau de carrière concassé.

- Les barrages en terre, réalisés essentiellement à partir de sols naturels meubles prélevés dans des gravières.

Comme pour les autres types de barrages, les barrages en remblai doivent répondre à deux fonctions essentielles : la fonction statique, qui consiste à transmettre à la fondation la poussée de l'eau retenue à l'amont et la fonction de coupure étanche. Dans cette catégorie on distingue principalement trois types (les différences proviennent des types de matériaux utilisés et de la méthode employée pour assurer l'étanchéité).

II.2.1 Les barrages en terre:

a) Barrage en terre homogènes :

Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominance argileuse suffisamment résistant et relativement imperméable ($k < 10^{-5}$ à 10^{-6} m/s). Il est muni d'un dispositif de drainage dans sa partie aval et d'une protection contre l'effet de batillage dans sa partie amont (Pour assurer sa stabilité).

Suite à la mise en eau, des écoulements à l'intérieur du barrage se font de l'amont vers l'aval selon des lignes sensiblement horizontales qui tendent à entraîner le talus aval. Il faut donc réduire les pentes de talus aval par un système de drainage qui permet d'abaisser efficacement la ligne de saturation et donc délimiter la partie saturée et faire chuter les lignes d'écoulements. Plusieurs dispositifs de drainage sont possibles (Figure I.5).

Pour accumuler les eaux de percolation et accélérer la dissipation des pressions interstitielles, des couches de filtres doivent être mises en place entre l'élément étanche et les zones de drainage, destiné à bloquer la migration des particules fines éventuellement entraînées par la circulation de l'eau dans le massif.

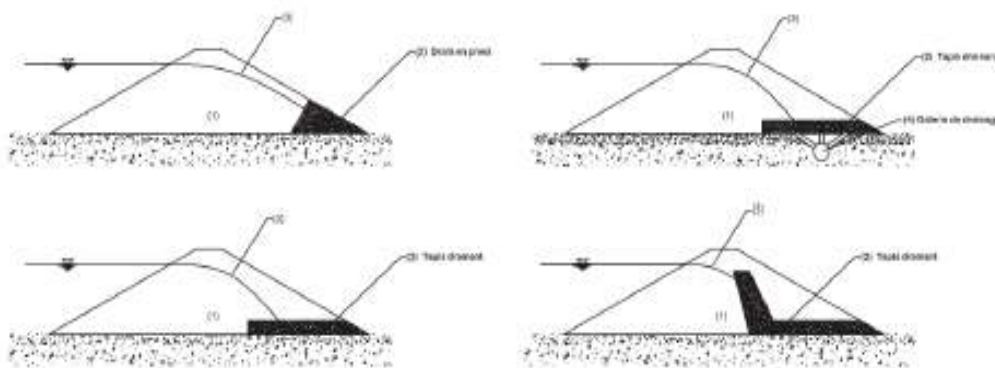


Figure I.5: Barrage en terre homogènes (les Systèmes de drainage possible (1) Corps du barrage ; (2) Drain (3) ligne de saturation)

b) Barrage en remblai avec masque amont :

Il est généralement formé par un massif perméable (terre, enrochement) peut déformable qui assure la

stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage. L'étanchéité de ce barrage est obtenue par une couche appelée masque, posée sur le parement amont du massif (fig I.6).

Le masque lui-même peut être réalisé :

- Par une dalle de béton armé coulée par plots successifs sur toute la surface du parement amont
- Par une ou des couches de béton bitumineux mises en place par des engins routiers adaptés.
- Par des géo membranes (typiquement des feuilles de PVC de forte épaisseur) livrées en lés et soudées les unes aux autres. Les feuilles sont posées sur une couche de transition en matériau fin (pour éviter de déchirer la membrane qui s'appuierait directement sur les enrochements) et protégées par des dalles ou des pavés.
- Plus rarement par une tôle métallique galvanisée.

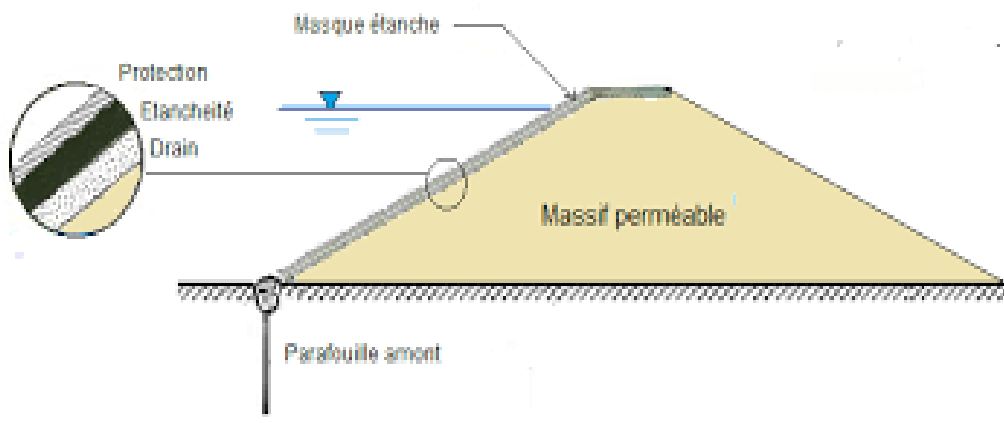


Figure I.6 : Barrage à masque amont

c) Barrages en remblai zonés :

Ce sont des barrages composés d'une zone centrale, appelée noyau, qui assure le rôle d'étanchéité. Placée au cœur du remblai, le noyau est plus souvent vertical mais il peut aussi être incliné, il est constitué de matériaux argileux imperméables, d'épaisseur variable généralement plus large à la base (à cause des pressions interstitielles plus fortes), figure I.7.

L'épaisseur du noyau dépend (Le Delliou 2003) :

- De la largeur minimale en crête pour le passage des engins ;
- De la disponibilité des terres imperméables ;
- Du gradient hydraulique en contact avec la fondation.

Le découpage du corps du barrage en matériaux différents est appelé zonage. Il permet de faire de grandes économies dans les volumes mis en œuvre et d'utiliser au mieux les matériaux disponibles sur

le site. En générale, les zones ont des perméabilités et des granulométries de plus en plus élevées à partir du noyau ce qui leur confère le rôle de filtres et les drains.

La fonction de stabilité est apportée par les recharges (des recharges à l'amont et à l'aval). Ces massifs plus perméables que le noyau sont réalisés en enrochements, ou en terre plus grossière. Pour se prémunir contre des phénomènes d'érosion interne, le noyau est entouré de couches filtrantes.

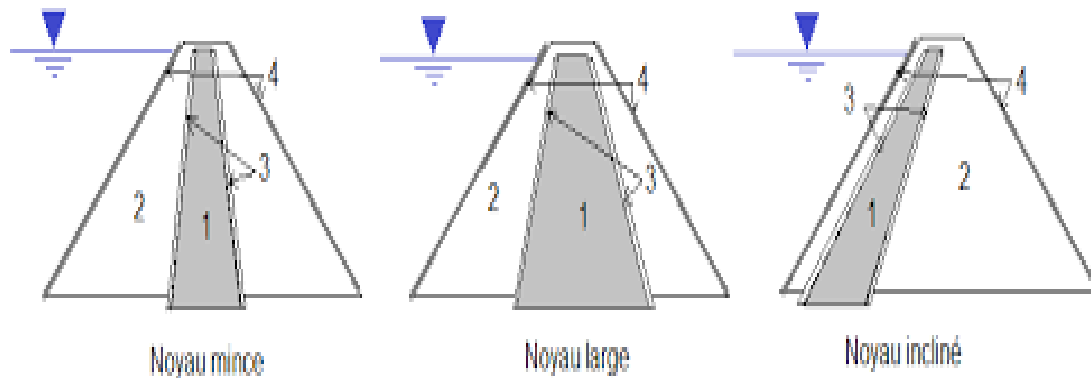


Figure I.7:Barrage en remblai zoné : (1) noyau étanche ; (2) corps d'appui ; (3) filtres ;(4) protection de surface.

d) Barrage à membrane centrale :

Les barrages avec membrane centrale sont utilisés lorsque le matériau nécessaire au noyau n'est pas disponible à proximité du site. Les principaux modes de mise en place de barrage membrane Sont (fig I.8) :

- ✓ Noyau bitumineux;
- ✓ Parois moulées ;
- ✓ Des palplanches.

La base de la membrane constitue l'élément le plus délicat. Une galerie de contrôle et d'injection est une option à prendre pour la surveillance de l'étanchéité, la mesure des eaux de

percolation et le cas échéant pour le traitement des fondations.

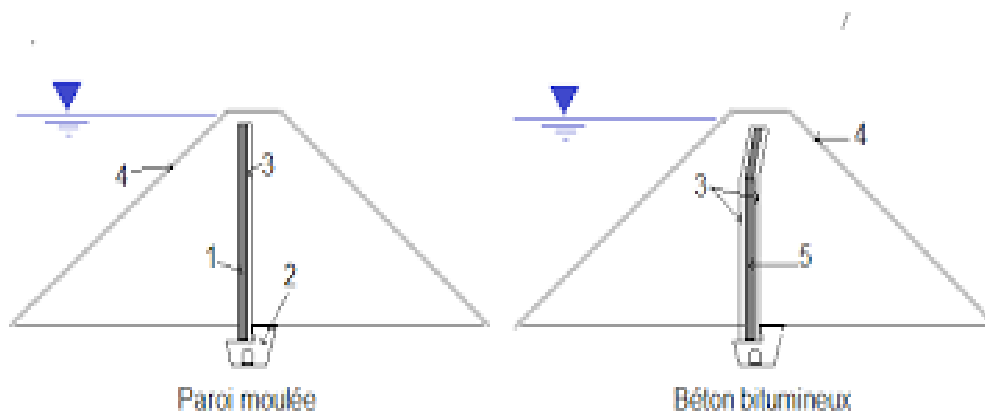


Figure I.8 : Barrage à membrane centrale.

II.2.2 Barrage en enrochement :

Un barrage en enrochement est un tas de cailloux à grande échelle (peuvent atteindre des dimensions voisines du mètre) (fig I.10), qui résiste par sa masse aux efforts auxquels il est soumis. Mais n'étant pas étanche par lui-même, il faut lui adjoindre un organe d'étanchéité (à masque amont, noyau argileux ou membrane) qui constitue la partie la plus délicate, aussi bien au stade du projet qu'à celui de la réalisation.



Figure I.10: Barrage en enrochement du Mont Cenis (Alpes).

Les différentes catégories de barrage en remblais sont données dans la figure I.11 ci-dessous.

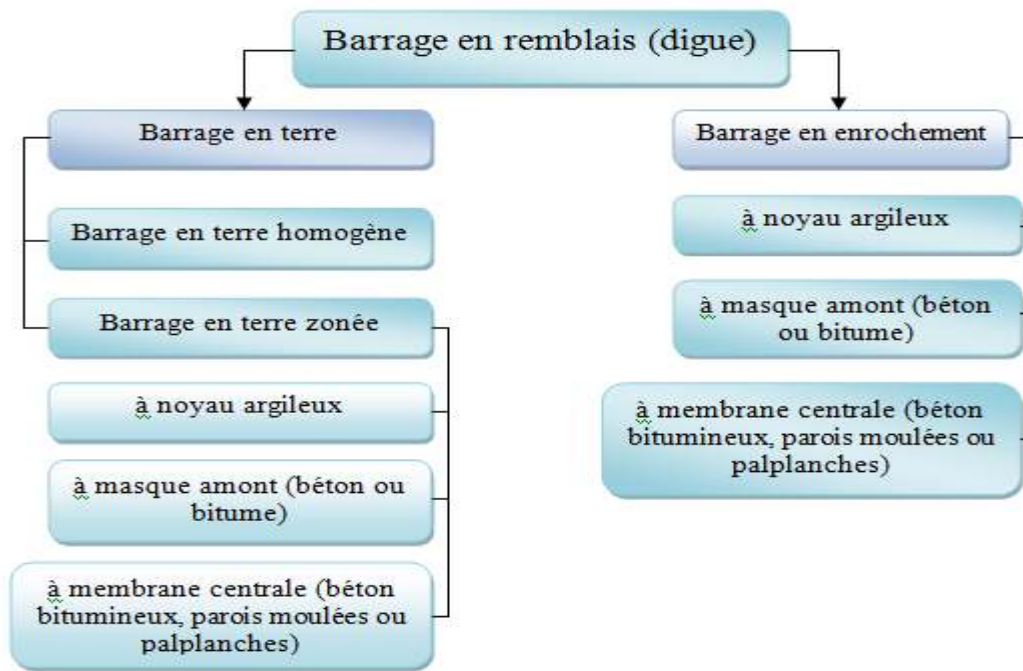


Figure I.11: Organigramme représente les différents types de barrages en remblais.

III. Classification des barrages:

Les barrages sont répartis en trois classes (A, B et C) en fonction de deux paramètres géométriques qui sont la hauteur H du barrage au-dessus du terrain naturel et le volume V d'eau dans le réservoir, ces derniers permettent notamment de calculer un paramètre :

$$K = H^2 \sqrt{V}$$

Les barrages de classes A sont les plus importants, comprennent tous les barrages de hauteur supérieure ou égale à 20 m avec $K \geq 1500$.

Les barrages de classe B, de hauteur supérieure ou égale à 10 m avec $K \geq 200$.

Les barrages de classe C ont une hauteur d'au moins 5 mètres et $K \geq 20$. Relèvent également de la même classe les barrages de hauteur supérieure à 2m, qui retiennent aussi plus de 0,05 millions de m^3 d'eau et pour lequel il existe au moins une habitation à moins de 400 m à l'aval du barrage.

Les autres barrages sont considérés comme non classés.

IV. les éléments d'un barrage en terre

a. La digue : comprend :

- **Le noyau** : c'est la partie principale d'un barrage zonée, ils disposent verticalement au centre du barrage ou en position inclinée à l'amont de celui-ci, son épaisseur est de

l'ordre 1/6 de la hauteur de l'ouvrage. en traite le sommet du barrage en chemin avec une chaussée enrobée bitumineuse.

- **Les recharges (amont et aval) :** sont les parties qui apportent la fonction de stabilité. Ces massifs plus perméables que le noyau sont réalisés en enrochement, ou en terre plus grossière. Les pentes amont et aval du barrage dépendent surtout des matériaux constituant les corps d'appuis.
- **Les drains :** sont réalisés en matériaux grossiers (graviers, sables) pour être le plus perméable possible, son rôle est d'assurer l'écoulement d'eau, contrôler les infiltrations et éliminer ses effets, diminuer la pression interstitielle dans le barrage ils peuvent être horizontaux, verticaux ou de pied.
- **Les filtres :** zones souvent peu épaisses dont la granulométrie, intermédiaire entre celle des parties voisines, s'oppose aux migrations de particules sous l'action des écoulements. Ils luttent contre l'érosion interne. (phénomène de renard).
- **Le rip-rap :** c'est une couche superficielle s'étend depuis la crête de la digue jusqu'à une profondeur au-dessous du niveau minimal d'exploitation, constitué par des blocs d'enrochements sur les côtés du remblai pour le protéger contre les vagues, sa mise en place doit éviter toute ségrégation, il doit contenir une forte proportion d'éléments supérieurs à la dimension minimale nécessaire pour résister à l'action des vagues.

b. La cuvette: est une retenue dont l'exploitation s'effectue à niveau variable en vue de stocker et déstocker de l'eau.

c. L'évacuateur de crue: c'est un organe hydraulique dans lequel est concentré le débit à évacuer à l'aval en cas de crue. On réduit ainsi l'étendue des zones à protéger vis-à-vis du pouvoir érosif de l'eau. Généralement il est constitué d'un système d'entonnement (prise d'eau). Il peut y avoir plusieurs évacuateurs de crue pour un même obstacle à l'écoulement.

d. La prise d'eau : c'est un ouvrage annexe de grande importance. C'est à partir d'elle que l'eau accumulée va pouvoir atteindre, par une conduite, une galerie ou un canal, le but qui lui est assigné. Dans les aménagements hydroélectriques, la prise d'eau se trouve près du fond de la retenue. Une prise d'eau a essentiellement pour rôle d'assurer une

alimentation régulière en eau, susceptible d'être réglée en fonction des conditions présentes.

V. Les pentes des talus:

L'inclinaison des talus est exprimée par les termes "pente" ou "fruit". La pente du talus qui est le rapport de la hauteur du talus sur sa projection horizontale est fixée par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations.

En ce qui concerne le massif, pour déterminer la pente des parements, on se donne en général des pentes qui paraissent optimales, compte tenu de la nature des matériaux, et on vérifie par une étude de stabilité que le barrage présente une sécurité suffisante avec ces pentes.

A titre indicatif, le tableau I.1, donne quelques valeurs qui devront être vérifiées par une étude de stabilité mécanique du massif. La pente maximale des talus recommandée est de 1V:3.30H.

Tableau I.1: Valeurs indicatives des pentes des talus [cour de barrage].

Matériaux du remblai (corps d'appui)	Type du barrage	Pente des talus	
		Amont	Aval
Enrochement	-Noyau centrale	1V:1.80H	1V:1.80H
	-Noyau incliné	1V:2.10H	1V:1.80H
	-Masque amont	1V:1.50H	1V:1.40H
Alluvions perméables	-Noyau centrale	1V:2.00H	1V:2.00H
	-Noyau incliné	1V:2.30H	1V:2.30H
Alluvions fines	-Noyau centrale	1V:3.00H	1V:2.50H
	-Noyau incliné	1V:3.30H	1V:2.50H
Digue homogène		1V:3.00H	1V:3.00H

VI. capacité d'un barrage:

La hauteur de retenue est calculée compte tenu de la capacité utile à stocker, de la tranche morte, et de la tranche correspondant aux pertes par évaporation et par infiltration.

Niveau normal de retenue (NNR):

Dénommée cote de retenue normale (RN), il s'agit de la cote « habituelle » ou « normale » de

remplissage du barrage, correspondant au niveau autour duquel le plan d'eau se situe une grande partie de l'année.

✚ Niveau des plus hautes eaux (NHE):

Cette hauteur représente le niveau maximal du plan d'eau lors d'une crue, elle correspond au niveau normal de retenue (RN) majorée de la charge (H) sur le déversoir de crue.

✚ Niveau de volume mort (NVM):

Cette hauteur représente le niveau de volume de terre déposé au fond de la retenue par les écoulements en surface de BV ou les sédiments charriés par l'ouaéd, Sur la digue ce volume est repéré par la tranche d'eau située entre le niveau du lit de la retenue (NLR) et le niveau mort (NVM). Généralement, c'est à ce niveau (NVM) qu'on place l'évacuateur de fond pour évacuer les dépôts de vase, il sert également pour la vidange de la retenue.

✚ Niveau forcé maximum (NFM) :

C'est le volume évacué à partir de l'évacuateur de crue, il constitue la quantité d'eau qui peut transiter à l'endroit de réalisation de la retenue lors de la production d'une crue, il est estimé à partir de données relatives à plusieurs années. La hauteur correspond à ce volume est le volume forcé (NVF) et la différence (NVF - NNR) représente la hauteur du déversoir.

VII. Choix du site et du type de barrage en terre

Les principaux paramètres à prendre en compte dans le choix du site et du type de barrages sont les suivants :

- ✚ L'hydrologie du bassin-versant (est une donnée essentielle pour établir la faisabilité du projet et estimer le volume du réservoir. Elle permet également de définir le volume et le débit maximal des crues rares)
- ✚ la morphologie de la vallée Le choix de la position du barrage se fait essentiellement en fonction des données Topographiques. On cherche le rétrécissement de la vallée qui permettra de minimiser le

volume de l'ouvrage. Souvent, on doit faire un compromis entre volume de la retenue (vallée large), l'altitude de la retenue et l'importance de l'ouvrage.

- ✚ les conditions géologiques et géotechniques: Le choix entre les sites possibles se fait sur les conditions géologiques qui permettent la stabilité et l'étanchéité de l'ouvrage (structurale est de première importance. Il convient d'obtenir une description aussi fiable que possible du réseau de failles affectant le site).

- ✚ La topographie : a pour objet la description et la représentation locale des formes de la surface de la Terre)
- ✚ Matériaux : La disponibilité sur le site, ou à proximité, de matériaux utilisables pour la construction d'un barrage a une incidence considérable sur le choix du type de barrage. Si l'on dispose de sols fins de qualité satisfaisante et en quantité suffisante (1,5 à 2 fois le volume du remblai), la solution barrage en terre homogène ou pseudo-zoné s'impose comme la plus économique. Si l'on dispose de matériaux fins en quantité limitée et de suffisamment de matériaux grossiers exploitables, on peut envisager la construction d'un barrage en terre zoné avec noyau ou massif amont assurant étanchéité et recharges stabilisatrices grossières. Si l'on ne dispose pas de matériaux fins susceptibles d'assurer l'étanchéité du barrage, ou bien si l'exploitation d'une zone d'emprunt très hétérogène constituée de matériaux fins à grossiers est trop complexe, on peut recourir à une étanchéité artificielle (deux techniques sont plus spécialement adaptées aux petits et moyens barrages : la géo membrane et la paroi moulé).

VIII. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les différents types de barrage, éléments principaux et les paramètres d'étude qui décident du choix de site et du type de barrage à réaliser.

Les barrages en terre sont caractérisés par un coût de construction relativement faible par rapport aux autres types, et sa construction ne nécessite pas de travaux immenses (fondations d'infrastructure) comme c'est le cas dans les barrages en béton.

La disponibilité et la nature de matériaux jouent un rôle très important pour la réalisation et le coût de réalisation et le choix du type de barrage en terre.

En effet, la partie la plus délicate des barrages en terre et en enrochement réside dans leur étanchéité et leur stabilité interne, donc le choix de système d'étanchéité est l'un des éléments les plus importants du processus de conception et de construction d'un barrage en remblai.

Dans le chapitre suivant, nous allons voir la présentation d'étude topographique, géologique et géotechnique de site du barrage de SOUK TELATHA.

CHAPITRE II :

***Situation du projet, topographie,
géologie et géotechnique***

I. 2 INTRODUCTION

Les projets de construction de barrage font souvent face aux conditions topographiques, Géologiques et géotechniques régionales et locales très difficiles. Au cours de ce chapitre, un aperçu sur les conditions topographiques, géologiques, sismiques et géotechniques caractérisant le site du barrage, sera donné et détaillé dans ce qui suit.

II. Situation Géographique :

Le site du barrage est situé sur l'Oued Bougdoura wilaya de tiziouzou, en aval du confluent de l'Acif Tlata et de la Tala Imedrane à 8 km au Sud de Draa Ben Khedda. (coordonnées X=610.4, Y=376.1, Z=64 NGA), figure II.1.

L'aménagement se compose d'un barrage principal en remblais de 1.5 Hm³ de 95m de haut, d'une digue de col, d'une tour de prise, d'un système de galeries d'injection et de drainage, d'un évacuateur de crue, de deux galeries de dérivation provisoires ainsi que des équipements hydromécaniques et d'auscultation nécessaires. Le barrage permettra la régularisation de 98 Hm³ d'eau destinée à satisfaire en eau potable et industrielle la région d'Alger de TiziOuzou et Boumerdes.



Figure II.1: Vue générale sur le site du barrage.

III. Topographie

L'objectif de l'étude topographique est de mesurer et représenter sur un plan ou une carte des formes et des détails d'un terrain, (relief, et hydrographie).

Elle permet aussi de déterminer la position, et l'altitude de n'importe quel

point dans une zone donnée.

Le site du barrage de SOUK TLATA sur l'oued de BOU-GDOURA se situe à l'extrémité occidentale de la grande Kabylie à 8,5 km de Tizi-Ouzou, à 80 km environ à vol d'oiseaux d'Alger dans la direction Est.

Le réservoir sera constitué de deux branches formées par les vallées de L'ACIF TLATA et du TALA IMEDRENE, qui confluent à l'amont du barrage avec un angle de 30° environ. La retenue est fermée par une gorge de quelque centaine de mètres de long, site choisi pour le barrage. Le fond de la rivière est situé approximativement au niveau 65m NGA et présente en son endroit le plus étroit une largeur d'environ 50m. Les flancs de la vallée montent jusqu'au niveau 150m NGA au moins, avec une pente dépassant par endroits 2 : (2 verticalement et 1 horizontalement).

La largeur de la vallée, à la cote du sommet du barrage, est de 156 m.

En rive gauche, la retenue se prolonge derrière le massif d'appui à l'aval du barrage. La chaîne qui ferme le verrou sur cette rive s'abaisse au-dessous du niveau de la retenue, nécessitant donc la construction d'une digue de col sur toute cette zone de rabaissement.

IV. Géologie:

Au stade de la conception, l'étude géologique du site du barrage est d'une grande importance. Son but est d'étudier la géologie de la région et de déterminer la nature et les propriétés mécaniques et hydrodynamiques des terrains:

- L'étanchéité des fondations,
- La perméabilité de la cuvette,
- L'existence des eaux souterraines très apparentées et des remontées de nappe au niveau de l'axe du barrage,
- La recherche des matériaux de construction.

IV.1 Géologie régionale:

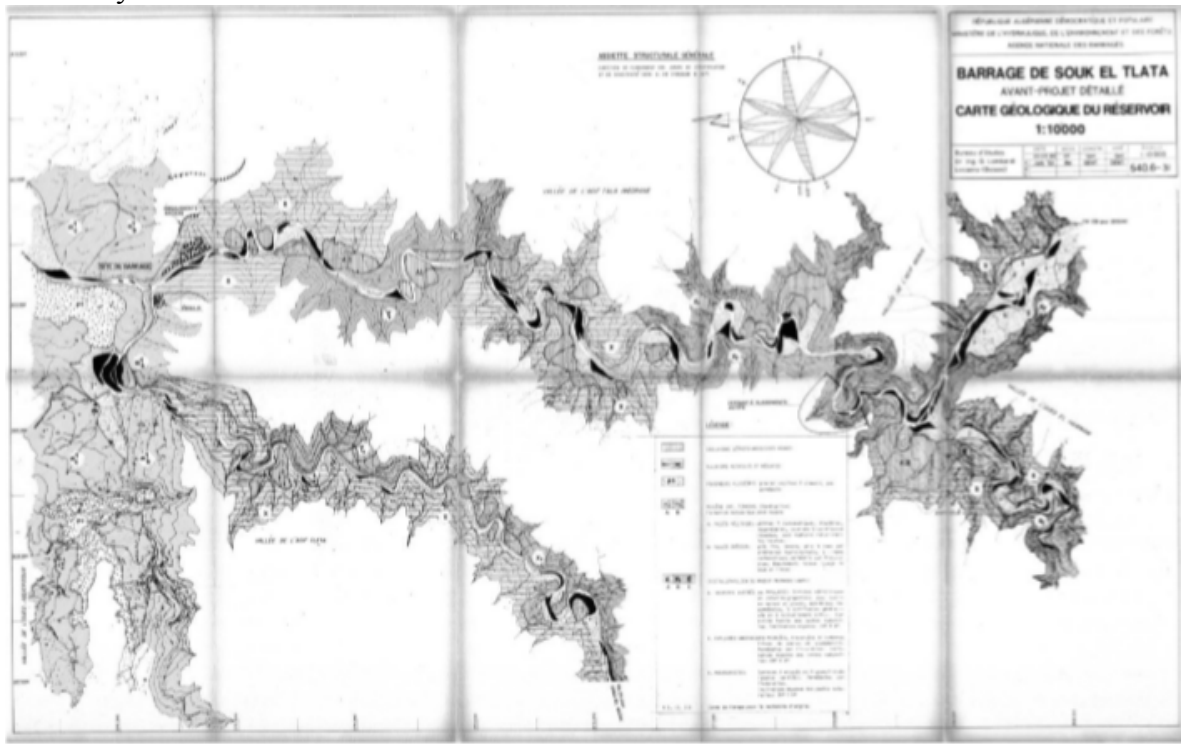
Le site de Souk Tlata se trouve sur le bord méridional du bassin sédimentaire du miocène inférieur terminal de Tizi-Ouzou. Ce bassin formé par une série épaisse de dépôts gréseux, pélitiques et marneux, appartient à l'ancien golf miocène de la basse Kabylie, qui est la terminaison orientale du grand bassin Sédimentaire de la Mitidja. (Locarno, octobre 1991):

IV.2 Géologie du réservoir du barrage de Souk Tleta (la cuvette):

La retenue créée par le barrage de Souk Tleta pourra inonder les deux vallées étroites de l'Acif Tala Imedrane et AcifTleta, qui s'écoulent en gros dans le sens Sud-Nord jusqu'à leur confluence à Souk Tleta, zone prévue pour le barrage ; la retenue s'étendra également dans la vallée de l'oued Agueroun, affluent de l'AcifTleta, qui s'écoule dans la direction Ouest-Est.

A partir de la confluence de ces deux cours d'eau la rivière prend le nom d'Oued Bougdoura. Les roches qui affleurent sur les flancs des vallées de l'AcifTleta et Tala Imedrane appartiennent à la série cristallophyllienne, ce qui signifie que les terrains inondés appartiennent à la série terminale du socle métamorphique Paléozoïque, figure:II.2

- Alluvion graveleuse;
- Grés Burdigaliens;
- Phyllades.

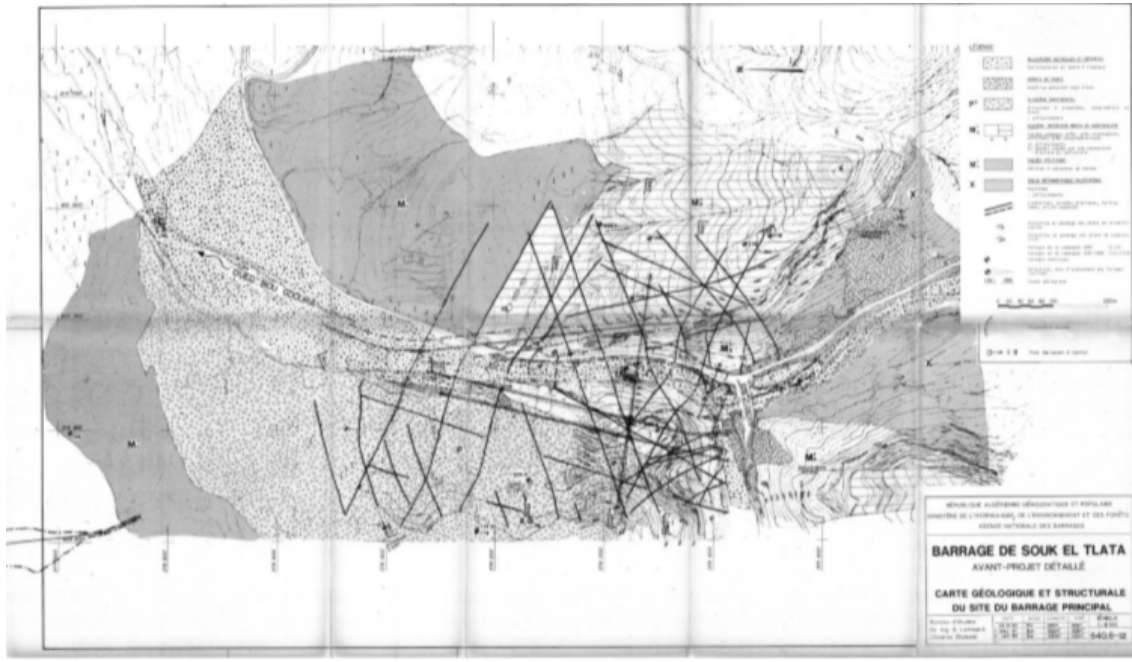


FigureII.2: Carte géologique du réservoir

V. Tectonique

Les sédiments Burdigalien forment une structure mono climatique plongeant vers le nord avec un pendage (15 ; 20)%. Il s'agit d'une structure tectonique en forme « Hors » et « Graben » due aux mouvements épirogéniques de la néotectonique dispensiez tardo-Pliocène et poste-Astienne, qui intéresse

même les poudingues Pliocène, figureII.3.



FigureII.3 : Carte géologique et structurale du site du barrage principal.

VI. La sismicité :

La sismologie ou séismologie, est une discipline scientifique qui étudie les séismes (tremblements de terre) et la propagation des ondes élastiques à l'intérieur de la Terre.

Conformément à la réglementation parasismique et le document technique "DRT BC 2-48" dit: "REGLES PARASISMIQUES Applicables au Domene Des Ouvrages D'Art ALGERIENNES RPOA 2008" définit 4 zones sismiques (FigureII.4) classées comme suit:

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone 1 : Sismicité faible
- Zone 2 : Sismicité moyenne
- Zone 3 : Sismicité élevée

❖ Classification des ouvrages :

Quatre groupes de construction sont définis en fonction de leur usage avant, pendant et après un fort séisme :

- ✚ Groupe 1A : ouvrages d'importance vitale devant demeurer opérationnels après un séisme majeur (centres de décision, hôpitaux, police, gendarmerie, installations militaires, de télécommunication, de

stockage d'eau, routes.....);

- + Groupe 1B : ouvrage de grande importance (bâtiments publics, scolaires, universitaires,);
- + Groupe 2 : ouvrage courant ou d'importance moyenne (habitation, bureaux ...);
- + Groupe 3 : ouvrages de faible importance.

Le coefficient d'accélération, A, est fonction du groupe de bâtiments concerné et de la zone sismique correspondante, tableau II.1:

Tableau II.1:Coefficient d'accélération.

Groupe	Zone		
	I	II	III
1A	0,12	0,25	0,35
1B	0,10	0,20	0,30
2	0,08	0,15	0,25
3	0,05	0,10	0,15

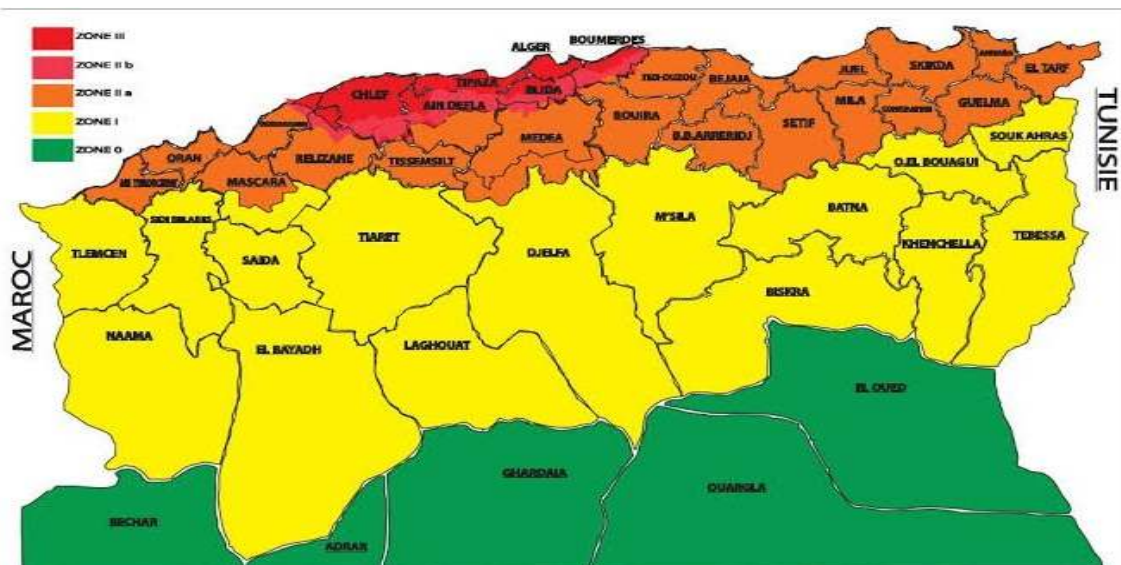


Figure II.4: Carte de zonage sismique de l'Algérie.

D'après les données historiques, la zone du barrage appartient à une région sismotectonique de faible à moyenne activité. En effet, elle se trouve loin des grands bassins sédimentaires, subsidant encore aujourd'hui du miocène inférieur (CHELEF, MITIDJA, SOUMMAM, HODNA) qui sont les centres des foyers sismiques les plus dangereux en Algérie. Par conséquent, il est possible que la zone du barrage de Souk el Tlata puisse ressentir, bien qu'affaiblies par la distance, les secousses des séismes des régions

sismotectoniques actives environnantes

D'après la carte de zonage notre site se situe sur la zone sismique II à sismicité moyenne, et à coefficient de sismicité de 0,25

VII. Fondation du barrage (les couches d'assise) :

D'après l'ensemble des sondages réalisés on peut conclure que la fondation de barrage est constituée de 3 couches sont : couche alluvionnaire (épaisseur de 20 m en moyenne), couche des grés ayant une épaisseur d'environ 100 m, ces derniers reposent sur une couche de phyllades (schistes).

A. Caractéristiques géomécaniques des matériaux de fondation du barrage :

La partie superficielle des terrains d'assise est essentiellement composée par des matériaux graveleux imperméable (alluvions), en termes géotechniques, il s'agit de matériaux à RQD nul, en générale peu résistants.

Au-dessous de cette zone superficielle, on peut observer 2 couches: de grès et de phyllades, avec un pourcentage de RQD variable.

Les valeurs moyennes pondérées des paramètres géomécaniques sont déduites dans le tableau II.2 ci-dessous :

Tableau II.2: Les valeurs moyennes des paramètres géomécaniques

	RQD(Rive gauche) %	RQD(Rive droite) %
Grès	41	66
Phyllades	41	52

Ceci signifie globalement que la qualité des massifs rocheux, est mauvaise en rive gauche et moyenne en rive droite (Annexe A, tableau 1).

B. Propriétés physico-mécaniques des matériaux des fondations du barrage :

Les résultats des essais de laboratoire et des analyses sur les échantillons de substratum rocheux prélevés des carottes des sondages sont ci-dessous:

a) Les grès :

Les grès constituent la plus grande partie de l'assise de fondation du barrage.

➤ Propriétés physiques

Les résultats des essais sont donnés dans le tableau II.3:

Tableau II.3: Résultats des essais physiques.

Paramètres	Valeurs
la densité humide γ_h (KN/m³)	20.0
la densité sèche γ_d (KN/m³)	19.5
la densité saturé γ_{sat}(KN/m³)	22.0

La valeur de la densité sèche trouvée signifie que les grés sont très denses (Annexe A, tableau 4).

➤ **Propriétés mécaniques :**

✓ **Essai de compression simple :**

Les essais expérimentaux sur éprouvettes cylindriques ont révélé que la résistance à la compression simple en condition naturelles est de 10,2 MPa se réduit du 20 % environ (8,0Mpa) après 10 jours d'immersion, et le module de déformation ED varie entre 2000 et 6000 Mpa, et un module d'élasticité E de 1000 Mpa.

- $\sigma_c = 10.2$ (Mpa) ;
- $\sigma_{c10j} = 8$ (Mpa).

D'après les résultats ci-dessus les grés ont une faible résistance (Annexe A, tableau 9)

✓ **Essai de cisaillement :**

Cet essai nous permettent de déterminer la cohésion «C' » et l'angle de frottement interne « φ' » de notre roche, les valeur obtenus sont données ci-dessous :

- la cohésion : $C' = 150$ Kpa
- l'angle de frottement : $\varphi' = 3^\circ$.

b) Les Phyllades :

➤ **Propriétés physiques :**

Les caractéristiques de densité de ces phyllades sont donne dans le tableau II.4 ci-dessous :

Tableau II.4: Résultats des essais physique.

Paramètres	Valeurs
la densité humide γ_h (KN/m³)	24.5
la densité sèche γ_d (KN/m³)	21.7
la densité saturé γ_{sat}(KN/m³)	24.5

On peut déduire à partir de la valeur de la densité sèche de cette série rocheuse est très dense (Annexe A, tableau 4).

➤ **Propriétés mécaniques :**

✓ **Essai de compression simple :**

Les essais de résistance à la compression simple sur des éprouvettes ont donné les valeurs suivantes :

- La résistance à la compression simple en condition naturel est de 40,6 MPa.
- Le module d'élasticité : $E = 1300 \text{ MPa}$

Les résultats des essais permettent de déduire que les phyllades ont une moyenne résistance

✓ **Essai de cisaillement :**

Les résultats de cette essais sont les suivants :

- La cohésion dans la roche : $C' = 70 \text{ KPa}$
- L'angle de frottement : $\varphi' = 30^\circ$.

c) Alluvions graveleuses de l'Oued Bougdoura :➤ **Propriétés physiques:**✓ **Essais Proctor :**

Cet essai a pour but d'établir la relation expérimentale entre la densité sèche d'un sol sensible à l'eau et sa teneur en eau pour différentes énergies de compactage .Les paramètres moyens de compactage Proctor sont donné ci-dessous, tableau II.5:

Tableau II.5: Résultats des essais de compactage Proctor.

Paramètres	Valeurs
la densité sèche optimum $\gamma_{dopt}(\text{KN/m}^3)$	21.3
la teneur en eau optimum $W_{opt}(\%)$	7.3
le degré de saturation $S_r(\%)$	80

D'après les résultats ci-dessus ont peut déduire que le sol est non saturé (Annexe A, tableau 3).

➤ **propriétés mécaniques :**

Les propriétés mécaniques des alluvions de l'oued utilisées pour les calculs de stabilité sont basées sur les essais réalisés sur les matériaux d'emprunts, (en particulier la zone B, appartenant à la même unité géologique), ainsi que sur les observations de terrain.

✓ **Essai triaxial :**

Un essai triaxial consolidé et drainé sur un échantillon a donné :

- la cohésion : $C'=0\text{Kpa}$;
- l'angle de frottement : $\varphi'=36^\circ$.

VIII. Conclusion

L'étude géologique et géotechnique du site du barrage est très importante, son objectif est d'étudier la géologie du site et de déterminer la nature du sol et ses propriétés mécaniques et physiques.

D'après les données géologiques et géotechniques il en ressort que le site du barrage est constitué principalement par une assise rocheuse constituée d'un matériau rocheux (Phyllades et Grés) modérément résistant surmonté par une formation alluvionnaire assez perméable, avec une épaisseur moyenne de 20m. Le site du barrage se localise dans une région classée de moyenne à faible activité sismique (zone II selon le RPOA) à coefficient d'accélération sismique de l'ordre de 0.25.

CHAPITRE III :
Etude hydrologique

I. 3 INTRODUCTION

L'hydrologie peut être définie brièvement comme la science qui étudie le cycle de l'eau dans la nature et l'évolution de celle-ci à la surface de la terre et dans le sol, Cette étude à une grande importance, car le dimensionnement, la sécurité et la bonne exploitation des ouvrages hydrotechniques sont liées au paramètre hydrologique.

Dans ce chapitre on va étudier les caractéristiques physiques, géométriques, climatiques et l'étude des apports ; c'est-à-dire l'étude des crues rares et l'étude de régularisation visant à définir le dimensionnement optimal du barrage.

II. Bassin versant

Un bassin versant, est un territoire qui draine l'ensemble de ses eaux vers un exutoire commun. Il représente, en principe l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrographique et de ses effets.

Un bassin versant est donc limité par une ligne de crête qui est la ligne de partage des eaux de ruissellement.

II.1 Caractéristiques générales du bassin versant

Les caractéristiques physico-géographiques du bassin versant ont été situées sur l'Oued BOUGDOURA en grande Kabylie à 80 Km à l'est d'Alger. Ses principaux affluents sont :

- ✓ Assif Imedrane complètement au sud ;
- ✓ Assif Tlata à la partie Sud-Est ;
- ✓ L'Oued Aguer gour à l'Est.

II.1.1 Caractéristiques physiques

A. Les caractéristiques géométriques

Les caractéristiques géométriques du bassin versant ont été obtenues à l'aide de logiciel (Map-info) et utilisant la carte d'état-major à l'échelle 1/25000, figures (III.1)(III.2). Ils sont donnés dans ce qui suit :

- Superficie du bassin versant:

$$S = 539.5 \text{ Km}^2$$

- Périmètre du bassin versant

P=108.6Km

- Longueur de talweg principal

Lp=39.1Km

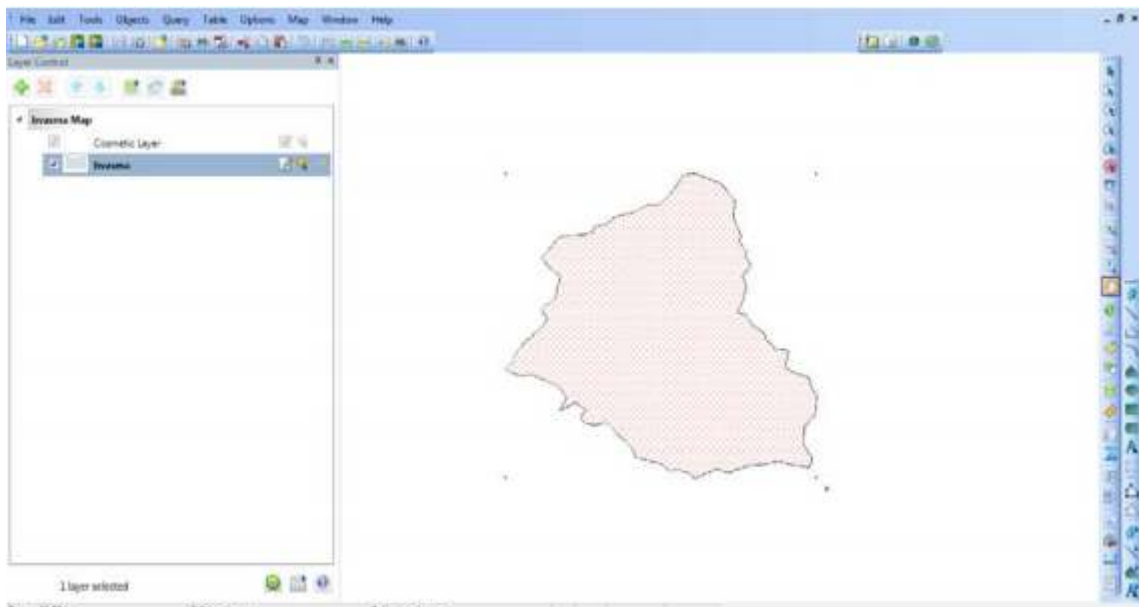


Figure III. 1: Bassin versant Oued Bougdoura

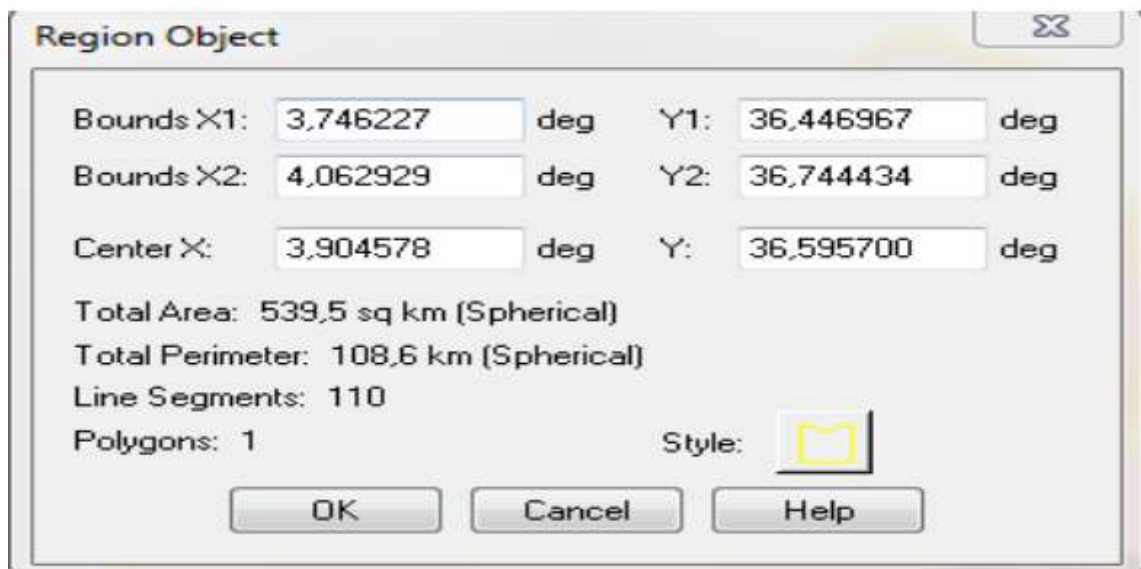


Figure III.2 : Coordonnées LAMBERT

B. Caractéristiques morphologiques

✚ Indice de forme :

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydrogramme à l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire. Ce phénomène est lié à la notion de temps de concentration. En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront les plus forts débits de pointe. Il existe différents indices morphologiques permettant de comparer les bassins versants entre eux.

Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) K_c défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R} ; R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} ; P_c = 2\pi R = 2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{S}{\pi}}} = \frac{p}{2\sqrt{\pi S}} = 1.36$$

Avec:

P : périmètre du bassin versant (Km)

S : surface du bassin versant (Km²)

K_c : indice de Gravelius

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Si: $K_c = 1 \Rightarrow$ bassin circulaire

Si: $K_c > 1 \Rightarrow$ bassin allongé

Selon la valeur de K_c de l'ordre de 1.36, obtenue pour le bassin versant de notre projet, valeur supérieur à 1, profère au bassin une forme allongée.

✚ Coefficient d'allongement

Il est donné par la formule suivante :

$$C_a = \frac{L^2}{S}$$

Pour notre projet, le coefficient d'allongement (C_a) est de l'ordre de 2.84

🚩 Indice de compacité Gravillus K_G

Cet indice exprime la forme du bassin versant, il est en fonction de la surface du bassin et de son périmètre.

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Avec:

P: périmètre du bassin versant (Km);

S: superficie du bassin versant (Km²).

Si :

$K_G = 1$; le bassin versant est ramassé.

$K_G > 1$; le bassin est allongé.

Pour notre projet, l'indice de compacité de Gravillus (K_G) est de l'ordre de 1.3 ($K_G = 1.3$). Selon la valeur de K_G on pourra dire que notre bassin est déformé allongé.

C. Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius

Pour comparer le comportement hydrologique de deux bassins versants, on utilise la notion de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius. Il s'agit d'une transformation purement géométrique où l'on assimile le bassin versant à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie. De cette manière les courbes de niveau sont des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, et l'exutoire est l'un de ses petits cotés.

Soient L et l les côtés du rectangle.

$$\text{Le périmètre: } P = (L+l) * 2 \quad (1)$$

$$S = L * l \quad \Rightarrow \quad l = \frac{S}{L}$$

$$\text{Donc : } (1) \Leftrightarrow 2L + \frac{2S}{L} = P$$

$$\text{Or: } K_C = 0.28P/\sqrt{S} \quad (2) \quad ; \quad P = \frac{K_C * \sqrt{S}}{0.28} \quad (3)$$

$$\text{De (2) et (3) nous aurons: } \frac{K_C * \sqrt{S}}{0.28} = \frac{2 * S}{L} + 2L$$

Nous obtenons une équation du second ordre de la forme :

$$2 * L^2 - \frac{K_C * \sqrt{S}}{S} * L + 2S = 0$$

Elle admet comme solutions x1 et x2.

Où :

L: longueur du rectangle équivalent en (Km)

l: largeur du rectangle équivalent en (Km)

Pour ce qui est de notre bassin versant, on obtient : **L = 41 km et l = 13,1**

II.1.2 Paramètre du relief

Le relief conditionne de façon importante l'hydrologie d'un bassin versant, une pente forte entraîne un écoulement plus rapide donc un temps de concentration des débits plus court. On caractérise souvent le relief par la courbe hypsométrique qui donne la répartition de la surface du bassin versant suivant l'altitude.

A. La courbe hypsométrique

Pour tracer la courbe hypsométrique, on porte sur l'axe d'ordonnées les altitudes moyennes partielles H_i et en abscisses le cumul des surfaces partielles S_i , comprises entre deux tranches d'altitude successives, choisies arbitrairement. Souvent les surfaces sont exprimées en pourcentage de la surface totale du bassin versant.

On procède au classement des altitudes à l'aide de logiciel ARC-GIS, figure III.3 suivante :

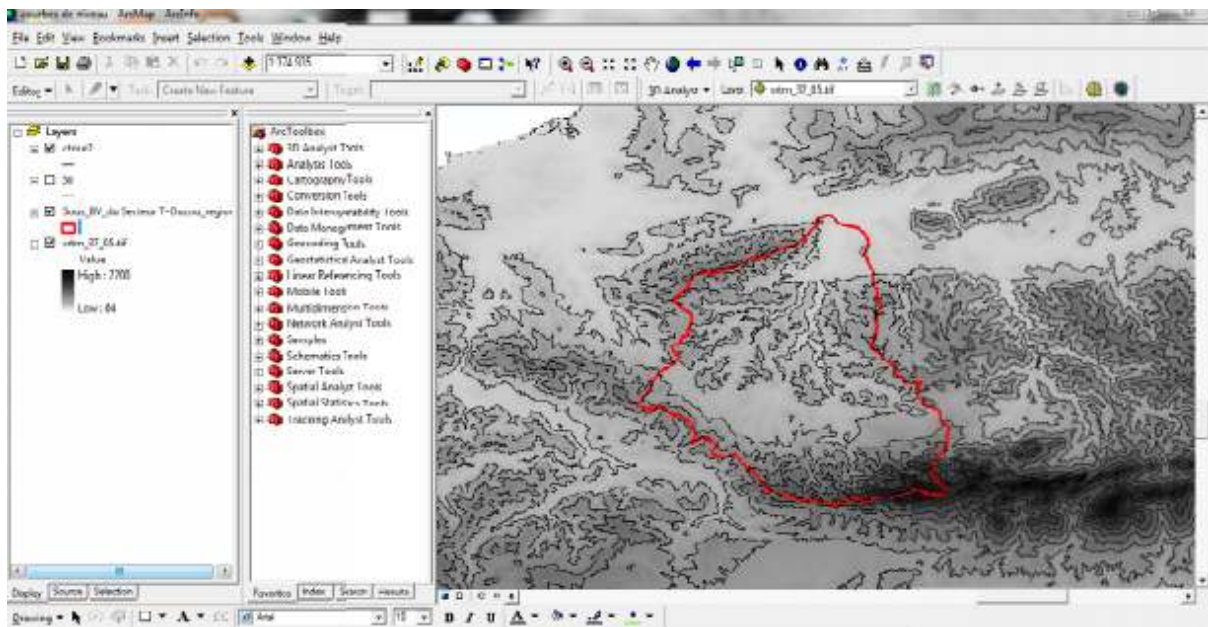


Figure III.3 : Classes d'altitudes

Les résultats qui ont servi à la constitution de la courbe hypsométrique du bassin versant de l'OUED BOUGDOURA figure III.4, sont mentionnés dans le tableau III.1 ci-dessous :

Tableau III.1: Répartition altimétrique des superficies du bassin versant.

Classes d'altitudes	Hi moyennes	Ai cumulés	% de surfaces cumulées
64-200	132	534.2	100
200-400	300	512	94.6
400-600	500	284	52.5
600-800	700	102	18.9
800-1000	900	60	11.1
1000-1200	1100	39	7.2
1200-1400	1300	24	4.4
1400-1600	1500	18	3.3
1600-1800	1700	8	1.5
1800-2000	1900	7	1.3
2000-2200	2100	2	0.4

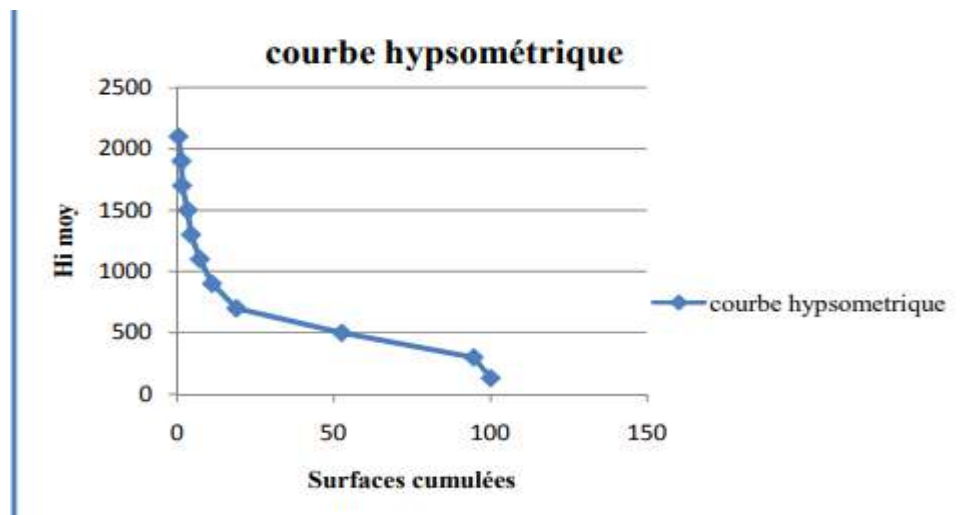


Figure III.4: Courbe hypsométrique

De la courbe hypsométrique, sont tirées les altitudes (H5%, H95%) l'altitude médiane (H50%) et l'altitude moyenne (H_{moy}).

B. Altitude moyenne du bassin versant

Celle-ci est donnée par deux procédés :

✚ Graphiquement

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

$$H_{\text{moy}} = 500 \text{ m NGA}$$

✚ Analytiquement

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{Hi * Si}{Sbv}$$

Avec :

Si : surface partielle entre deux courbes de niveau (Km²)

Hi : altitude moyenne entre deux courbes de niveaux successives (m)

S: Superficie du bassin versant (Km²)

$$H_{moy} = 494,5 \text{ m NGA.}$$

C. Altitudemédiane

L'altitude médiane est H_{med} est lue sur la courbe hypsométrique :

$$H_{50\%} = 500 \text{ m NGA.}$$

D. Indice de pente global

L'indice global de pente évalue le relief. De la courbe hypsométrique, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la superficie du bassin. On en déduit les altitudes $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ entre lesquelles s'inscrit 90% de l'aire du bassin. Il est égal à :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Où

D : est le dénivelé ; $D = H_{5\%} - H_{95\%}$;

L : est la longueur du rectangle équivalent ;

Pour ce qui est de notre projet, l'indice de pente global du bassin versant est de l'ordre :

$$I_g = 20,46 \text{ m/km}$$

D'après la classification de l'ORSTOM, nous pouvons classer notre relief, le tableau III.2 ci-dessous illustre les différents types de relief.

Tableau III.2: Classes de relief avec leurs descriptions.

Classes de relief	Descriptions	Pentes en m/km
Pf	Pente faible	$2 < I_g < 5$
Pm	Pente modérée	$5 < I_g < 10$
Paf	Pente assez fort	Pente longitudinale : $20 < I_g < 50$
Ptf	Pente très forte	Pente transversale : $80 < I_g < 200$ Pente longitudinale : $I_g > 50$ Pente transversale : $I_g > 200$

D'après la valeur de la pente globale du bassin versant obtenus (20.46), cette dernière classe le bassin versant d'OUED BOUGDOURA comme étant un bassin a pente assez forte.

E. Indice de pente moyenne

La pente moyenne est une caractéristique importante qui renseigne sur la topographie du bassin. Elle est considérée comme une variable indépendante. Elle donne une bonne indication sur le temps de parcours du ruissellement direct, donc sur le temps de concentration, et influence directement le débit de pointe lors d'une averse. L'indice de pente moyenne est donné par la formule ci-dessous :

$$I_m = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

$$I_m = \frac{3150 - 64}{43980}$$

Donc : $I_m = 0.047 \text{ m/km} \rightarrow 4.74\%$

H_{max} : altitude maximale du BV

H_{min} : altitude minimale du BV

F. Dénivelée spécifique

Elle sert à comparer les indices de pentes du bassin de superficie différentes, d'après la deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M appliquée à tout le bassin quel que soit sa surface.

Elle est donnée par la formule :

$$Ds = I_G \sqrt{S} \quad ; \text{AN au projet } Ds = 472,97 \text{ m.}$$

I_G : Indice de pente global

La classification des reliefs est donnée dans le tableau III.3, ci-après:

Tableau III.3 : Classification O.R.S.T.O.M (type de relief)

R1	Relief très faible	DS < 10m
R2	Relief faible	10m < DS < 25m
R3	Relief assez faible	25m < DS < 50m
R4	Relief modéré	50m < DS < 100m
R5	Relief assez fort	100m < DS < 250m
R6	Relief fort	250m < DS < 500m
R7	Relief très fort	DS > 500m

D'après la classification de l'O.R.S.T.O.M. La dénivelée spécifique du bassin AcifTleta se

trouve dans la classe R6: donc Relief Fort.

II.1.3 Temps de concentration

C'est le temps que mettra la première goutte d'eau tombée au point hydrologiquement le plus éloigné du bassin versant pour arriver à l'exutoire. Nous avons plusieurs formules pour son calcul :

A. La formule de GIANDOTTI

$$T_C = \frac{1.5 L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}$$

Où :

S : surface du bassin versant : S = 539,5 Km²

L_p : longueur du thalweg principale : L_p = 49 Km

H_{moy} : altitude moyenne du BV (H_{moy} = 494,5 m)

H_{min} : altitude minimale du BV (H_{min} = 64 m)

$$T_c = 10.4 \text{ heures}$$

B. La formule de KIRPICH

$$T_C = 0.6615 L_P^{0.77} I_G^{-0.385}$$

Où :

I_m : pente moyenne du cours d'eau (m/km).

S : superficie du BV

L_p : longueur du thalweg principal

$$\text{AN au projet : } T_c = 3.21 \text{ heure}$$

C. La formule de CALIFORNIA

$$T_C = \left(\frac{0.87 L^3}{H_{max} - H_{min}} \right)^{0.386}$$

$$T_c = 3.47 \text{ heures}$$

H_{moy} : altitude moyenne du BV (H_{moy} = 494,5 m)

H_{min} : altitude minimale du BV (H_{min} = 64 m)

Pour des raisons de sécurité en opte pour la valeur minimale

$$T_C = T_{C \text{ MIN}} = 3.21 \text{ heure}$$

II.1.4 Vitesse moyenne de ruissellement

Cette vitesse est donnée par la formule suivante :

$$V_R = \frac{L_p}{T_C}$$

Avec :

L_p : longueur du talweg principale.

T_C : temps de concentration.

$$\text{AN Au projet : } V_R = 12.2 \text{ Km/h}$$

II.2 Caractéristique climatique

II.2.1 Climat :

La région de Bougdoura, sous domaine de la grande Kabylie, bénéficie d'un climat du type méditerranéen à hiver frais et pluvieux et Eté sec et chaud. Elle est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie .en effet, la moyenne des précipitations annuelle varie entre 700 et 1300 mm. Le bassin versant présent de grandes variations altimétriques les sommets du grand massif du Djurdjura dépassent les 2000 m.

II.2.2 Température

Les températures maximales et minimales observées à la station de Tizi-Ouzou étendue sur les dix dernières années sont représentées dans le tableau III.4 :

Tableau III.4: Répartition mensuelle de la température

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne
T min(°C)	1,6	2,4	3,3	5,5	8,7	13,1	17,1	18	14,1	10,4	5,6	3	8, 6
Tmax (°C)	20,8	23,6	28,6	30,6	34,6	39,8	43	42,5	38,4	35,3	27,2	22,4	32, 2

La figure III.5 suivante montre la répartition mensuelle des températures min et max prélevées la station de Tizi-Ouzou aux dix dernières années.

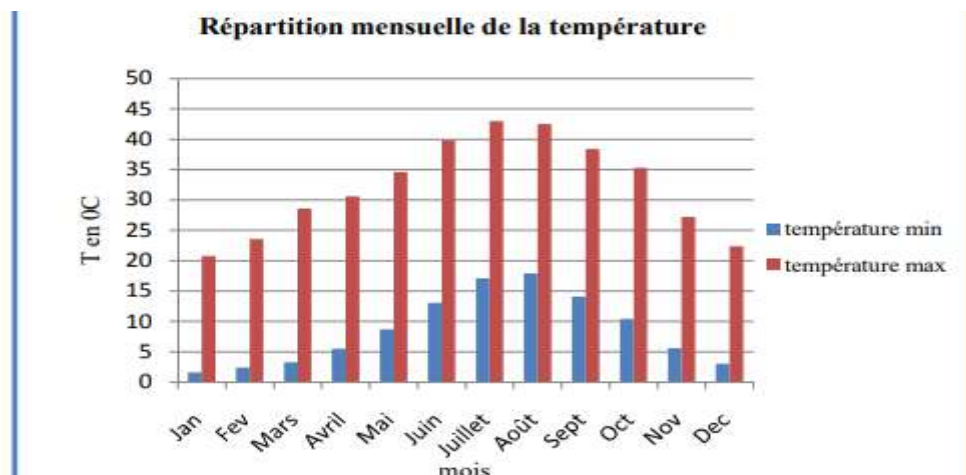


Figure III.5 : Répartition mensuelle de la température

La température descend au-dessous de 5°C en hiver alors, qu’en Eté elle dépasse 30 °C en général. La température moyenne du BV est 20 °C.

II.2.3 Evaporation

Elle a été obtenue grâce à un bac Colorado standard situé à la station de Tizi-Ouzou. Elle est estimée à 1530 mm/an.

Les évaporations moyennes de chaque mois sont représentées dans le tableau III.5 et la figure III.6, suivant :

Tableau III.5 : Répartition mensuelle de l’évaporation.

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total (mm)
Evap(mm)	30	60	90	120	150	180	225	240	180	120	90	45	1530

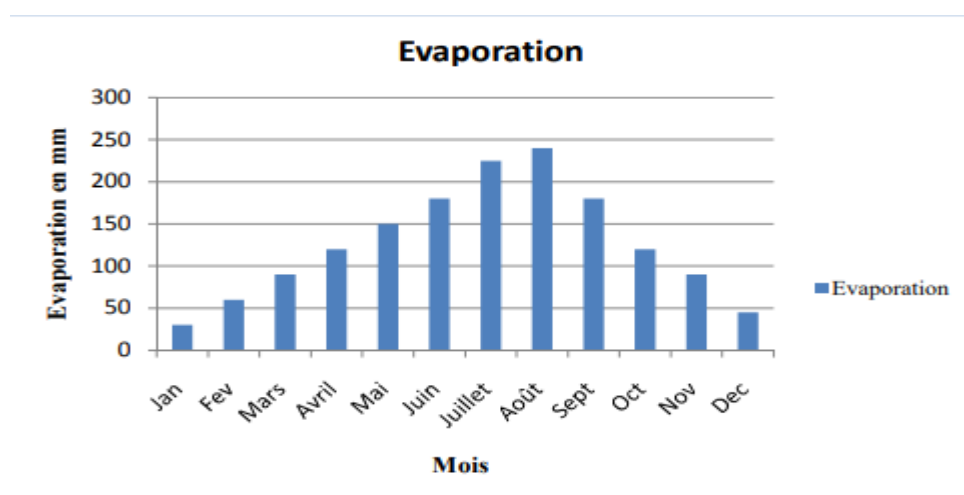


Figure III.6 : Répartition mensuelle de l'évaporation.

II.2.4 Humidité

L'humidité relative varie entre 40% et 50% en Eté et 75% à 80% en Hivers. Les valeurs de l'humidité max et min ont été obtenues au niveau de la station de TiziOuzou sont représentées dans le tableau III.6 et la figure III.7:

Tableau III.6: Répartition mensuelle de l'humidité.

Mois	Jan	Fe	Ma	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.	Moyenne
Humidité min %	57	52	48	48	46	35	30	31	38	43	52	59	44,92
Humidité max %	93	93	92	92	91	84	78	80	85	90	93	94	89

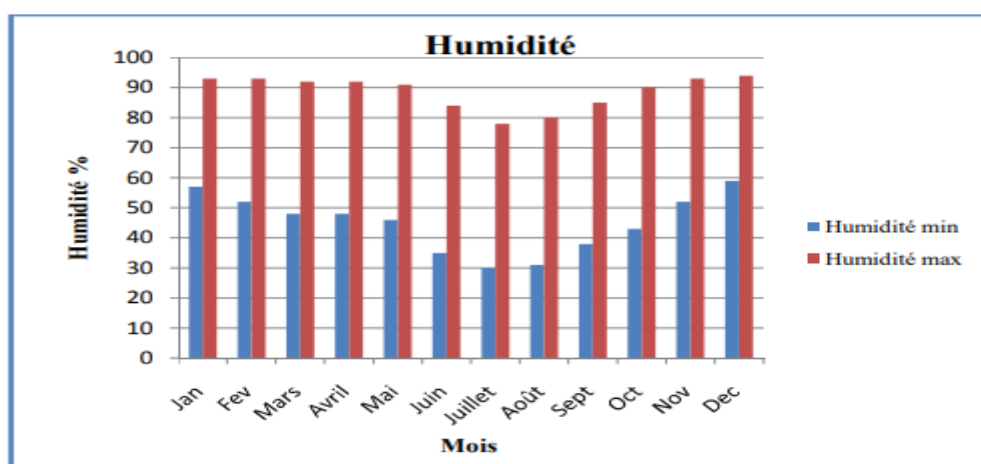


Figure III.7: Répartition mensuelle de l'humidité

II.2.5 Vents

Les vents de la région ont une direction dominante Ouest et Sud-Ouest pendant toute l'année. Les valeurs ci-dessous ont été obtenues à la station de Tizi-ouzou , tableau, III.7 et la figure III.8, suivant :

Tableau III.7: Répartition mensuelle de la vitesse du vent

Mois	Jan	Fe	Mar	Avri	Ma	Jui	Juillet	Août	Sept	Oc	No	De	Moyenne
Vent m/s	1,3	1,3	1,6	1,7	1,7	2,1	2,2	2	1,5	1,3	1,3	1,3	1,6

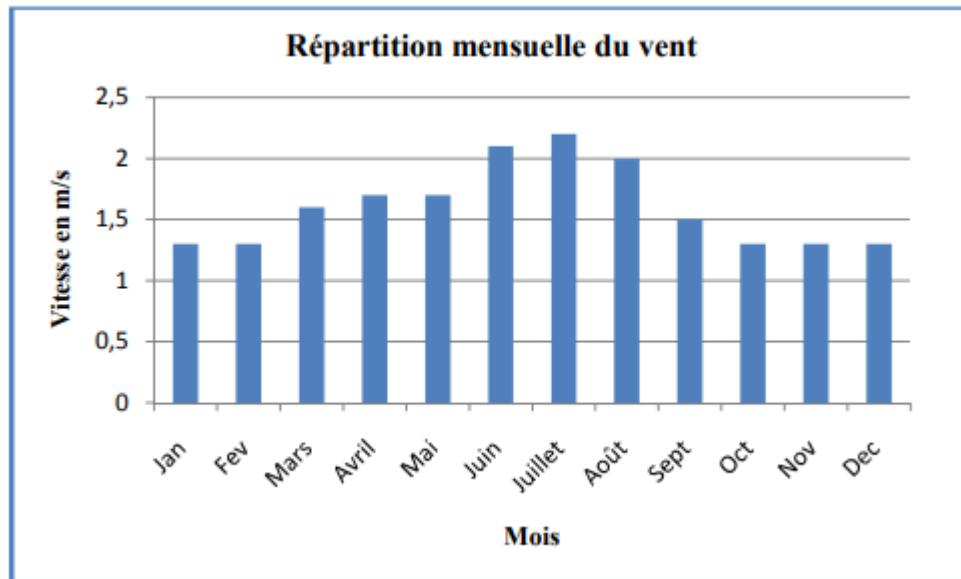


Figure III.8: Répartition mensuelle de vents

II.3 Calcul du volume mort de la retenue

Le volume mort est déterminé pour une durée de 50 Ans par la formule suivante :

$$V_m = 30 * V_s$$

$$V_m = 9.5 \text{ Mm}^3.$$

Tell que :

VS : le volume des solides ($V_s = 315285.66 \text{ m}^3/\text{An}$).

Remarque : la valeur de V_s est obtenue par la formule de SOGREA.H.

II.4 Le volume utile de la retenue

Le réservoir de Souk el Tleta garantira une capacité utile de 98 Mm³, donc le volume utile de la retenue est de 98 Mm³

Le volume au niveau normal de la retenue est : $V_{NNR} = V_m + V_{util}$

Implique que

$$V_{NNR} = 9.5 + 98 = 107.5 \text{ Mm}^3.$$

III. CONCLUSION

L'objectif de cette étude est d'établir les éléments hydrologiques nécessaires à l'établissement du projet du barrage, c'est-à-dire l'étude des apports, l'étude des crues rares et l'étude de régularisation visant à définir le dimensionnement optimal du barrage. De l'étude hydrologique il en ressort que :

Le bassin de notre projet est de forme allongé ($k_c > 1$).

Le bassin versant d'oued Bougdoura a une Pente assez forte (d'après la valeur de la pente globale du bassin versant), avec un Relief Fortsuivant la classification de l'O.R.S.T.O.M.

La région de Bougdouraest l'une des régions les plus arrosées d'Algérie, quibénéficie d'un climat du type méditerranéen à hiver frais et pluvieux et Eté sec et chaud.

CHAPITRE IV :
Matériaux de construction

I. 4 Introduction :

La construction d'un barrage en terre nécessite un volume de remblais relativement important, pour des raisons économiques seuls les matériaux disponibles à proximité immédiats du site sont admis. A cet effet une campagne de reconnaissance géotechnique est menée dans les différentes phases du projet (APD, Exécution) pour chercher des matériaux utilisables dans la construction de la digue. La campagne de reconnaissance vise principalement à déterminer les caractéristiques physiques, mécaniques des matériaux, ainsi que l'estimation des quantités disponibles dans les zones d'emprunts.

Schématiquement, les sols employés pour la construction d'une digue en terre peuvent être classés en deux grandes catégories: les matériaux perméables ou peu perméables (blocs, cailloux, sable, graves. .), les matériaux imperméables (argiles, limons argileux).

Dans ce chapitre nous allons interpréter les résultats des différents essais physique et mécanique effectués sur les matériaux rencontrés sur les zones d'emprunts.

II. Les zones d'emprunt:

Les matériaux ont été prélevées dans les puits d'exploitation exécutées dans les zones d'emprunt pour les matériaux meubles et rocheux, figure IV.1. Les zones sont définies comme suit:

📍 Zone AI:

Cette zone située en amont du site du barrage, à 3 Km de distance long du CW128 vers Boghni, en rive gauche de l'Acif Tala Imedrane.

📍 Zone AII:

Cette zone située en amont du site du barrage, à 2 Km environ de distance, en rive droite de l'Acif Tala Imedrane.

📍 Zone AIII:

Cette zone située après du village de Kantidja, 9 Km environ de distance en du site du barrage, dans la vallée de l'Acif Tala Imedrane .

📍 Zone AIV:

Cette zone située après du village de oued ksari, 9 Km environ en amont du site du barrage, en rive gauche de l'Acif Telata.

📍 Zone AIV:

Cette zone située en amont du site du barrage, à 3 Km de distance le long de RN vers Draa el Mizan, en rive gauche de l'Oued Tala.

Les matériaux extraits des zones ci-dessus sont les Colluvions argileuses.

Zone B

Un est situé en aval du site du barrage, à 0.5 km environ de distance et intéresse les alluvions du lit mineur et majeur de l'Oued Bougdoura.

Ils sont extraits de cette zone les Alluvion graveleuse.

Zone C

Elle située dans le versant de la rive droite de l'Oued Bougdoura, au droit du site du barrage.

Les matériaux estimés de cette zone sont Grés.

Zone D

Cette zone occupe une surface très étendue, entre les vallées de l'Oued Agergoun et de l'Oued Bougdoura.

Ils sont extraits de cette zone les Pelites altérés.

Zone E

Elle occupent une surface d'une vingtaine d'hectares sur la colline du versant de rive gauche de L'Oued Bougdoura ,et remplissent une large vallée, d'une centaine de mètre de profondeur.

Les matériaux estimés de cette zone sont Les Poudingues pliocènes.

Carrière de Keddara:

La carrière étudiée se situe à plus de 70 Km du site du barrage, au lieu dit Djebel Bouzegza, Commune et Daira de Kherouba, wilaya de Boumerdes..

Cette carrière exploite des calcaires du Jurassique et de l'Eocène.



Figure IV.1: Les zones d’emprunts des matériaux pour la réalisation du barrage.

III. Etude Géotechnique de matériaux de ‘contractions’

III. 1 Colluvions argileuses:

Pour un barrage en remblai zoné, un des principaux objectifs à atteindre avec l’étude des zones d’emprunt est l’identification de sols fins, imperméables, pour le noyau d’étanchéité.

➤ **Propriétés physiques :**

Les principaux résultats des essais physiques qui ont été fait sur se matériau argileux sont présentés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1: Les principaux résultats des essais physique.

Paramètre	Valeurs moyennes
Analyse granulométriques (%)	80 μm = 56.87
	<math><2\text{mm}</math> = 81.54
	<math><50\text{mm}</math> = 100
Limites de liquidité	$W_L = 40.83$; $W_P = 21.33$; $I_p = 19.49$

Teneur en eau naturel et l'indice de consistance	$W_n = 3.61\%$; $I_c = 1.90$
---	-------------------------------

Selon la référence [CFBR Petits barrages] les matériaux qui contiennent plus de 30 % d'éléments inférieurs à 80 μm sont probablement étanches ; avec moins de 15 % ils ne sont probablement pas. D'après les résultats d'analyse granulométrique cités dans le tableau ci-dessus sont relativement étanches et peuvent être utilisés dans la construction du noyau d'étanchéité,

D'après la classification de Casagrande et à l'aide de l'abaque qui est basée sur le couple (IP-WL), les argiles colluviales sont peu plastiques [At]. D'après les résultats d'indices de plasticité mentionnée (IP = 19.49 %) dans le tableau ci-dessus, la valeur est inférieure à 35%, dont on peut conclure que le matériau répond aux exigences techniques

Les teneurs en eau mesurés indiquent que les matériaux sont pratiquement secs, en fonction des résultats des indices de consistances les échantillons de sol sont à l'état solide (Annexe A, tableau 3).

- **Essais de perméabilité:**

Les résultats de perméabilité obtenu au perméamètre indiquent que les argiles colluviales ont une perméabilité très faible à faible ($k=1.10^{-9}$ m/s) (Annexe A, tableau 8).

➤ **Propriétés mécaniques :**

- **Essai Proctor :**

Des essais Proctor ont été effectués sur des échantillons récupérés dans les différentes zones de prospection, les résultats des valeurs moyennes de la densité sèche optimale et de ces teneurs en eau correspondants sont regroupés dans le tableau IV.2.

Tableaux IV.2: Les résultats moyens d'essais Proctor.

Paramètres	Valeurs
la densité sèche optimum γ_{dopt} (KN/m ³)	18.28
la teneur en eau optimum W_{opt} (%)	16.04

D'après les résultats d'essais Proctor, on constate que les matériaux sont secs et

nécessitent l'ajout d'une quantité d'eau pour atteindre le teneur en eau optimum Proctor.

• **Essai de compressibilité a l'oedomètre:**

Les résultats moyenne de cette essai sont donne dans le tableau IV.3:

Tableau IV.3: Résultats des essais de compression à l'odomètre.

Paramètres	Valeurs
l'indice de compression C_c (%)	9.63
l'indice de gonflement C_g (%)	1.37
le module de compressibilité σ_c (bar)	1.65

D'après ces résultats, les argiles colluviales son peut compressible, peu gonflant (Annexe A.4).

• **Paramètre de résistance au cisaillement**

Des essais triaxiaux consolidé et drainé sur des échantillons ont donné :

- La cohésion : $C'=10\text{Kpa}$;
- L'angle de frottement : $\varphi'=18^\circ$.

Le cas de charge Fin de construction (court terme), est calculé au moyen des coefficients de pression interstitielle R_u , la valeur adoptée pour le noyau est : $R_u = 0.5$.

➤ **Classification des matériaux de la Zone A :**

- Classement selon la nature (premier niveau de classification)

$D_{max} \leq 50 \text{ mm}$	amisât à $80\mu\text{m} = 40.12\% > 35\%$ Classe A sol fin
------------------------------	---

- Classement selon la nature (deuxième niveau de classification)

$12 < I_p = 19.49 < 25$	Sous classe fonction de la nature A2 Argile peu plastique
-------------------------	--

- Classement selon l'état hydrique

$I_c = 1.9 > 1.4 \text{ et}$ $W_n = 3.61 < 0.7W_{opn}$ $= 13.79$	Sous classe A2ts Matériau très sec
--	---------------------------------------

Le caractère moyen de ce type de matériau fait qu'il se prêt à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Néanmoins dans

les projets de barrage il convient d'utiliser un compacteur à pied de moutons, et ce pour assurer une adhérence optimale entre les couches successives des remblais argileux et ainsi d'éliminer les chemins préférentiels à l'écoulement.

➤ **Condition d'utilisation du matériau selon la nomenclature GTR**

Ce type de matériaux présente une teneur en eau très faible, selon le GTR le sol est normalement inutilisable en l'état. A cet effet, un changement de leur état hydrique est nécessaire pour le ramener en A2m, pour se faire il faut une humidification dans la masse par un malaxage soigné et avec un apport d'importantes quantités d'eau. Entre autres, il faut éviter d'ajouter une quantité relativement supérieure à la teneur en eau optimum Proctor, la teneur en eau idéale pour atteindre un objectif de densification conforme aux exigences de projet doit être comprise entre $0.9W_{opn} < W_n < 1.1W_{opn}$.

Il est également recommandé de réaliser une planche d'essais, notamment pour la détermination de nombre de passe et l'épaisseur de la couche.

III.2 Alluvions graveleuses de l'Oued Bougdoura :

➤ **Propriétés physiques :**

Les résultats de ces essais sont donnés ci-dessous, tableau IV.4:

Tableau IV.4: les principaux résultats des essais physiques.

Paramètre	Valeurs moyennes
Analyse granulométriques (%)	<80 µm = 4
	<2mm = 33.1
	<80mm = 100
C _c	1.20
CU	82.94
Classification U.S.C.S	48% SC-CL ; 33% GC ; 4% SC.
Teneur en eau naturel	W _n = 4.91%

Sur la base de 27 analyses de granulométrie, les alluvions peuvent être définies comme sable à gravier limoneux (avec plus au moins d'éléments fins), généralement bien gradués ($C_u > 4$, et $1 < C_c < 3$).

➤ **Propriétés mécaniques :**

✓ **Essai de compression a l'oedomètre :**

L'essai nous permet d'obtenir principalement les caractéristiques du sol nécessaire au calcul de prévision de tassement des couches de terrains compressible qui doivent supporter le poids d'un ouvrage (Le coefficient de compression, Le coefficient de gonflement et module de compressibilité) ces résultats sont regroupés ci-dessous, tableau IV.5:

Tableau IV.5: résultats des essais de compression a l'oedomètre.

Paramètres	Valeurs
l'indice de compression C_c (%)	2.6
l'indice de gonflement C_g (%)	0.75
le module de compressibilité E_0 (MPa)	46.9

D'après les valeurs de tableau IV.5 ci-dessus, on est en présence d'un sol très peu compressible, non gonflant (Annexe A4).

✓ **Essais Proctor :**

Cet essai a pour but d'établir la relation expérimentale entre la densité sèche d'un sol sensible à l'eau et sa teneur en eau pour différentes énergies de compactage. Les paramètres moyens de compactage Proctor sont donné ci-dessous, tableau IV.6 :

Tableau IV.6: résultats des essais de compactage Proctor.

Paramètres	Valeurs
la densité sèche optimum γ_{dopt} (KN/m ³)	19.3
la teneur en eau optimum W_{opt} (%)	7.3
le degré de saturation S_r (%)	80

D'après les résultats ci-dessus les alluvions sont denses et non saturé (Annexe A3).

✓ **Essai triaxial :**

Un essai triaxial consolidé et drainé sur un échantillon a donné :

- la cohésion : $C' = 0 \text{ Kpa}$;
- l'angle de frottement : $\phi' = 34^\circ$.

✓ **Résistance au choc :**

Les essais Los Angeles donnent des valeurs moyennes de, $LA = 36.98\% < 40\%$ et l'essai Deval sec donne une valeur moyenne de, $MDE = 28\% < 35\%$, donc ces granulats

sont moyennement résistants au choc.

III.3 Les Grès :

➤ Propriétés physiques:

Les résultats de ces essais sont donnés ci-dessous:

Tableau IV.7: les principaux résultats des essais physique .

Paramètre	Valeurs moyennes
Teneur en eau naturel et l'indice de consistance	$W_n = 3.61\%$
VBS	0.90

La valeur moyenne du VBS inférieure à 0,2 montre que les grès peuvent être considérés comme insensibles à l'eau.

➤ Propriétés mécaniques :

✓ Essais de dégradabilité:

Les résultats des essais sont montrés dans le tableau IV.8 suivant:

Tableau IV.8: résultats d'essais de dégradabilité.

Paramètre	Valeurs moyennes
D_G	1.03

Le coefficient de dégradabilité selon la norme NF P 94-067 est < 5 , la roche peut donc être classifiée comme peu dégradable.

✓ Essais de fragmentabilité

Les résultats des essais sont montrés dans le tableau IV.9 suivant :

Tableau IV.9: résultats d'essais de fragmentabilité

Paramètre	Valeurs moyennes
F_R (sec)	52
F_R (saturé)	74

Le coefficient de fragmentabilité est > 7 , la roche peut donc être classifiée comme fragmentable, selon la classification GTR.

✓ Essais de Los Angeles (LA) et Micro Deval (MDE)

5 essais Los Angeles (selon la norme NF EN 1097-2) ont été réalisés sur des

échantillons à l'état sec et à l'état saturé et 10 essais Micro Deval (selon la norme NF EN 1097-1) ont été réalisés sur la fraction 10/14mm.les résultats moyennes de ces essais sont regrouper dans le tableau IV.10 ci-dessous:

Tableau IV.10: résultats d'essais de Los Angeles et Micro Deval

Paramètre	Valeurs moyennes
Los Angeles (LA %)	LA _{sec} = 77
	LA _{sat} = 71
Micro Deval (Md %)	92

Ces pourcentages obtenus pour le LA et MD sont élevés, témoignant d'une résistance médiocre à la fragmentation.

✓ **Essais de résistance à la compression simple et de traction indirecte**

Les résultats moyennes de ces essais sont donnés dans le tableau IV.11:

Tableau IV.11: Résultats moyennes des essais de compression simple

Paramètre	Valeurs moyennes
Résistance à la compression a l'état sec (MPa)	5.26
Résistance à la compression a l'état saturé (MPa)	5.02

Les résultats des essais mécaniques à la compression donnent des valeurs de la résistance à la compression faible, ce qui confirme les premières conclusions à savoir que ces Grès sont fragmentables.

✓ **Essai Proctor**

Un seul essai Proctor a été préconisé sur un échantillon écrêté à 20 mm donnant une densité maximale de 19.5kn/m³ pour une teneur en eau de 11.3%.

✓ **Essais de cisaillement**

Les essais de cisaillement sur les grès ont fourni des valeurs d'angle de frottement comprises entre 16° et 32°.

La valeur minimale de 16° paraît douteuse, néanmoins le Bureau d'Etudes prendra dans ses calculs de stabilité une valeur d'angle de frottement conservative qui sera inférieure à la

moyenne résultant des résultats de laboratoire.

En ce qui concerne l'angle de frottement des matériaux concassée des recharges de la zone C, les valeurs suivantes sont retenues pour les calculs de stabilité:

- Cohésion effective $C' = 0 \text{ KPa}$
- Angle de frottement effectif $\varphi' = 30^\circ$

➤ **Classification des matériaux de la Zone C**

- Classement selon la nature (ou pétrographique) de la roche

Roches sédimentaires	Roches siliceuses (grès)
Classe R₄	

- Classement selon l'état hydrique et le comportement

$FR = 52 > 7$	Roches siliceuses fragmentables R₄₃
---------------	--

Le Guide des Terrassements Routiers « GTR » comporte des classifications dédiées aux remblais routiers. Ce guide qui n'est pas applicable directement pour les barrages, mais permet néanmoins d'étayer notre analyse. Selon la classification présentée dans l'Annexe 1 du GTR (voir Annexe), les grès issus de l'évacuateur de Souk Tleta sont classifiables comme R43 (Roches siliceuses fragmentables).

➤ **Condition d'utilisation du matériau selon la nomenclature GTR**

Le risque de réarrangements après la mise en œuvre est souligné. Ces roches sont très fragmentables mais leur évolution se limite aux grains élémentaires cimentés.

Le G.T.R. considère que ces matériaux peuvent être utilisés pour la réalisation de remblais avec des garanties de qualité suffisantes. Il est suggéré de procéder à un compactage intense pour obtenir une fragmentation du matériau et une réduction aux grains élémentaires.

A cet effet, il est fortement recommandé de réaliser un remblai d'essai avec ces Grès pour déterminer les caractéristiques de ces matériaux une fois soumis au compactage. Ce remblai d'essai permettra de statuer sur les modalités de mise en place de ces Grès dans les recharges du barrage.

III.4 Poudingues Pliocènes:

➤ Propriétés physiques:

Les résultats de ces essais sont donnés dans le tableau IV.12 ci-dessous:

Tableau IV.12: résultats des essais de classification.

Paramètres	Valeurs
Densité sèche naturelle γ_d (KN/m ³)	19,8
Poids spécifique des grains γ_s (KN/m ³)	26,6
Classification U.S.C.S.	GC

La classification des matériaux altérés a été faite sur la base de la courbe granulométrique et de 16 limites d'Atterberg, il s'agit de graviers argileux (GS) généralement bien gradués ($C_u > 4,1 < C_c < 3$) (Annexe B).

➤ Propriétés mécaniques :

✓ Essais triaxial:

Des essais triaxiaux ont donné :

- la cohésion : $C' = 0$ Kpa ;
- l'angle de frottement : $\phi' = 38^\circ$.

✓ Essais Proctor :

Les paramètres moyens de compactage Proctor sont donnés dans le tableau IV.13:

Tableau IV.13: résultats des essais de compactage Proctor.

Paramètres	Valeurs
la densité sèche optimum γ_{dopt} (KN/m ³)	22.7
la teneur en eau optimum W_{opt} (%)	4.7
le degré de saturation S_r (%)	71

D'après les résultats ci-dessus les Poudingues Pliocènes sont très dense (Annexe A, tableau 4).

III.5 Enrochements de carrière Keddara:

Le calcaire de la carrière a été soumis aux essais de laboratoire, dont

les résultats sont résumés dans le tableau IV.14 ci-dessous :

Tableau IV.14: Résultats d'essais effectués sur les calcaires.

Nature	Nbre échantillons	γ_h (Kn/m ³)	γ_d (Kn/m ³)	Porosité (%)	Absorption d'eau (%)	RC (bar)
Assise utile de erochement	1	23.8	18.4	0.76	0.32	199.6
	2	24.0	19.6	0.64	0.26	121.4
	3	25.1	22.3	0.66	0.24	125
	4	27.0	24.0	0.68	0.27	122

➤ **Propriétés physiques :**

- Le poids volumique sec γ_h varie entre 23.8 et 27.0 Kn/m³, avec une moyenne de 26.5 Kn/m³
- Le poids volumique humide γ_d varie entre 18.4 et 24.0 Kn/m³, avec une moyenne de 21.00 Kn/m³ ;

➤ **Propriétés mécaniques :**

- La résistance à la compression R_c est égale à 142 bars ($60 < R_c < 200$) (Annexe A, tableau 9);
- La cohésion effective $C' = 0$ KPa et l'angle de frottement effectif $\phi' = 35^\circ$;
- La valeur de Los Angeles de $LA = 21.60\% < 25\%$, et de Micro Deval $MDE = 21.92\% < 35\%$ mesurés, caractérisent des matériaux pouvant fournir de sacrégats et des enrochements avec une bonne résistance eau choc et à l'abrasion.

IV. Estimation des volumes

Les volumes des matériaux constituant le corps du barrage avec le nouveau profil proposé (par APD) ont été estimés. Le tableau IV.15 ci-après présente le quantitatif.

Tableau IV.15 : Volumes de matériaux estimés par APD.

Materieaux	Volumes disponibles (m ³)
Argile colluviale	300.000
Alluvions	750.000
Les grés	500.000
d'enrochement	300.000

L'ensemble des volumes de matériaux disponibles par rapport a ceux prévus, présentés dans le tableauIV.15 ci-dessous, à l'exception des matériaux alluvionnaires nécessitant une quantité supplémentaire, semblent être satisfaisante.

V. CONCLUSION :

Pour la réalisation d'un ouvrage de retenue des eaux superficielles, différentes études géologique et géotechnique sont nécessaires afin de déterminer les différentes caractéristiques du site d'implantation de cet ouvrage.

D'après l'analyse de toutes les données géotechnique de laboratoire, effectuées sur les différents faciès évoqués ci-dessus, que ce soit au droit du site du barrage Souk Tlata au niveau de la cuvette et ses proximités (zones d'emprunt pour la construction du barrage), on peut donc conclure que toutes les conditions géotechniques et géologiques de site sont favorables pour la réalisation d'un barrage en matériaux meubles (barrage zonée), ce qui nous permet d'entamer leur dimensionnement dans le chapitre suivant.

CHAPITRE V :
Conception de la digue

I. Introduction

Selon les conditions locales du site, un barrage en terre type zoné est envisager. L'objectif de ce chapitre consiste à définir le profil général du barrage en considération la disponibilité des matériaux pour sa conception.

II. Cote de la crête du barrage :

La hauteur du barrage est égale à la hauteur du niveau de Plus Hautes Eaux, majoré d'une hauteur supplémentaire connue sous le nom de revanche. En effet, la revanche constitue une mesure de sécurité pour éviter le risque de submersion. Le PHE est un paramètre hydraulique calculer sur la base d'une étude hydrologique (précipitations, intensité de pluie, etc.), pour le cas de notre projet la cote du PHE est égale à 125 m NGA.

Il existe plusieurs formules pour obtenir la hauteur de la revanche, les formules couramment utilisés se basent sur la hauteur des vagues, et la vitesse du vent ainsi que la longueur du plan d'eau (fecht). Nous avons utilisé dans notre projet la formule empirique de Maller-Paquant.

$$R = 0.75h_{vag} + \frac{v^2}{2g}$$

Avec:

h_{vag} : la hauteur des vagues (m);

v : la vitesse de propagation des vagues dans la retenue (m/s);

g : l'accélération de la pesanteur ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

Pour l'estimation de la hauteur des vagues on s'est basé sur la formule suivante :

- **La Formule Molitor :**

$$h_{vag} = 0.76 + 0.032\sqrt{v_v F} - 0.26\sqrt[4]{F}$$

Avec:

h_{vag} : la hauteur des vagues (m);

F: la longueur du plan d'eau ou fecht (Km);

v_v : de la vitesse du vent (Km/h).

En considérant la direction la plus défavorable pour F et v_v : $F = 2 \text{ Km}$, $v_v = 133 \text{ Km/h}$ on aura:

✓ La hauteur des vagues est égale à $h_{vag} = 0.97 \text{ m}$

La détermination de la vitesse de propagation des vagues est donnée par la formule ci-dessous :

- **Formule de Gaillard:**

$$v = 1.5 + 2h_{vag}$$

Avec:

v : la vitesse de propagation des vagues dans la retenue (m/s).

on aura:

✓ la vitesse de propagation des vagues dans la retenue $v = 3.43\text{m/s}$

En fonction des valeurs numériques obtenues ci-dessus la hauteur de la revanche se calcul comme suit :

$$R = 0.75h_{vag} + \frac{v^2}{2g} = 2.10\text{m}$$

III. Conception de la digue

a. Largeur en crête :

La largeur en crête du barrage de Souk Tleta, est dimensionné principalement pour assurer le passage de la déviation définitive de la RN25 nous allons, présenter les méthodes utilisées pour la détermination de largeur en crête.

La largeur en crête peut être déterminée à l'aide de formules présentées dans le tableau, V.1 ci-dessous où H est la hauteur de la digue en mètre.

Tableau V.1: la largeur en crête

Formules	La largeur (m)
E.F.PREECE: $L = 1.1\sqrt{H+1}$	11.72
T.KNAPPEN: $L = 1.65\sqrt{H}$	16.08
SIMPLIFIEE: $L = 3.6\sqrt[3]{H-3}$	13.42

Avec:

H : la hauteur du barrage prise de 95m.

On prend $L = 12\text{ m}$

b. Longueur en crête :

La distance entre les des deux rives de la vallée au niveau du rétrécissement choisie pour l'implantation de la digue est d'environ 166 m à la cote correspondante à la crête du barrage.

c. Pentés des talus

La détermination des pentes des talus de la digue est tributaire aux résultats de calculs de stabilité, ils dépendent principalement de la résistance au cisaillement des matériaux utilisés, du type de l'écran d'étanchéité et de la stabilité de la fondation. Le prédimensionnement des pentes se base sur le retour d'expérience, le tableau I.1 de chapitre I regroupe des configurations proposées dans la littérature professionnelle.

Au droit de la coupe centrale de la digue (coupe la plus représentative pour la stabilité

de la digue) le tracé de la route d'accès passe par les cotes suivante 118, 104.5, 89, 81.5 et 52 mNGA, les risbermes sont donc placées suivant les hauteurs suivantes (compté par rapport au terrain naturel), 8.5, 8.0, 15.5,13.0 et 13.0 m.

Pour le prédimensionnement des pentes des talus nous allons se baser sur la formule suivante :

$$F_s = \frac{tg\varphi}{tg\beta}$$

Cette formule est utilisée pour des configuration géométriques simples (sol homogène pulvérulent), et ne s'applique pas dans le cas de notre projet, néanmoins nous utiliserons cette dernière seulement pour les besoins de prédimensionnement des pentes.

Sachant que les deux recharges aval et amont sont recouvertes par une carapace en enrochement dont l'angle du frottement vaut 35° , pour F_s supérieur à 1.5 l'angle β doit être supérieur à 25.17° soit une pente de 1V :2.13H. (La configuration adoptée dans le cadre de notre projet est schématisée sur la figure V.1)

On choisit pour les calculs les pentes:

- Parementamont m1 = 1V:2.5H
- Parementaval m2 = 1V:2.2H



Figure V.1 : vus en plans d'aménagement

d. Les recharges:

Les recharges amont et aval, sont constitués par deux types de matériaux :

- Les grès exploités de la zone C. Les prélèvements effectués pour l'identification de ce matériau donnent une granulométrie étalée et uniforme en plus l'essai de dégradabilité a donné un coefficient égal à 1,03 et celle de fragmentabilité supérieure à 7. Cette roche est classée de dureté moyenne. L'essai Proctor réalisé sur le matériau gréseux a donné une densité maximale, après correction de 19.0 kn/m^3 pour une teneur en eau de 11.3%.
- Enrochements de carrière Keddara: Devant le manque des matériaux alluvionnaires prévus dans l'APD (Suites à des problèmes d'expropriation), on a proposé d'utiliser des matériaux d'enrochement de ce carrière. Les prélèvements effectués pour les enrochements dans une valeur de Los Angeles de $LA=21.60\% < 25\%$, et de Micro Deval $MDE=21.92\% < 35\%$ mesurés, caractérisent des matériaux pouvant fournir des agrégats et des enrochements avec une bonne résistance au choc et à l'abrasion.

e. Protection des talus :

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

- Talus aval

Il existe plusieurs techniques de protection des talus utilisés dans les projets de barrages en terre, tel que : protection avec une couche d'enrochement ou protection végétale, cette deuxième solution exigeant une manutention adéquate qui est difficile de garantir dans un climat comme celui de l'Algérie.

La solution la plus appropriée fut la protection des parements par des enrochements

- Talus amont

L'enrochement est la solution la plus utilisée pour la protection du talus amont, c'est également la solution la plus économique.

Les dimensions de l'enrochement peuvent être déterminées théoriquement en fonction de la hauteur des vagues et de leurs vitesses de propagation ou utilisant de préférence le tableau, V.2, donnant l'épaisseur minimum de la couche d'enrochement ainsi que les dimensions minimales des blocs en fonction de la hauteur des vagues.

Tableau V. 2: Epaisseur de la protection en fonction de la hauteur des vagues.

Hauteur des vagues (m)	Epaisseur minimale de la couche d'enrochement (m)	D_{\min} (m)
---------------------------	--	-------------------

0 ÷ 0,3	0,3	0,2
0,3 ÷ 0,6	0,4	0,25
0,6 ÷ 1,2	0,45	0,3
1,2 ÷ 1,8	0,55	0,4
1,8 ÷ 2,4	0,7	0,45
2,4 ÷ 3	0,8	0,55

D'après le tableau ci-dessus, pour notre cas : $0.6 < H < 1.2\text{m}$,

$e=0,45\text{ m}$ et $D_{\min}=0.3\text{ m}$.

Pour plus de sécurité et de faciliter la mise en œuvre, nous prenons une épaisseur d'encrochement de protection de 1.00m.

La masse minimale de l'encrochement est donnée par une formule comparable à la formule originale de Hudson (1959) établie pour un Rip-Rap relativement uniforme soit:

$$M_{\min} = \frac{\rho_r \times h_{\text{vag}}^3}{k (S_r - 1)^3 (\cot \alpha)}$$

Avec;

- M_{\min} : la masse minimale de l'encrochement (Kg);
- ρ_r : la masse volumique du roc (kg/m^3);
- h_{vag} : la hauteur de vagues significative (m);
- K : le coefficient expérimental de la stabilité $K=3.5$;
- S_r : la densité relative du roc (ρ_r/ρ_w);
- $\cot \alpha$: la pente du talus;

La hauteur des vagues déjà affectée d'un coefficient de sécurité de 1.5 est égale à $h_{\text{vag}}=0.97\text{m}$.

La masse volumique du roc est $\rho_r=2700\text{kg}/\text{m}^3$, la pente est fixée à 1V : 2.5H, on trouve alors la masse minimale de l'encrochement $M_{\min}=120\text{Kg}$.

La dimension d'un bloc est déduite à partir de la formule suivante :

$$D = \left(\frac{M}{C_f P_r} \right)^{1/3}$$

Avec :

M: la masse du bloc en kilogrammes;

D: sa dimension en mètre;

P_f : sa masse volumique en Kg/m³

C_f : le coefficient de forme.

Le coefficient de forme d'un bloc dépend du type de roc et de la méthode de sautage utilisée pour le produire. A moins de données spécifique obtenues de la carrière, la référence recommande d'utiliser 0.6 comme coefficient de forme. [Cour barrage].

L'épaisseur minimale du Rip-Rap en mètre mesuré perpendiculairement à la pente est donnée par:

$$d = 2.5D_{min}$$

Le Rip-Rap est placé sur une couche de transition satisfait les critères de filtre tel que :

$$5D_{15 Recharge} < D_{15 Transition} < 5D_{85 Recharge}$$

$$D_{85 Transition} < 0.2D_{Max Recharge}$$

f. Le Noyau argileux :

➤ **Largeur en crête du noyau:**

La largeur en crête du noyau se calcule de la manière suivante :

$$2m < b_n < \frac{H_b}{10}$$

Avec:

H_b: hauteur du barrage, elle est de 95 m. (voir plans du barrage)

$$2m < b_n < 9.5 m$$

On prend **$b_n = 8m$** .

➤ **Pente du noyau :**

Les pentes sont choisies en fonction de la perméabilité du matériau, tableau V.3.

Tableau V.3 : Pentas du noyau

Perméabilité k en cm/s	Pentes
10^{-13} - 10^{-11}	1V:2H – 1V:3H
10^{-11} - 10^{-9}	1V:3H – 1V:4H
10^{-9} - 10^{-8}	1V:4H – 1V:5H

D'après le tableau ci-dessus le noyau d'argile colluviale ($k = 1.10^{-9}$ cm/s) aura une pente de **1V:4H**.

➤ **Largeur à la base du noyau :**

Le noyau doit remplir la condition suivante :

$$L_{bas} > \frac{\Delta H}{I_{adm}}$$

Avec:

L_{base} : Largeur de la base du noyau [m] ;

ΔH : Charge hydraulique dans le noyau ;

I_{adm} : Gradient admissible (Pour les grands barrages $I_{adm} = 2$)

La hauteur maximale d'eau au côté amont est égale à 180 m, et en aval elle est null. La largeur de base est donc: $L_{bas} = 29.38$ m.

Vu a la disponibilité des matériaux argileux et pour plus de sécurité on a gardé la dimension de APD : $L_{bas} = 54.5$ m.

Le noyau est symétrique par rapport à l'axe de la digue. Le haut sera placé à lacote (127.60), c'est à dire, 3.7 m sous la crête du barrage. La largeur du noyau en crête est de 8 m et augmente vers la base avec une inclinaison de 4V: 1H.

Pour la construction du noyau on a prévu d'employer les Colluvions argileuses exploitables aux zones d'emprunts AI,AII,AIII,AIV et AV. Ces Colluvions argileusesdeprésentent un indice de plasticité 19.45%,des pourcentages des fins supérieurs à 50% et une perméabilité $K = 1.10^{-9}$.

IV. Dispositif des drains et filtres :

Pour les barrages permanant dépassant 10 à 15 m, il est recommandé la réalisation d'un drain vertical, plaqué contre le noyau, suivie d'un tapis drainant jusqu'au pied du talus aval. [Cours de barrage].

Notre solution consiste à réaliser un drain cheminé suivie d'un tapis drainant d'épaisseur de 2.5m (on à garder la solution adaptée par APD). Un tel drain qui a pour rôle d'intercepter les eaux d'infiltration, et de les faire sortir en aval du barrage sans causer de dégât préjudiciable au barrage, et pour assurer la transition entre le noyau étanche et les recharge (amont et aval). Pour protéger le noyau, on a réalisé un filtre d'épaisseur de 2.5m afin d'empêcher la migration des particules fines.

Pour la construction des filtres/drains on a utiliser les alluvions d'oued Bougdoura (zone B), Ces matériaux, après lavage et criblage, répondent aux exigences :

Pour les filtres il est adopté la composition granulométrique suivante :

$$D_{10,F} = 0.10 - 0.30 \text{ mm}$$

$$D_{15,F} = 0.12 - 0.35 \text{ mm}$$

$$D_{60,F} = 0.40 - 1.20 \text{ mm}$$

$$D_{\max,F} = 2.00 - 6.00 \text{ mm}$$

$$\text{Coefficient d'uniformité } Cu = D_{60,F}/D_{10,F} = 4.$$

$$\frac{D_{15 \text{ filtre}}}{D_{85 \text{ Noyau}}} = 4.5 \leq 4 \text{ a } 5$$

$$\frac{D_{15 \text{ filtre}}}{D_{15 \text{ Noyau}}} = 59.5 \geq 4 \text{ a } 5$$

Les conditions sont vérifiées.

Sachant que $D_{85, \text{ drain}} = 0.06 \text{ mm}$ et $D_{15, \text{ drain}} = 0.026 \text{ mm}$, Entre le drain et le filtre, il faudra respecter :

$$\frac{D_{15 \text{ filtre}}}{D_{85 \text{ drain}}} = 2 < 5$$

$$\frac{D_{15 \text{ filtre}}}{D_{15 \text{ drain}}} = 4.6 > 4$$

Les conditions sont vérifiées.

V. Volume de la digue :

Il existe plusieurs méthodes de calcul du volume de la digue, soit: avec un logiciel (Auto CAD3D) ou manuel avec des formules topographiques.

Les volumes des matériaux constituant la digue selon notre cas sont résumés dans le tableau V.4 récapitulatif ci-dessous :

Tableau V.4 : Le volume des matériaux constituant la digue.

Désignation	Volume des matériaux en m ³
Noyau argileux	237 815
Recharge enrochement	276 123
Recharge en Grès	447 100
Filtre	30 338
Drain	35 404

VI. Conclusion:

La dimension géométrique de la digue du barrage est conçue en fonctions des règles de l'art, de l'abondance des matériaux, la stabilité de ces talus et a des recommandations de la littérature professionnelle. La digue de barrage que nous avons proposé présente les caractéristiques suivantes :

- une pente de 1V:2.5H on amonts et de 1V:2.2 on aval,
- Un noyau central(en matériaux argileux)
- Des recharges en grès et enrochement.

Dans le chapitre suivant nous devons analyser et vérifier la stabilité de la digue qu'on à proposer.

CHAPITRE VI :
Vérification de la stabilité de
la digue de barrage

I. 6 Introduction

La stabilité du barrage en terre dépend de la stabilité au glissement de ces talus sous toutes les sollicitations (statique, pseudo statique et dynamique) qui peuvent survenir. La détermination des conditions de stabilité nécessite des méthodes de mécanique des sols basées sur des études d'équilibre limite.

L'objectif attendu de ce chapitre est de vérifier la stabilité de la digue du barrage (Statique et Pseudo-Statique) suite aux différentes contraintes rencontrées lors des travaux de réalisation du projet utilisant le programme GéoStudio.

II. Programme de calcul

Les calculs seront déroulés avec le programme GéoStudio. Ce dernier est une suite de logiciels permettant la modélisation des massifs quelconques (versants naturels, barrages et digues, quais, talus, remblais, soutènements, ...) et la réalisation de diverses analyses géotechniques.

SEEP/W : Permet de calculer les infiltrations des eaux.

QUAKE/W : Permet de définir le comportement d'un terrain sous l'effet d'un séisme.

SLOPE/W : qui est un module de Geostudio qui réalise le calcul de stabilité des pentes.

Il permet d'optimiser le calcul des coefficients de sécurité dans le cas de ruptures circulaires ou de ruptures polygonales, sans déterminer auparavant la forme de la rupture (centre du cercle, rayon du cercle et point de passage dans le cas de ruptures circulaires). Le calcul en rupture circulaire est en outre réalisable sur l'ensemble des méthodes dites « incomplètes » (Fellenius, Bishop) comme « complètes » (Jambu, Morgenstern & Price, Spencer).

III. Critères de vérification

Pour chaque cas de chargement, un facteur de sécurité admissible est requis. ces valeurs sont précisées en fonction du cas de charge .

Les valeurs de facteurs de sécurité admissibles (F_{ad}) pour l'ensemble des cas étudiés sont représentés dans le tableau(III) suivant:

Tableau III : Facteurs de sécurité

	Cas de charge	facteurs de sécurité admissibles (F_{\min})
Régime transitoire	Fin de construction	1.5
	Vidange rapide	1.3
Régime permanent	Etat stationner (NNR)	1.5
Sismique		1

IV. Cas de charges et Procédure de calcul

La stabilité des ouvrages hydrauliques en terre nécessite des scénarios de chargement différents couplant ou non les actions dues aux matériaux de construction, à la retenue, à vidange rapide, et au tremblement de terre. Les cas de charge statique et pseudo-statiques étudiés sont les suivants :

a) Fin de construction:

Ce cas de charge correspond à l'analyse de la stabilité du barrage à l'état initial des talus et de sa fondation, sous l'effet du seul poids propre des matériaux. Par souci de simplification, il est d'usage de supposer la construction instantanée.

En fin de construction, les pressions interstitielles dans la dige et la fondation, dues aux surcharges des remblais, sont encore élevées ce qui réduit leur résistance au cisaillement. Ce phénomène de génération de pression interstitielle à court terme, dû à la mise en place des remblais, touche notamment les matériaux imperméables. Il est pris en compte dans les études de stabilité par le coefficient de pression interstitielle (R_u). Le calcul de cette phase est effectué par le module 'Slop/w du logiciel GeoStudio 2018 R2'.

b) Etats stationner (Régime permanent) NNR:

En cas de régime permanent, la stabilité de l'ouvrage est vérifiée pour un remplissage du réservoir jusqu'au niveau de la retenue normale, soit 122 m NGA.

Afin de fournir le champ des pressions interstitielles nécessaires pour les calculs de stabilité, une ligne de saturation sous régime normale (RN) est définie.

Pour arriver à cet objectif, on a fait un calcul en élément finis à partir du module 'Seep/w' du logiciel 'Geostudio 2018', ensuite, on a rapporté les résultats obtenues lors de

cette analyse, dans le module Slope/w du même logiciel, pour analyser le comportement de la digue vis-à-vis du glissement.

c) Vidange rapide depuis la retenue normale :

Le cas de vidange rapide pour le barrage de Souk Tleta correspond à la descente du plan d'eau depuis la cote 122 m NGA de la retenue normale, jusqu'à la cote 92 m NGA.

La variation du niveau d'eau dans le réservoir, est suffisamment rapide, pour que la pression interstitielle n'ait pas le temps de se dissiper complètement. C'est le cas notamment, des matériaux imperméables ou semi-perméables. Le temps nécessaire pour vider la retenue, a été estimé à 20 jours.

Afin de calculer la stabilité du talus amont après la vidange rapide, on a introduits les résultats de cette simulation (champ des pressions interstitielles) dans 'Slope/w' (methode de Morgenstren-Price). L'étude suivante présentera le cercle de glissement le plus défavorable, correspondant à $F_{s_{min}}$ pour divers cas de charge de dimensionnement.

d) Cassismique:

La sollicitation sismique génère des mouvements horizontaux et verticaux qui tendent à déstabiliser les remblais. Dans la méthode d'analyse dite "pseudo-statique", cette sollicitation est modélisée en ajoutant aux forces de pesanteur des forces d'inertie ayant une composante horizontale et une composante verticale dont l'intensité est reliée à l'accélération en fondation appelée PGA (PeakGroundAcceleration).

V. Géométrie

Le barrage principal de Souk Tleta, adapté selon les contraintes du site, présente les caractéristiques géométriques suivantes :

- Hauteur sur fondation : 95 mètres,
- Hauteur sur TN : 71.7 mètres,
- Largeur en crête : 12 mètres,
- Talus Amont : 2.2H/1V entre la crête et la cote 82 m NGA,
- Talus Aval : 2.2.H/1V entre la crête et la cote 116 m NGA, 2.2H/1V entre les cotes 116 et 91 m NGA, 2.5H/1V entre les cotes 91 et 75 m NGA,

L'étude numérique est réalisée sur le profil de plus grande hauteur en fond de vallée. Le modèle utilisé est illustré sur la Figure VI.1.

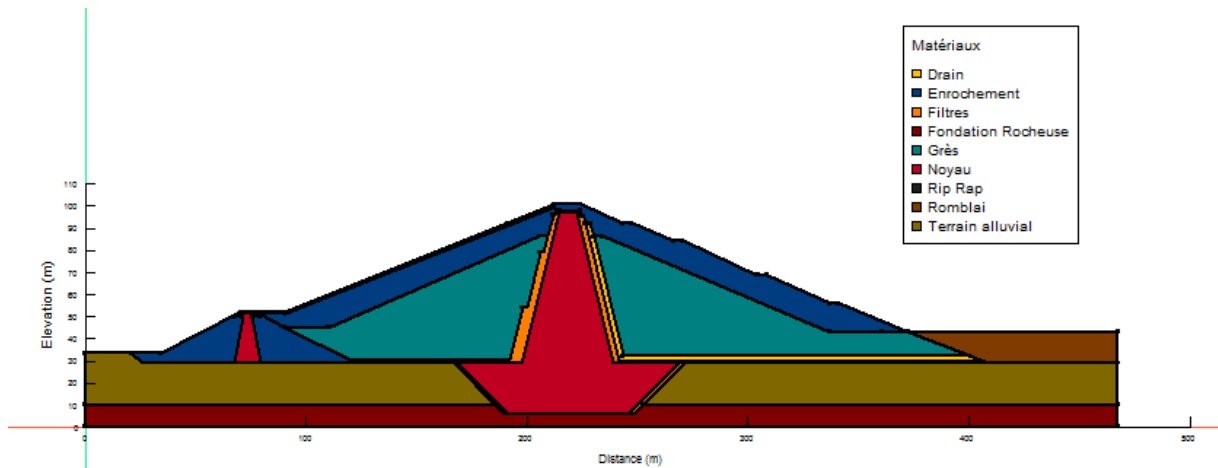


Figure VI.1 : Géométrie du model

VI. Paramètres géotechnique :

Les caractéristiques prise en compte dans les calculs pour les matériaux sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.1: Paramètres géotechniques des matériaux.

Matériaux	Poids volumique humide γ (kn/m ³)	Poids volumique humide γ_h (kn/m ³)	Angle de frottement ϕ' (°)	Cohésion c' (KPa)	Coefficient de pression interstitielle R_u	Perméabilité K (m/s)	K_Y / K_Y
Terrain Alluvial	20.0	21.5	32.0	0	0	1E-06	1
Filtre	19.0	21.0	34.0	0	0	1E-04	0.8
Noyau Argileux	18.0	19.0	18.0	10	0.5	1E-09	0.5
Remblai Aval	16.0	19.0	10.0	0	0	1E-06	1
Rip Rap Amont	20.0	22.5	40.0	0	0	1	1
Grès	19.5	20.0	30.0	0	0	1E-07	1
Enrochements	21.0	22.0	35.0	0	0	1E-03	1

VII. Résultat et interprétation des résultats de la modélisation de la digue :

VII.1 fin de la construction

Dans ce cas, on néglige l'effort sismique. Le barrage ne retient pas d'eau et n'est soumis qu'à son poids propre (poids des remblais, riprap, filtre ...) ce qui risque de perturber sa stabilité vue sa hauteur et sa longueur qui sont assez importantes. Les résultats obtenus par le logiciel 'GEOSTUDIO' sont alors résumés dans les figures suivantes (fig.VI.2, fig VI.3, fig VI.4, fig VI.5):

a. Cas statique

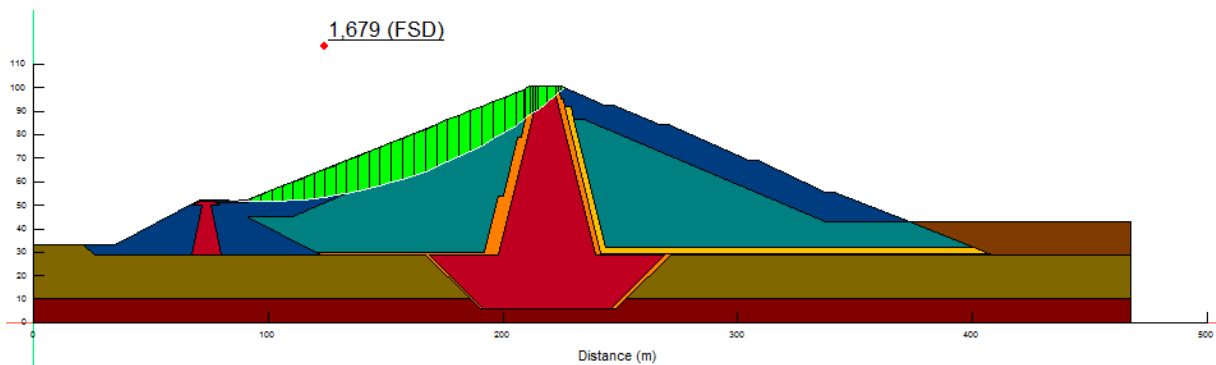


Figure VI.2: Fin de construction talus amont (Fs=1.679).

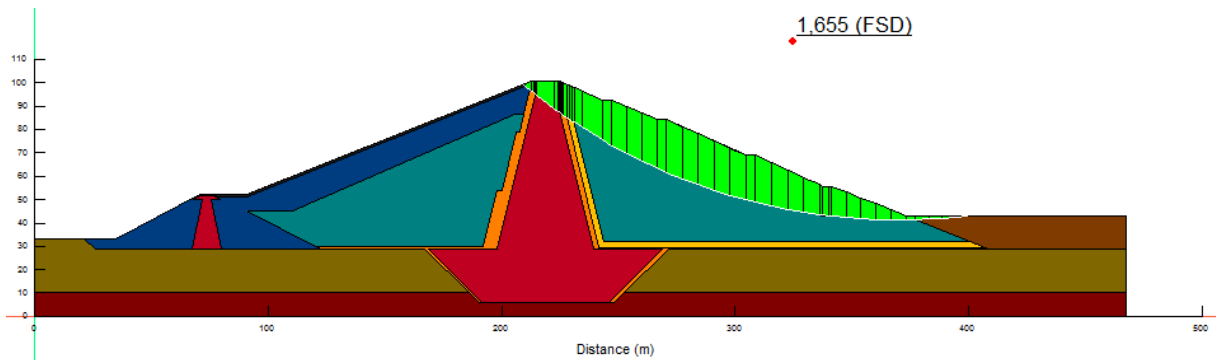


Figure VI.3 : Fin de construction talus aval (Fs=1.655).

Le coefficient de sécurité $Fs=1.655 > 1.2$ condition vérifiée.

b. Cas pseudo-statique:

L'effet sismique durant cette phase a été pris en compte par un calcul pseudo-statique. Le séisme de base d'exploitation (SBE) est caractérisé par une composante horizontale $\delta_h=0.094$ et une composante verticale $\delta_v=0.028$.

Les résultats du calcul pseudo-statique pour la phase de fin de construction, sont présentés dans les figures VI.4 et VI.5 ci-dessous :

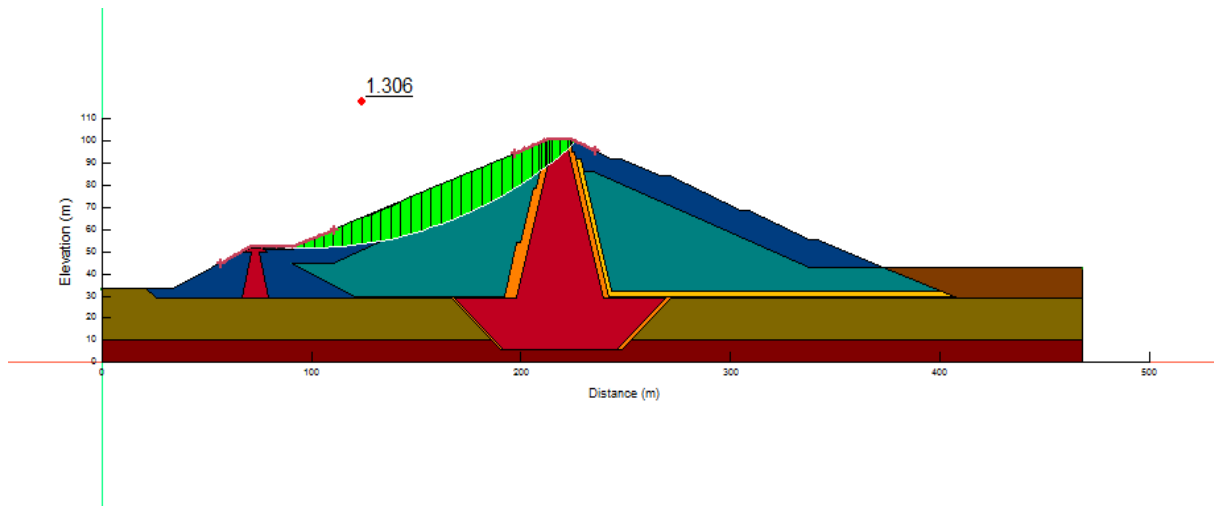


Figure VI.4: Fin de construction talus amont ($F_s = 1.306$).

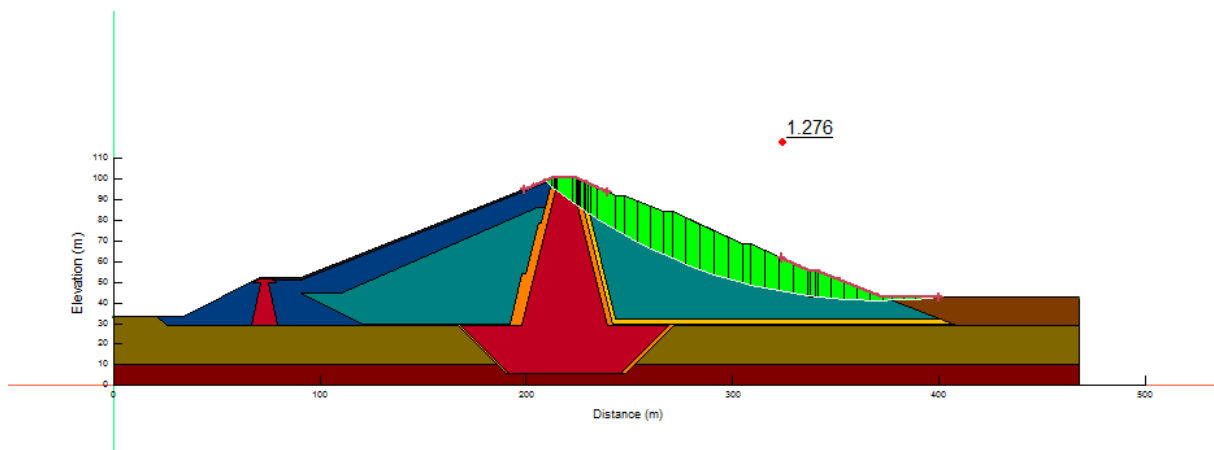


Figure VI.5 : Fin de construction talus aval ($F_s = 1.276$).

Le coefficient de sécurité $F_s = 1.276 > 1.0$ condition vérifiée.

Dans ce cas, le coefficient de sécurité (F_s) est vérifié, d'où notre barrage avant la mise en eau (fin de construction) est stable.

VII.2 Etat stationnaire (NNR)

a. Calcul d'écoulement en régime permanent:

Il s'agit de déterminer le champ des pressions interstitielles établies en sein de la digue durant sa phase d'exploitation, le calcul a été effectué par le module 'Seep/w' et le modèle de référence s'est fait par éléments triangulaires à 3 suivant un maillage raffiné, le logiciel permet la génération automatique du maillage.

Les figures (VI.6 ; VI.7 ; VI.8) représentent respectivement le maillage de calcul, la distribution des pressions interstitielles dans la digue et les fonctions adoptées pour le noyau.



Figure VI.6 : Maillage de calcul 1504 nœuds, 2798 éléments.

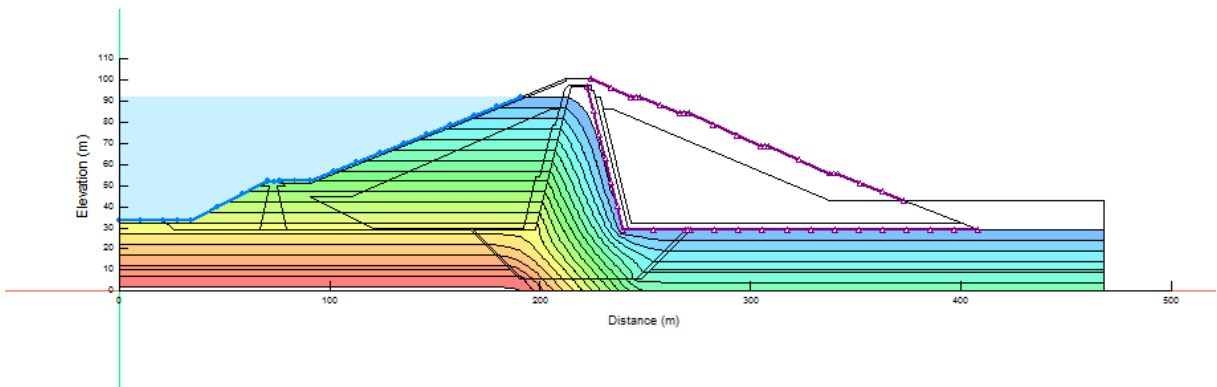


Figure VI.7: Distribution des pressions interstitielles et ligne de saturation en régime permanent.

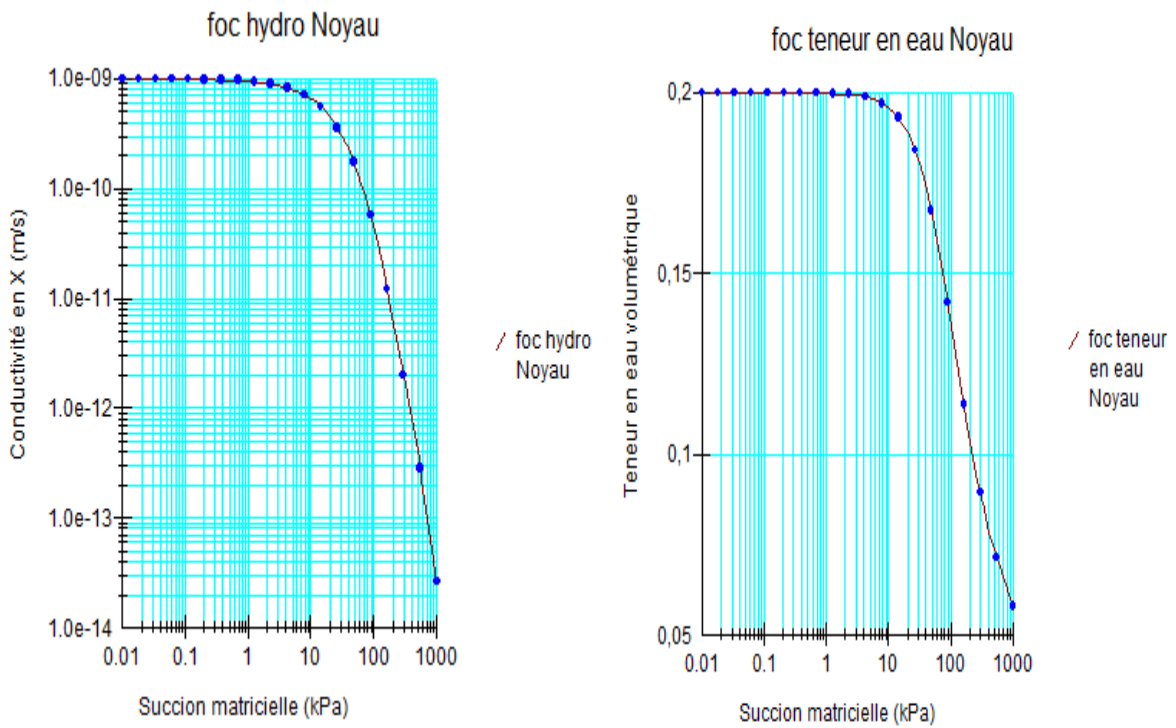


Figure VI.8 : Fonction adoptées pour le noyau .

b. Calcul statique de la stabilité en cours d'exploitation (NNR)

Avec les résultats de calcul hydraulique effectué à l'aide de 'Seep/w' dans la phase précédente, nous avons procédé au calcul de la stabilité en cours d'exploitation avec 'Slope/w' par la méthode de Bishop. Les résultats sont donnés dans les figures VI.8 et VI.9 suivantes.

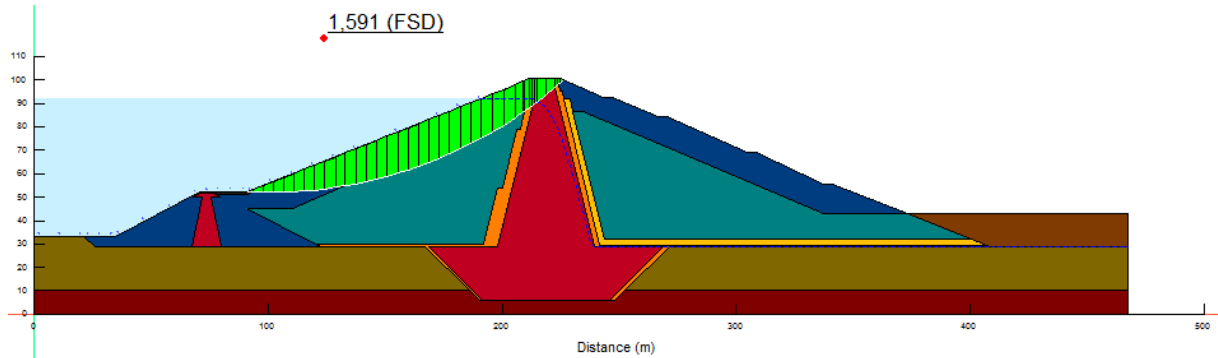


Figure VI.9 : Etat stationnaire talus amont (Fs=1.591).

Le coefficient de sécurité $Fs=1.591 > 1.2$ condition vérifiée.

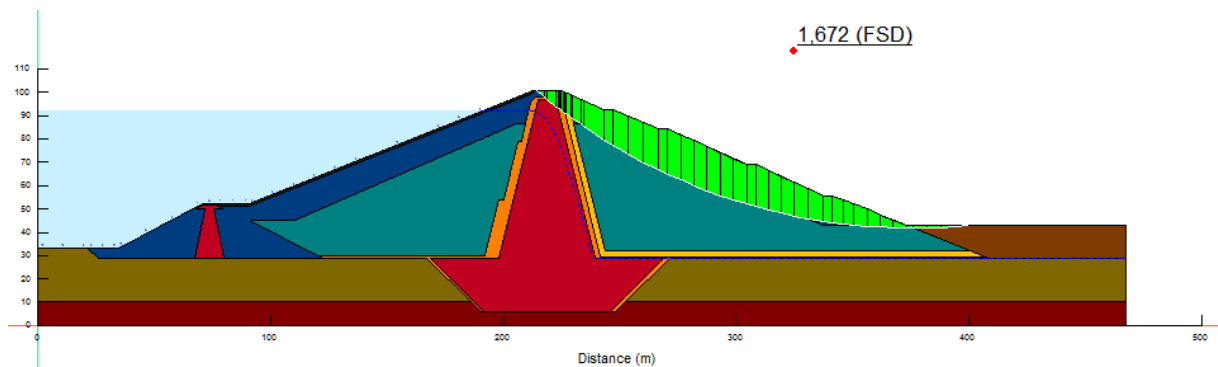


Figure VI.10: Etat stationnaire talus avale (Fs=1.672).

Le coefficient de sécurité $Fs=1.672 > 1.2$ condition vérifiée.

c. Calcul pseudo-statique de la stabilité en cours d'exploitation (NNR)

Nous avons utilisé la méthode pseudo-statique pour avoir une idée globale sur la stabilité de la dige en cas de séisme. Le calcul s'est effectué pour une période de retour correspondante à SBE (Le séisme de base d'exploitation). Les résultats de l'analyse pseudo-statique sont présentés dans les figures VI.10 et VI.11 ci-après.

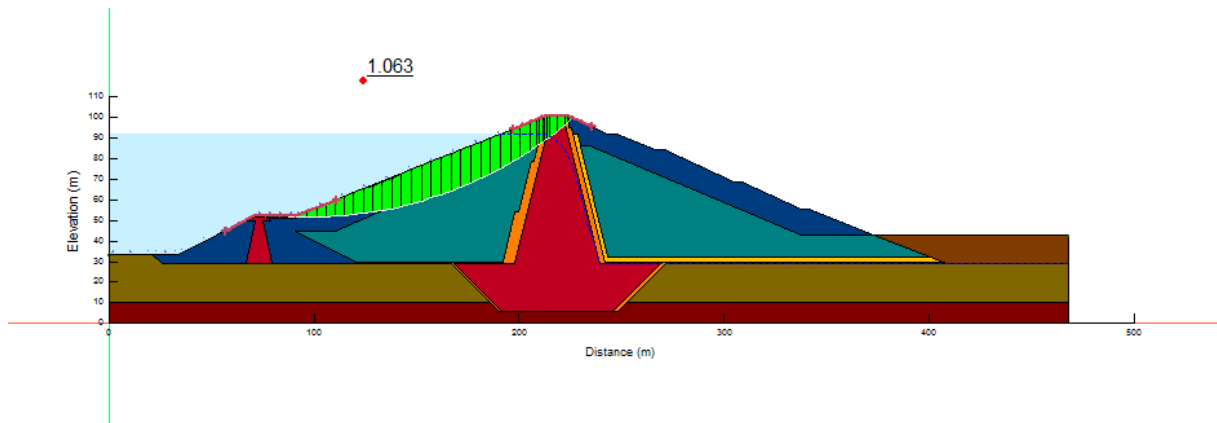


Figure VI.11 : Pseudo-statique talus amont ($F_s = 1.063$)

Le coefficient de sécurité $F_s = 1.063 > 1.00$ condition vérifiée.

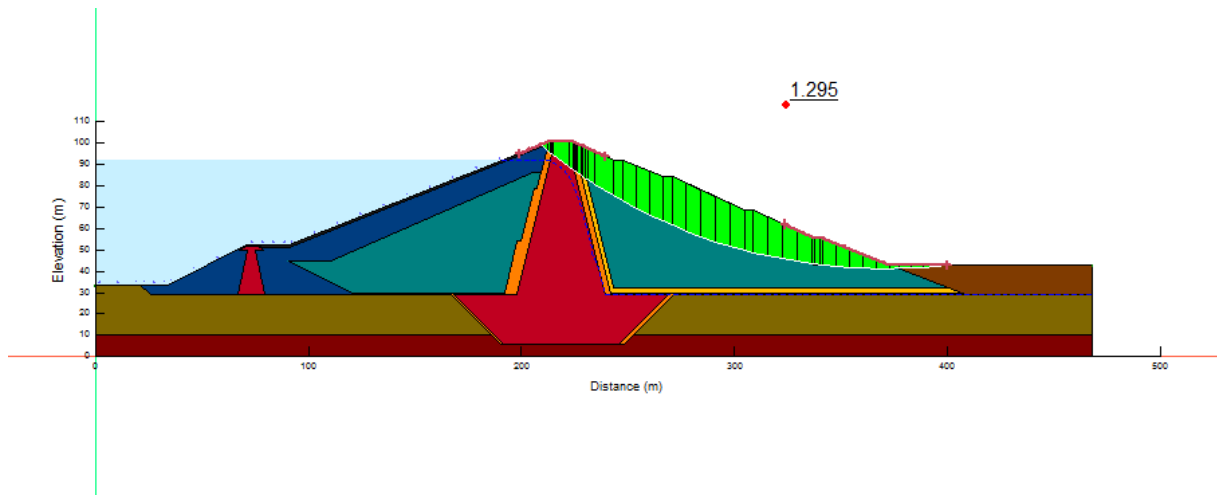


Figure VI.12 : Pseudo-statique talus aval ($F_s = 1.295$).

Le coefficient de sécurité $F_s = 1.295 > 1.00$ condition vérifiée.

Dans ce cas, le coefficient de sécurité (F_s) est vérifié d'où le barrage est stable ; aucun risque n'est à observer lors de sa mise en eau jusqu'au remplissage maximale.

VII.3 Vidange rapide

a. Calcul de l'écoulement en régime transitoire

Après avoir établi l'écoulement en régime permanent, nous avons simulé l'abaissement rapide du plan d'eau par un calcul en éléments finis, 'Seep/w' peut rendre compte des écoulements qui se produisent lors d'une vidange rapide. Pour avoir le cas le plus défavorable nous avons supposé que le rabattement total se produit dans une durée de 24h. On a fixé des incréments allant jusqu'au 30 jours afin de suivre l'évolution de la ligne de saturation après la vidange totale.

La condition limite de la charge hydraulique qui correspond au niveau normal de la retenue a été remplacée par une condition sous forme d'une fonction (voir figure VI.12).

Les résultats de calcul en régime permanent sont introduits comme condition initiale de charge hydraulique / pressions interstitielles.

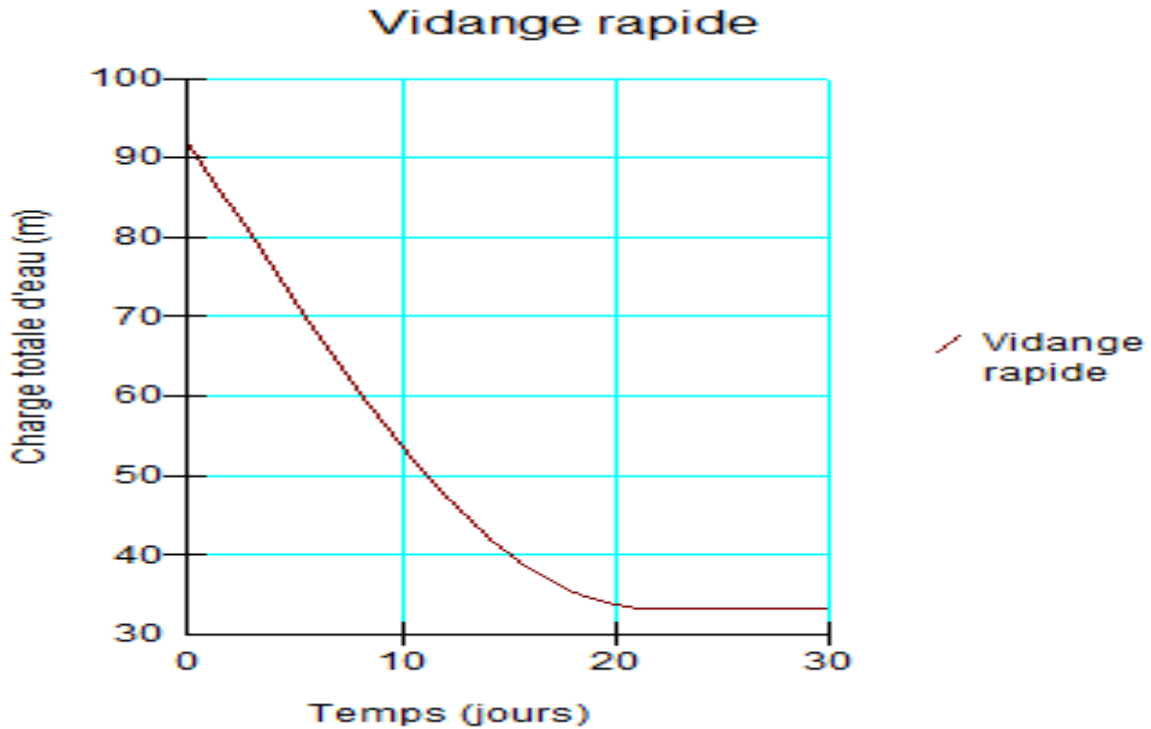


Figure VI.13 : Fonction de condition limite de la vidange rapide.

b. Calcul de la stabilité lors d'une vidange rapide

Souvent la vidange rapide est le cas le plus défavorable pour le talus amont, lorsque le niveau de la retenue baisse rapidement, l'eau contenue dans le corps de la digue, s'écoule en régime transitoire. A l'aide du 'Slope/w' et par la méthode de Morgenstern-Price, nous avons calculé le coefficient de sécurité après la vidange, la figure (VI.13 et V.14) ci-dessous

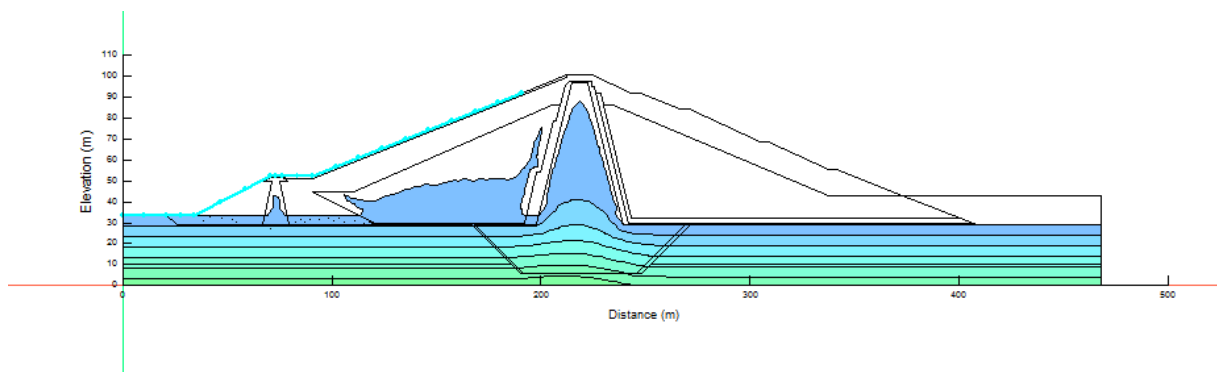


Figure VI.14: Taux de rabattement après 30 jours .

Le graphe suivante représente l'évolution du facteur de sécurité pendant et après la vidange rapide en 30 jours.

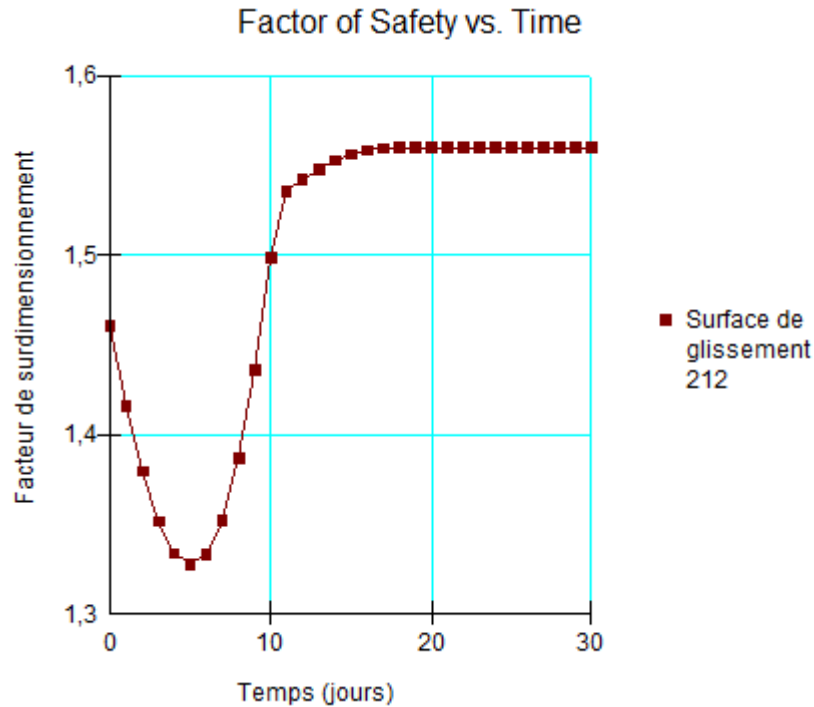


Figure VI.15 : Evolution de facteur de sécurité suite &é a une vidange rapide en 30 jours.

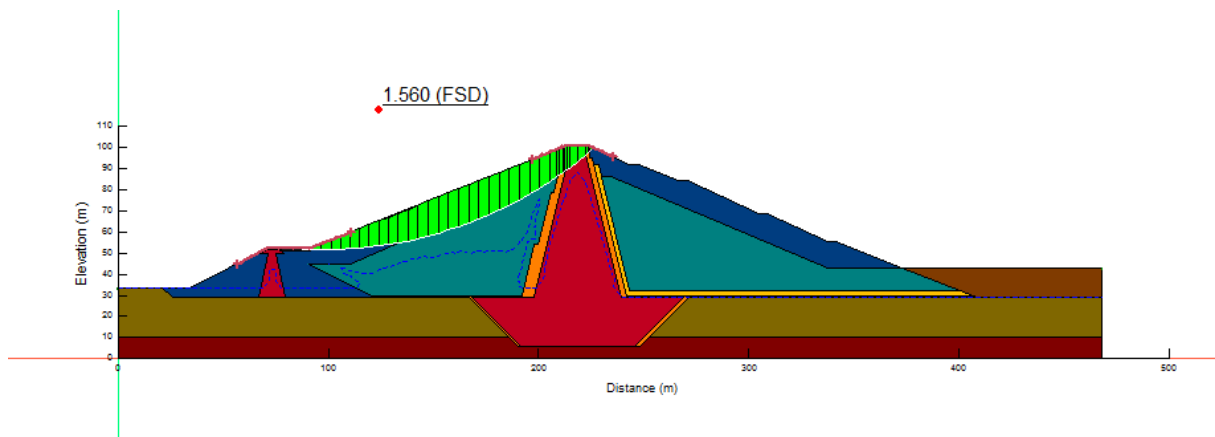


Figure VI.16 :facteur de sécurité le plus critique de talus amont après la vidange rapide.

Le coefficient de sécurité $F_s=1.560 > 1.1$ condition vérifiée.

Dans ce cas, le coefficient de sécurité (Fs) est vérifié nous amène à dire que notre barrage est stable à la vidange rapide, ce coefficient Fs va s'améliorer dans le temps grâce à la consolidation des sols de l'ouvrage.

Note : pour ce type de barrage (les grands barrages) un analyse dynamique est nécessaire.

VIII. Conclusion:

Dans ce travail, nous avons présenté les résultats de l'analyse de stabilité du barrage de Souk Telata, celle relatif à la vérification de la variante ~~qui on a~~ proposé, pour l'ensemble des cas de charges.

Les calculs de stabilité, statique et pseudos statiques, à la fin de construction, fonctionnement normale et l'or de vidange rapides, ont donné des facteurs de sécurité supérieurs aux valeurs requises par les recommandations.

La variante proposée se distingue par des valeurs admissibles dans les conditions statiques, Pseudo-statique et constitue une solution technique avantageuse en matière de coûts et d'économie. Cela permet de confirmer que le barrage est stable sous les sollicitations de projet.

Conclusion générale

L'étude du barrage a nécessité l'intervention de plusieurs disciplines scientifiques complémentaires les unes des autres à cause de la nature complexe et délicate.

Les données environnementales de la région (hydrauliques, géologiques et géotechniques) combinées ensemble constituent le socle de ce projet. Ces données ont influencé toute la structure, notamment le choix des matériaux de son corps, de la fondation et des mesures spécifiques de sécurité. L'auscultation est une partie très importante, elle se résume à la prévention des accidents graves et certaines pour éviter des pertes en vies humaines.

La stabilité d'une digue en terre doit être vérifiée à différents stades de son histoire :

1. Pendant sa construction et en fin de construction.
2. Lorsque l'eau est à son niveau max dans la retenue.
3. Lorsque l'on baisse rapidement le niveau de l'eau dans la retenue (vidange rapide)

Dans ce travail réalisé, ou le but principale, est le dimensionnement de la digue du barrage de Souk-Tleta sur l'oued Bougdoura dans la wilaya de Tizi-ouzouet l'étude de sa stabilité, les études topographiques, géologiques et géotechniques, hydrologiques du site ainsi que la disponibilité des matériaux de construction à proximité, ont conduit au choix d'un barrage en terre de type zoné, comportant principalement deux zones. Un noyau étanche et des épontes constituées de matériau granulaire. La stabilité des talus de la digue par Le logiciel Geostudio 2018 R2, montre que l'ouvrage est stable dans les trois conditions de construction (fin de construction, retenu pleine et vidange rapide).

Références

- ANTON J. SCHLEISS et HENRI POUGATSCH, Les Barrages, Du projet à la mise en service (Edition PAGES BLEUES 2016).
- PATRICK LE DELLIOU, Les Barrages : Conception et Maintenance (ENTPE PRESSE UNIVERSITAIRE DE LYON).
- COMETE FRANÇAIS DES BARRAGES CFBR, Petits Barrages : Recommandations Pour La Conception La Réalisation et Le Suivi. (Edition CEMAGREF 2002).
- COMETE FRANÇAIS DES BARRAGES CFBR, <http://www.barrages-cfbr.en/barrages-a-masque.html>.
- GERARD PHILIPPONNANT & B. HUBERT, Fondations et Ouvrages en Terre (Edition EYROLLES 2016).
- J. MICHAEL DUNCAN, STEPHEN G. WRIGHT, THOMAS L. BRANDON, Soil Strength and Slope Stability (Edition WILEY 2014).
- EARTH AND ROCKFILL DAMS Principles of design and construction CHRISIAN KUTZNER Consulting Geotechnical Engineer.
- Mohamed AMEDDAH, Juba DJOUADI, CONCEPTION ET ANALYSE DE LA STABILITÉ DU BARRAGE EN TERRE, Mémoire de Master en génie civile (Université de Blida 2018).
- Locarno, octobre 1991.
- Cours de barrage (Y.Sail).

ANNEXE A

A.1: Classification des roches selon Deere (1970) RQD :

Tableau 1 : classification des roches selon Deere (1970).

Qualité de la roche	RQD
Excellente	90-100
Bonne	75-90
Moyenne	50-75
Mauvaise	25-50
Très mauvaise	0-25

A.2 Limite d'atterberg :

Tableau 2 : Qualification des sols rocheux en fonction d'indice de plasticité I_p . (XP P94-011).

Etat	Indice de plasticité
Non plastique	$I_p \leq 12$
Peu plastique	$12 \leq I_p \leq 25$
Plastique	$25 \leq I_p \leq 40$
Très plastique	$I_p \leq 40$

Tableau 3 : Qualification des sols en fonction d'indice consistence I_c . (XP P94-011).

Etat	Indice de consistence
Liquide	$I_c \leq 0$
Très molle	$0 \leq I_c \leq 0.25$
Molle	$0.25 \leq I_c \leq 0.50$
Ferme	$0.50 \leq I_c \leq 0.75$
Très ferme	$0.75 \leq I_c \leq 1$
Dur	$I_c \geq 1$

A.3: Poids volumique sec et degré de saturation :**Tableau 4 :** Masse volumique (Kg/m³).

Etat	Masse volumique (Kg/m ³)
Peu dense	$\gamma_d < 1600$
Dense	$1600 < \gamma_d < 1800$
Très dense	$\gamma_d > 1800$

Tableau 5 : Qualification des sols en fonction de Degré de saturation (%).

Etat	Degré de saturation (%)
Non saturé	$S_r < 100$
Saturé	$S_r = 100$

A.4: Compressibilité à l'œdomètre :**Tableau 6 :** Qualification des sols en fonction de compressibilité. Selon (G. SANGLERAT).

Etat	Coefficient de compressibilité Cc
Sol incompressible	$C_c < 0.02$
Sol très peu compressible	$0.02 \leq C_c \leq 0.05$
Sol peu compressible	$0.05 \leq C_c \leq 0.1$
Sol moyennement compressible	$0.1 \leq C_c \leq 0.2$
Sol assez compressible	$0.2 \leq C_c \leq 0.3$
Sol très compressible	$0.3 \leq C_c \leq 0.5$
Sol extrêmement	≥ 0.5

Tableau 7 : Qualification d'un sol en fonction de Coefficient de gonflement.

Etat	Coefficient de gonflement Cg
Non gonflant	$C_g < 0.02$
Peu gonflant	$0.02 < C_g < 0.04$
Gonflant	$0.04 < C_g < 0.25$

A.4: Perméabilités :

Tableau 8 : Classification des sols selon la perméabilité.

Degré de perméabilité K (cm/s)	Coefficient de perméabilité
Très faible à faible	$< 10^{-6}$
Faible à moyenne	10^{-4} à 10^{-6}
Moyenne à élevé	10^{-2} à 10^{-4}
Forte à très forte	$> 10^{-2}$

A.5: Résistance à la compression simple:

Tableau 9 : Qualification de la résistance d'une roche en fonction de la valeur R_c .

Terme descriptif	R_c (MPa)
Très élevée	> 200
Elevé	60 à 200
Moyenne	20 à 60
Faible	6 à 20
Très faible	< 6

A.7 Classification GTR :

Tableau 10 : Classification des sols fins.

Classe A		Tableau 1 - Classification des sols fins				
		Classement selon la nature		Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm > 35%	A Sols fins	VBS ≤ 2,5 ^(*) ou I_p ≤ 12	A₁ Limos peu plastiques, loess, siltis alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	IPI ^(*) ≤ 3 ou w_n ≥ 1,25 W_{OPN}	A₁ th	
				3 < IPI ^(*) ≤ 8 ou 1,10 ≤ w_n < 1,25 W_{OPN}	A₁ h	
				8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 W_{OPN} ≤ w_n < 1,1 W_{OPN}	A₁ m	
				0,7 W_{OPN} ≤ w_n < 0,9 W_{OPN} w_n < 0,7 W_{OPN}	A₁ s A₁ ts	
		12 < I_p ≤ 25 ^(*) ou 2,5 < VBS ≤ 6	A₂ Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes...	IPI ^(*) ≤ 2 ou I_c ^(*) ≤ 0,9 ou w_n ≥ 1,3 W_{OPN}	A₂ th	
				2 < IPI ^(*) ≤ 5 ou 0,9 ≤ I_c ^(*) < 1,05 ou 1,1 W_{OPN} ≤ w_n < 1,3 W_{OPN}	A₂ h	
				5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I_c ≤ 1,2 ou 0,9 W_{OPN} ≤ w_n < 1,1 W_{OPN}	A₂ m	
				1,2 < I_c ≤ 1,4 ou 0,7 W_{OPN} ≤ w_n < 0,9 W_{OPN} I_c > 1,3 ou w_n < 0,7 W_{OPN}	A₂ s A₂ ts	
		25 < I_p ≤ 40 ^(*) ou 6 < VBS ≤ 8	A₃ Argiles et argiles marnées, limons très plastiques...	IPI ^(*) ≤ 1 ou I_c ^(*) ≤ 0,8 ou w_n ≥ 1,4 W_{OPN}	A₃ th	
				1 < IPI ^(*) ≤ 3 ou 0,8 ≤ I_c ^(*) < 1 ou 1,2 W_{OPN} ≤ w_n < 1,4 W_{OPN}	A₃ h	
				3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I_c ≤ 1,15 ou 0,9 W_{OPN} ≤ w_n < 1,2 W_{OPN}	A₃ m	
				1,15 < I_c ≤ 1,3 ou 0,7 W_{OPN} ≤ w_n < 0,9 W_{OPN} I_c > 1,3 ou w_n < 0,7 W_{OPN}	A₃ s A₃ ts	
		I_p > 40 ^(*) ou VBS > 8	A₄ Argiles et argiles marnées, très plastiques...	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique		A₄ th A₄ h A₄ m A₄ s

Tableau 11 : Classification des roches.

roches sédimentaire	Roches carbonatées	Craies	R₁
		Calcaires	R₂
	Roches argileuse	Marnes, argiles pyélites	R₃
	Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches	R₄
	Roches salines	Sel gemme, gypse	R₅
Roches magmatique et métamorphique	Granites, ballastes, andésites, gneiss, schistes métamorphique et ardoisiers		R₆

Tableau 12 : Classification des roches

Classe R

MATERIAUX ROCHEUX
(évolutifs et non évolutifs)

Classement selon la nature		Classement selon l'état hydrique et le comportement				
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs seuils retenus	Sous-classe		
Roches sédimentaires	Roches carbonatées	<p>R₁ Craie</p> <p>La craie est un empilement de particules de calcite dont les dimensions sont de l'ordre de 1 à 10 µm. Cet empilement constitue une structure d'autant plus fragile que la porosité est grande (ou inversement que la densité sèche est faible). Les mesures et constatations de chantier ont montré qu'il y a une corrélation de la porosité de la craie avec la fragilité de l'empilement. Lorsque la craie se trouve dans un état saturé ou proche de la saturation, l'eau contenue dans les pores se communique aux fines produites, leur conférant le comportement d'une pâte, qui s'étend rapidement à l'ensemble du matériau, empêchant la circulation des engins et générant des pressions instantanées dans les ouvrages. Inversement, lorsque la teneur en eau est faible, la craie devient un matériau rigide, très porteur mais difficile à compacter. Enfin, certaines craies peu denses et très humides, peuvent continuer à se fragmenter, après mise en œuvre, sous l'effet des contraintes mécaniques et du gel, principalement.</p>	$pd > 1,7$ $1,5 < pd \leq 1,7$ et $w_s \geq 27$ $1,5 < pd \leq 1,7$ et $20 \leq w_s < 27$ $1,5 < pd \leq 1,7$ et $10 \leq w_s < 20$ $1,5 < pd \leq 1,7$ et $w_s < 10$	craie dense craie de densité moyenne craie peu dense	R _{1c} R _{1ch} R _{1cm} R _{1cs} R _{1cb}	
			<p>R₂ Calcaires rocheux durs</p> <p>Ex : - calcaires grossiers - massifs - tufs et encroûtements, etc...</p>	$pd \leq 1,5$ et $w_s \leq 31$ $pd \leq 1,5$ et $25 \leq w_s < 31$ $pd \leq 1,5$ et $21 \leq w_s < 25$ $pd \leq 1,5$ et $16 \leq w_s < 21$ $pd \leq 1,5$ et $w_s < 16$	calcaire dur calcaire de densité moyenne calcaire fragmentable	R _{2c} R _{2m} R _{2s R_{2b}}
				<p>MDE_s ≤ 45</p>	calcaire dur	R _{2c}
				<p>MDE > 45 et $pd > 1,8$</p>	calcaire de densité moyenne	R _{2m}
				<p>$pd \leq 1,5$</p>	calcaire fragmentable	R _{2b}

Tableau 13 : Classification sols rocheux (suite). (GTR)

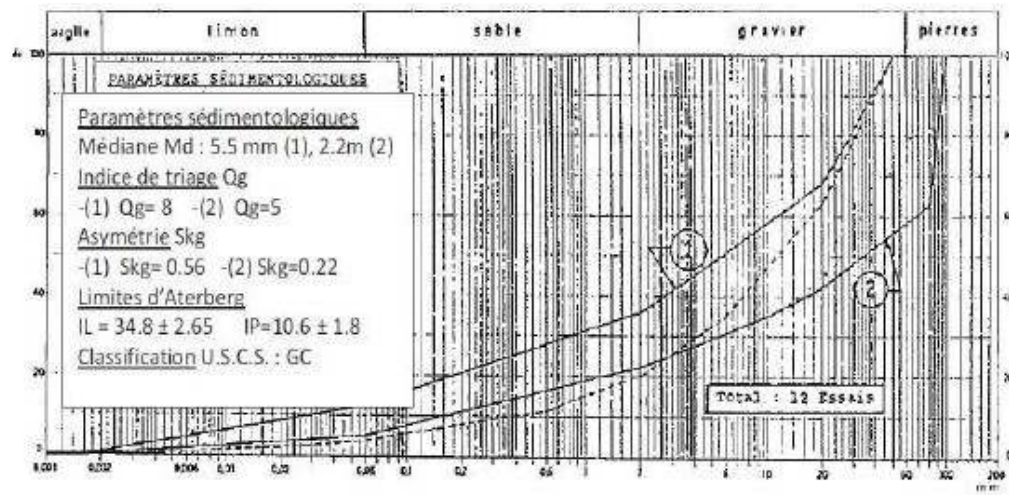
Classe R (suite)

MATERIAUX ROCHEUX (suite)
(évolutifs et non évolutifs)

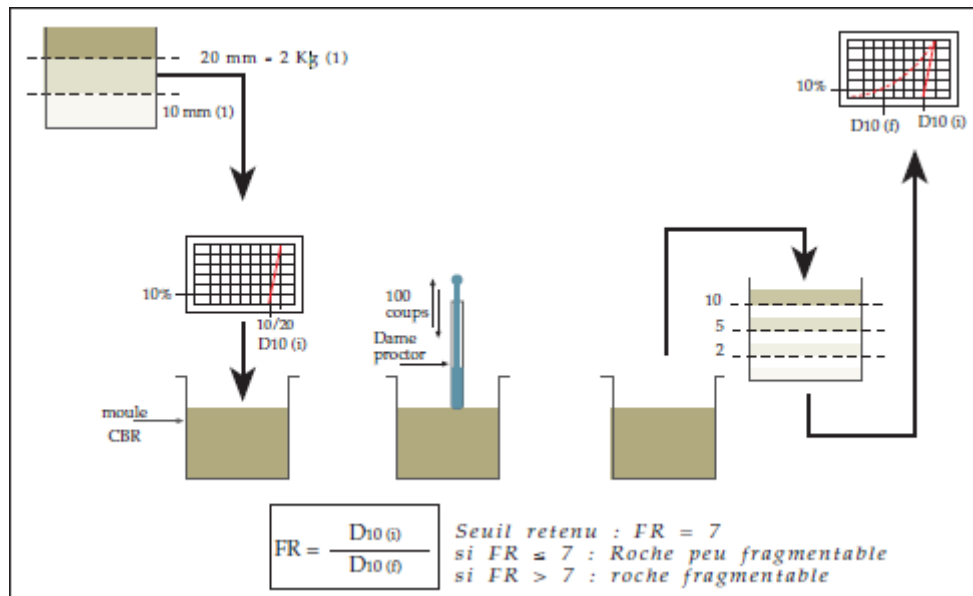
Classement selon la nature		Classement selon le comportement			
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs seuils retenus	Sous-classe	
Roches magmatiques et métamorphiques	<p>R₆ Granite, basalte, trichyte, andalite... Gneiss, schiste métamorphiques, schistes ardoisiers...</p>	<p>Les matériaux entrant dans cette classe peuvent avoir des caractéristiques mécaniques très différentes, en particulier, leur fragmentabilité et leur fragilité peuvent varier de façon nettement (de 10 à 100 fois).</p> <p>Les matériaux de la classe R₆ ont une aptitude élevée de la classe R₆ ne s'attirent pas au sein des ouvrages, sous l'effet des contraintes mécaniques et de l'eau, mais au contraire, ceux de la classe R₆ ont un comportement voisin des classes R_{2c} ou R_{2m}.</p>	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	Roches magmatiques et métamorphiques dures	R _{6c}
			$LA > 45$ ou $MDE > 45$ et $FR \leq 7$	Roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne	R _{6m}
			$FR > 7$	Roches magmatiques et métamorphiques fragmentables ou atélées	R _{6b}

ANNEXE B

B.1 : courbe granulométrique des poudingue



B. 2: Principe de l'essai de Fragmentabilité(FR) et de Dégradabilité(DG)



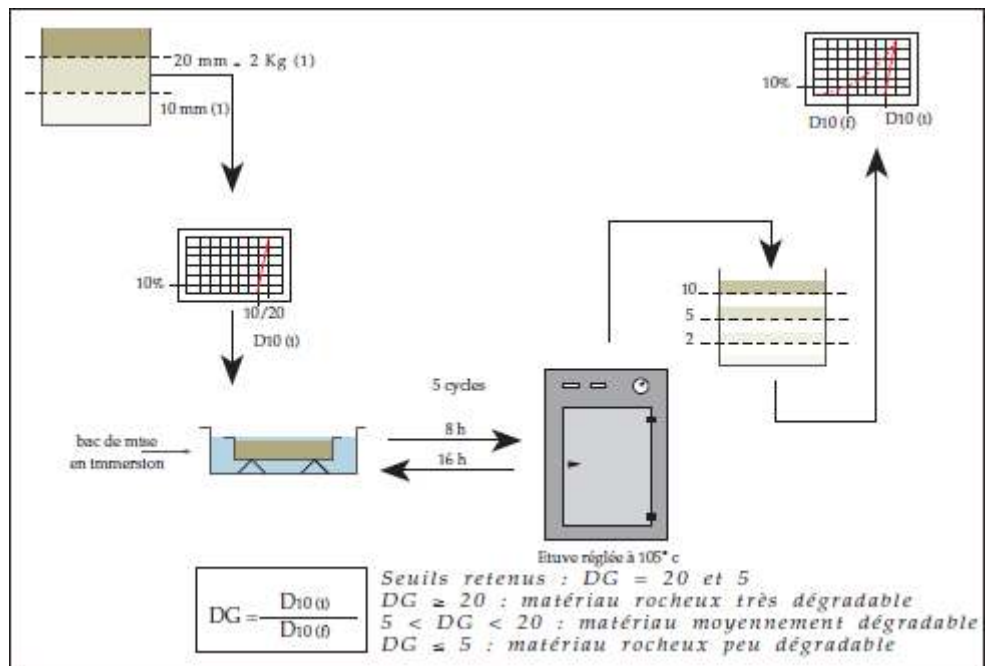


Figure 3 : Principe de l'essai de Dégradabilité(DG).

B.3 : Abaque de plasticité de CASAGRANDE :

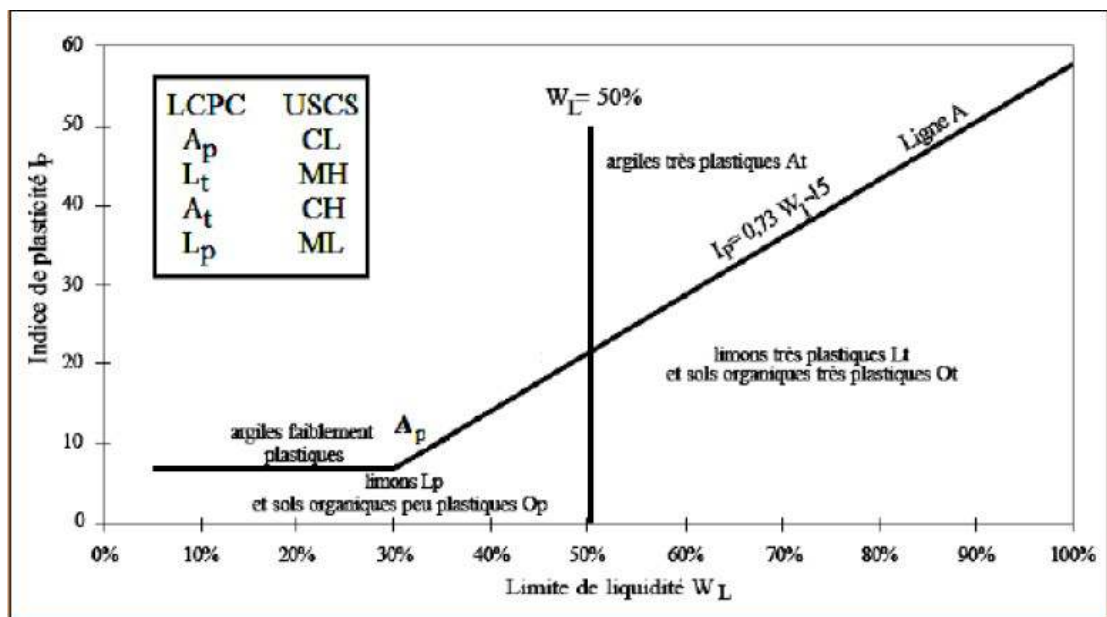


Figure 4 : Abaque de plasticité de CASAGRANDE.

B.4: La variante proposer par APD

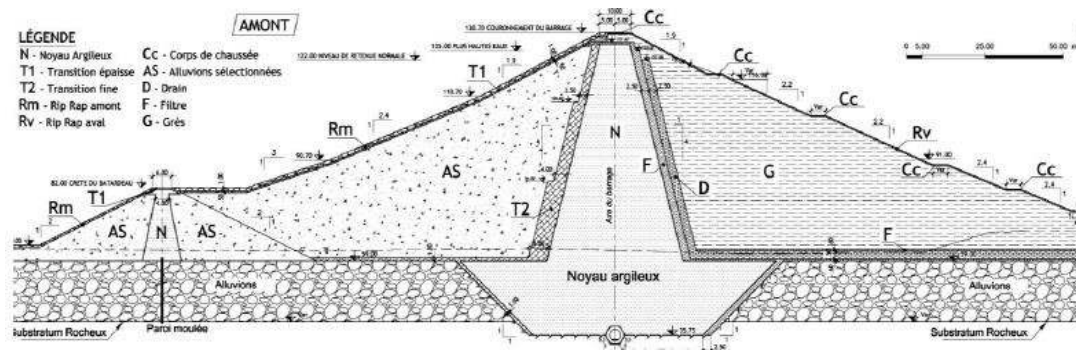


Figure 5 : Coupe type APD.