



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



Faculté des sciences appliquées
Département de Génie civil et hydraulique

Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science et technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources hydraulique

Présenté Par :

Oudrane Abdelghafour et Sagueni Mohamed Salim

Thème :

**Etude et conception du barrage Djedra-Souk
Ahras**

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Mme	Elfergougui	MCA (UKM Ouargla)	Président
Mr	Zerrouki	MCA (UKM Ouargla)	Examineur
Mr	Derdous Oussama	MCA (UMC1 Constantine)	Encadreur
Mr	Boutoutaou	professeur (UKM Ouargla)	Assistant encadreur

Année Universitaire : 2023/2024

REMERCIER

« Le Prophète (paix et bénédiction d'Allah sur lui) dit que celui qui ne remercie pas les gens
ne remercie pas Allah »

Je vous adresse mes sincères remerciements et ma gratitude, mon professeur, pour vos efforts
considérables pour me guider et me guider tout au long de ce projet depuis le début du mandat
de direction « **Oussama Derdous** ».

Je tiens à remercier tout particulièrement le professeur "**Zagait Rachid**" et le professeur
"**Boutoutaou**" pour nous avoir aidés à mener la recherche et leur façon très simple pour nous
a été excellente et nous a fait apprécier la recherche comme jamais auparavant.

Et pour cela, nous vous sommes tous les deux très reconnaissants car vous avez été
une aide sans souhait ni conditions ou en échange d'un mot
de remerciement ne vous suffira pas et fondamentalement vous ne le demandez pas et ne le
demanderez pas.

Je tiens à remercier les membres du Comité, le professeur "**M. Elfergougou**" et le professeur
"**M. Zerrouki**", d'avoir dirigé cette discussion.

Je demande à Dieu de vous accorder le succès dans tous vos chemins scientifiques et
professionnels.

DÉDICACE

Au nom de mon Créateur et facilitateur de mes affaires et de mes affaires sont pour vous toutes les louanges et la gratitude.

Je dédie ce succès à moi-même d'abord et ensuite à tous ceux qui ont cherché avec moi à compléter cette marche tant que vous êtes un soutien sans vie...

De Dieu couronné de prestige et de révérence À qui je porte son nom avec orgueil À celui qui a récolté des épines sur mon chemin pour m'ouvrir le chemin de la connaissance Après la grâce de Dieu Ce que je suis revient à la quête de _my father_ l'homme dont la vie pour être meilleure à travers lui « **Mon cher père** ».

À mon ange dans la vie, au sens de l'amour et au sens de la tendresse, au sourire de la vie et au secret de l'existence, À qui sa prière a été le secret de mon succès et de sa tendresse, il y a un baume chirurgical qui a été ma mère, ma sœur et mon amie, mon premier soutien et ma destination d'où je puise ma force, « **ma mère bien-aimée** ».

À la source de ma force, les supporters, les supporters, mon sol solide et mon mur solide, à ceux qui parient sur mon succès et me rappellent ma force et mes capacités, qui ne me déçoivent pas, peu importe à quel point

je suis faible et lâche, debout derrière moi comme une ombre, peu importe le nombre de plies que j'ai, et ils ont été une aide et un soutien aux bougies qui illuminent mon chemin,

« **mes frères et sœurs** » - et je n'oublie

pas les « **âmes sœurs** » qui ont partagé avec moi les étapes de ce chemin, à ceux qui sont fatigués du chemin, à ceux qui m'ont encouragé à persévérer et à terminer le voyage, aux compagnons des années, reconnaissants envers vous.

Tout merci à Dieu de m'avoir aidé jusqu'à ce moment, merci à Dieu, le Seigneur des mondes, et prières et paix soient sur notre noble prophète.

RÉSUMÉ:

Cette étude vise à concevoir un barrage en terre sur l'oued Djedra dans la wilaya de Souk-Ahras, en Algérie, en détaillant les différentes étapes de dimensionnement. L'analyse hydrologique et géotechnique précise ainsi que l'évaluation des débits normaux et de crue sont effectuées pour déterminer les dimensions appropriées du barrage, y compris la hauteur, la largeur de la crête et les pentes des talus. Des dispositifs annexes tels que les évacuateurs de crue et les systèmes de drainage sont également conçus pour assurer un fonctionnement sécurisé. Ce projet met en évidence l'importance d'une approche méthodique dans la conception des barrages en terre, soulignant leur rôle crucial dans la satisfaction des besoins en eau et le soutien au développement socio-économique de la région.

Barrage, Bassins versants, Stabilité, pente.

Abstract:

This study aims to design an earth dam on the Oued Djedra in the wilaya of Souk-Ahras, Algeria, detailing the various stages of sizing. Precise hydrological and geotechnical analyses, as well as the evaluation of normal and flood flows, are conducted to determine the appropriate dimensions of the dam, including height, crest width, and slope gradients. Additional structures such as spillways and drainage systems are also designed to ensure safe operation. This project highlights the importance of a methodical approach in the design of earth dams, emphasizing their crucial role in meeting water needs and supporting the socio-economic development of the region.

Dam, Watersheds, Stability, slope.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تصميم سد ترابي على وادي جدرة في ولاية سوق أهراس بالجزائر، وذلك من خلال تفصيل مختلف مراحل التصميم. يتم إجراء تحليل هيدرولوجي وجيوتكنيكي دقيق بالإضافة إلى تقييم التدفقات العادية وتدفقات الفيضانات لتحديد الأبعاد المناسبة للسد، بما في ذلك الارتفاع، وعرض القمة، وانحدارات المنحدرات. كما يتم تصميم مرافق إضافية مثل مصارف الفيضانات وأنظمة الصرف لضمان التشغيل الآمن. يبرز هذا المشروع أهمية النهج المنهجي في تصميم السدود الترابية، مؤكداً على دورها الحاسم في تلبية احتياجات المياه ودعم التنمية الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة.

سد، مستجمعات مائية، استقرار، منحدر.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Les avantages et les inconvénients des barrages voûtes	5
Tableau I-2 : Les avantages et les inconvénients des barrages poids	6
Tableau I-3: Les avantages et les inconvénients des barrages à contreforts	7
Tableau I-4 : Les avantages et les inconvénients des barrages enrochement à noyau	10
Tableau II-1:Caractéristiques morphometries:	14
Tableau II-2: Répartition mensuelle des apports liquides :	18
Tableau II-3: dépouillement du levé topographique de la cuvette	19
Tableau II-4: La gravité des pertes résultant de l'infiltration du réservoir	21
Tableau II-5: Répartition des valeurs d'évaporation par mois	21
Tableau II-6: Distribution mensuelle des besoins en eau	22
Tableau III-1: pente des talus en fonction de la nature des matériaux (THERZAGUE).....	34
Tableau III-2:Coordonnées de la parabole de KOZENY	38

LISTE DES FIGURES

Figure I-1: les différents types des barrages	4
Figure I-2: Exemple d'un Barrage voûte (barrage)	5
Figure I-3: barrage en béton (Barrage de Beni Haroun à Mila)	6
Figure I-4: Barrage à contrefort (Barrage d'Erraguene).....	7
Figure I-5: Barrage homogène.....	9
Figure I-6: barrage à noyau central et incliné.....	9
Figure I-7: Barrage à masque amont	10
Figure II-1: Carte topographique du site	14
Figure II-2: Levé topographique de la cuvette	18
Figure II-3: Surface de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau, $S=f(H)$	19
Figure II-4: Volume de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau, $V=f(H)$	20
Figure II-5: Volume des pertes par infiltration en fonction du niveau du plan d'eau, $INF=f(H)$	24
Figure II-6: Hydrogramme de la crue millénaire.....	27
Figure II-7: Dépeint le déversoir du barrage.	27
Figure III-1: La ligne de saturation.....	37

LISTE DES ABRÉVIATIONS

b: Largeur des tranches (m)

C_{Fm} : capacité de la retenue à la fin du mois

C_{Dm} : capacité de la retenue au début du mois

D : déficit d'écoulement (mm)

Es : Erosion spécifique (t/km²/an)

Fs : Coefficient de sécurité

H : Altitude (m)

H_B : La hauteur du barrage

Hd : Hauteur au-dessus du seuil du déversoir

Hmax : Altitude max (m)

Hmin : Altitude min (m)

Hmoy : altitude moyenne du bassin (m)

I_{moy} : la pente moyenne (m/m)

Im : Indice de pente Moyenne

L : Longueur du talweg principal (km)

L_e : la lame d'eau écoulée (mm)

m :Exposant de la parabole, pour les crues pluviales m=2

P : Périmètre du bassin versant (km)

P_{moy} :la Pluie moyenne interannuelle m

Q : Débit (Hm³)

Q_{max} : Débit maximum instantané (m³/s).

Q_t : Débit à l'instant t en heures après le débit de la crue

Q_e : Débit moyen entrant

R : Revanche du barrage en (m)

S : Surface du bassin versant (km²).

Tc : Temps de concentration

Tm: Temps de montée de la crue . ($T_m = T_c$ (Temps de concentration))

T_d : Durée de la décrue

t : temps (heures)

T : durée d'exploitation du barrage avant dévasement

V_e : volume entrant

V_i : volume initial

V_{mort} : volume mort (m³)

V_u : volume utile (Hm³)

V_n : nouveau volume (Hm³)

V_d : volume déversé (Hm³)

V_r : volume restant

V_{NNR} : Le volume de la retenue normale

V_{ep} : volume de l'évaporation. (Hm³)

W_n : Poids de la tranche n

SOMMAIRE

RESUME:	I
LISTE DES TABLEAUX	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES ABREVIATIONS	IV
INTRODUCTION GENERALE	2
I.. CHAPITRE I: GENERALITE SUR LES BARRAGES	3
I.1..Introduction	4
I.2..Différents types de barrage	4
I.2.1..Barrage en béton	4
I.2.2..Les barrages en remblai	8
I.3..Conclusion	11
II.. CHAPITRE II: ETUDE HYDROGRAPHIQUE	12
II.1..Introduction	13
II.2..DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRO-MORPHOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT	14
II.2.1..La Pente Moyenne " I" :	15
II.2.2..Temps de concentration " t _c " :	15
II.3..ESTIMATION DES APPORTS LIQUIDES AU SITE :	16
II.3.1..Déterminer l'apport liquide moyen annuel pour une pluie moyenne interannuelle de 780mm.L'apport liquide moyen annuel est calculé en connaissant la lame d'eau écoulée :	16
II.3.2..Répartition mensuelle des apports liquides :	17
II.4..DEPOUILLEMENT DU LEVE TOPOGRAPHIQUE DE LA CUVETTE :	18
II.5..DETERMINATION DU VOLUME MORT ET DE SA HAUTEUR	20
II.5..Le volume mort d'un barrage est généralement estimé à l'aide de la formule suivante :	20
II.5.2..Tixeront 1960 a proposé la relation suivante pour estimer l'érosion spécifique :	20
II.6..REGULARISATION DE LA RETENUE (BILAN HYDRIQUE)	21
II.6.1..Les données de base nécessaires à la régularisation sont :	21
II.6.2..Volume utile du barrage :	22
II.7..ESTIMATION DES CRUES RARES	25
II.7.1..Débits de pointe des crues fréquentielles :	25
II.7.2..Traçage des hydrogrammes de crues :	26

II.8..LAMINAGE DES CRUES.....	27
II.8.1..REVANCHE ET HAUTEUR DU BARRAGE	30
II.8.2..Détermination de la largeur en crête	31
II.9..Conclusion	32
III. CHAPITRE III: STABILITE DE BARRAGE.....	33
III.1..Définition La pente des talus.....	34
III.2...Protection de l'ouvrage:	35
III.2.1...Protection des talus	35
III.3...Protection par un système de drainage interne:	35
III.3.1..Drain cheminé vertical où incliné vers l'amont	36
III.4...Etude des infiltrations à travers le corps du barrage:	36
III.4.1...La ligne de saturation:	36
III.5..stabilité	Erreur ! Signet non défini.
III.6...Introduction:	38
III.7...Définition du coefficient de sécurité:	39
III.8...Méthodes de calcul de la stabilité:	39
III.9..Méthode des tranches :	40
III.9.1..Calcul stabilité	41
III.10..Conclusion:	46
CONCLUSION GENERALE	47
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	48

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est incontestablement une ressource vitale, jouant un rôle crucial dans le développement économique et social des nations. Dans ce contexte, les barrages sont des infrastructures majeures construites pour répondre à la demande croissante en eau douce. Ils remplissent des fonctions essentielles telles que l'irrigation agricole, la prévention des inondations, la production d'électricité et le stockage de l'eau pour les besoins humains. Parmi les différentes catégories de barrages, les barrages en remblai se distinguent en constituant environ 70 % des installations mondiales. Leur construction à partir de matériaux locaux offre une adaptabilité précieuse, particulièrement dans les régions aux fondations meubles qui ne peuvent pas supporter un barrage en béton.

Les barrages en terre, bien que les plus anciens et économiques, nécessitent une analyse géologique et géotechnique minutieuse pour garantir leur stabilité. La sécurité de ces ouvrages est impérative, nécessitant une conception dimensionnelle capable de résister à toutes les charges et situations opérationnelles. Cette assurance de sécurité est d'abord obtenue par une analyse hydrologique approfondie, permettant de déterminer les apports liquides et solides ainsi que les volumes induits par les crues exceptionnelles. Ensuite, la stabilité statique est vérifiée par le choix judicieux des pentes des talus, tandis qu'une analyse dynamique complémentaire vient renforcer la fiabilité de l'ouvrage. Dans ce contexte, cette étude vise à explorer ces différents aspects, mettant en lumière les exigences et les défis inhérents à la conception et à la construction des barrages en terre.

Dans notre cas, nous avons examiné la conception et la stabilité du barrage de Oued Jedra dans la wilaya de Souk Ahras. Le choix du site dépend essentiellement de plusieurs facteurs tels que le débit, la durée de fonctionnement, la topographie et la géologie. Ces éléments conduisent à la détermination du meilleur emplacement pour le barrage.

Notre étude comprend d'abord un résumé des différents types de barrages, de leurs avantages et de leurs inconvénients. Ensuite, nous avons entrepris une étude approfondie pour déterminer les dimensions du barrage, y compris la détermination hydraulique, le calcul des différents niveaux d'eau, ainsi que la longueur de la crête et la largeur du barrage. Enfin, nous avons examiné la pente des talus et leur protection, le système de drainage du remblai, et l'étude de la stabilité du barrage, utilisant la méthode des tranches (Méthode de Fellenius).

Chapitre I: Généralité sur les barrages

I.1 Introduction

Un barrage est une structure construite en travers d'un cours d'eau pour stopper et retenir l'eau, créant ainsi un réservoir artificiel. Les barrages sont utilisés dans divers domaines : production d'énergie hydroélectrique, irrigation, régulation des crues, approvisionnement en eau potable, navigation, ainsi que pour les loisirs et le tourisme. La forme et la taille des barrages varient, mais leur rôle principal est de réguler le débit de l'eau le long du cours d'eau et de stocker l'eau.

I.2 Différents types de barrage

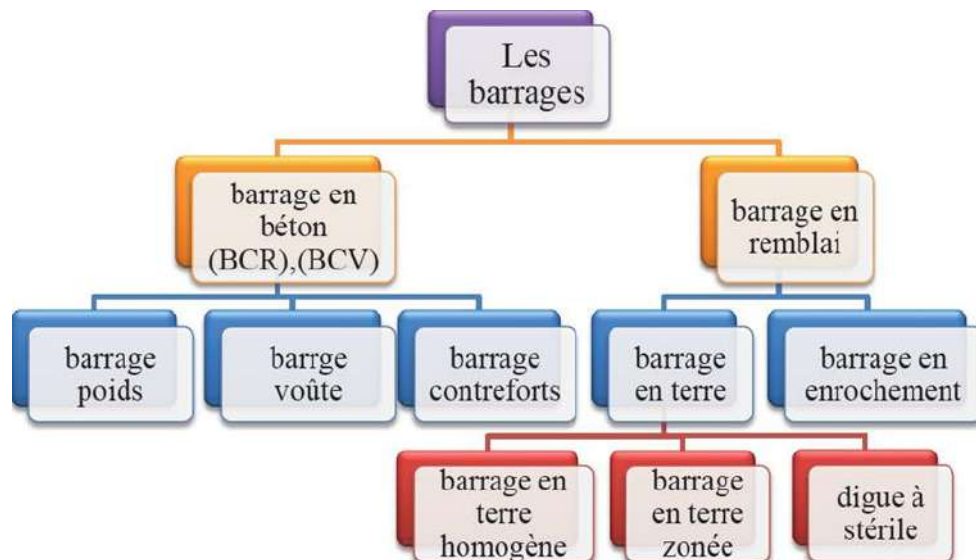


Figure I-1: les différents types des barrages

I.2.1 Barrage en béton

I.2.1.1 Barrages voûtes

Les barrages-voûtes sont des structures en béton conçues pour canaliser la force de l'eau vers les rives rocheuses d'une vallée. Ils conviennent aux réservoirs de petite taille et sont fréquemment utilisés dans les vallées étroites et escarpées. Il est essentiel de vérifier soigneusement la résistance mécanique de la base, en garantissant sa solidité et en veillant à ce que le module de déformation de la roche soit supérieur à celui du sommet.



Figure I-2: Exemple d'un Barrage voûte.

Tableau I-1 : Les avantages et les inconvénients des barrages voûtes

Les avantages des barrages voûte	Les inconvénients des barrages voûte
❖ le béton utilisé est faible. ❖ le volume de l'excavation n'est pas grand. ❖ grande résistance au séisme. ❖ la pression interstitielle (sous pression) au niveau de la fondation est faible à cause de l'épaisseur de la fondation.	❖ grande contrainte appliquée sur le béton et sur les roches. ❖ le tassement est moyen. ❖ l'incorporation de l'évacuateur de crue n'est pas facile. ❖ le gradient hydraulique au niveau de la fondation est important.

I.2.1.2 Barrages poids

En raison de leur capacité à résister à la pression hydrostatique, à la pression des sédiments et aux sous-pressions, les barrages en béton présentent une similarité mécanique avec les barrages en maçonnerie. Il est possible de les diminuer en utilisant des pompes d'injection et des galeries de drainage. Souvent, le calcul de la construction est une solution à la fois technico-économique et économique, évitant ainsi les formes complexes qui entraînent une augmentation des coûts de construction. Afin d'améliorer le contact avec le béton et la résistance au glissement, il est fréquemment employé un cylindre en acier[1].



Figure I-3: barrage en béton (Barrage de Beni Haroun à Mila).

Tableau I-2 : Les avantages et les inconvénients des barrages poids.

Les avantages des barrages poids	Les inconvénients des barrages poids
❖ grande pression sur le béton. ❖ faibles contraintes transmises aux roches. ❖ évacuateur de crues peut facilement être intégré. ❖ le gradient hydraulique au niveau la fondation est faible.	❖ grand volume d'excavation. utilisation du béton très élevée. ❖ refroidissement artificiel pendant la prise du béton. ❖ risque aux tassements et aux renversements, et au séisme si il n y a pas une injection entre les blocs. ❖ la pression interstitielle (sous pression) au niveau de la fondation est importante.

1.2.1.3 Barrages à contreforts

Les contreforts des barrages sont moins exposés aux sous-pressions que les barrages poids et sont plus vulnérables. Un tube en acier en béton et un fruit de 0,5-1/1 sont utilisés pour garantir la stabilité et la pression de l'eau. Ils peuvent être fabriqués de différentes façons avec des compteurs en plan solidaire, avec un cylindre en forme de cylindre pour réduire la pression, ou avec une voûte à faible frottement et à faible épaisseur supportant des compteurs[2].

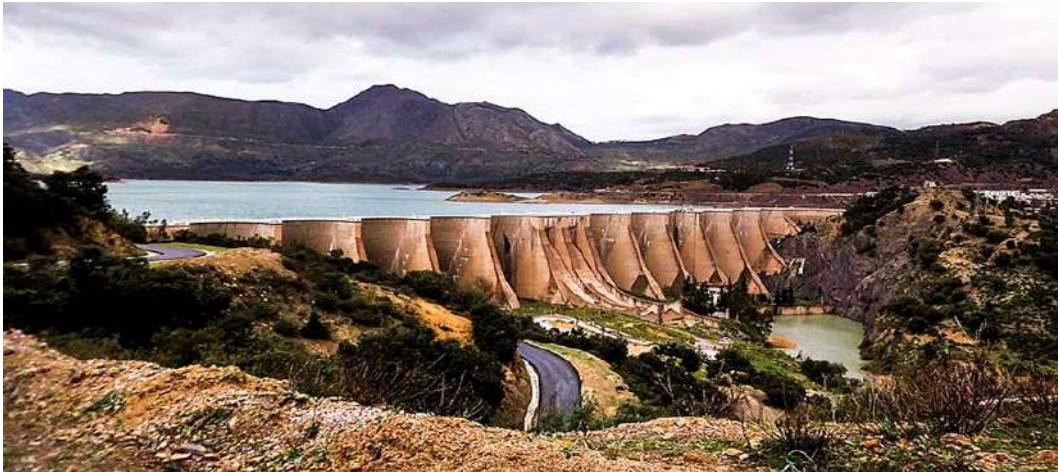


Figure I-4: Barrage à contrefort (Barrage d'Erraguene).

Tableau I-3: Les avantages et les inconvénients des barrages à contreforts.

Les avantages des barrages à contreforts	Les inconvénients des barrages à contreforts
❖ la contrainte supportée par la fondation rocher est moyenne. ❖ le béton utilisé est faible. ❖ le risque du tassement est moyen. ❖ stabilité latérale seulement aux séismes. ❖ faible pression interstitielle au niveau de fondation.	❖ grand risque aux séismes. ❖ faible résistance à la gravité. ❖ le volume de l'excavation est important. ❖ le gradient hydraulique très élevé au niveau de la fondation.

I.2.2 Les barrages en remblai

I.2.2.1 Barrage en terre

Les barrages en terre peuvent être construits avec une variété de matériaux, ce qui les distingue des barrages en béton ou en enrochements dont les composants sont généralement limités à des zones plus restreintes.

I.2.2.1.1 Types des barrages en terre

Les barrages en terre sont classés en trois catégories : les ouvrages en terre homogènes, les ouvrages à noyaux étanches et les ouvrages à masques amont, qui varient en fonction des matériaux et de la méthode d'étanchéité.

I.2.2.1.2 Barrage homogène

Ces dispositifs sont entièrement fabriqués à partir d'un seul matériau, généralement aggloméré, qui assure à la fois les fonctions d'écran et de masse, assurant une étanchéité et une stabilité correctes du remblai.

Les barrages homogènes sont des argiles à faible teneur en plastique avec des caractéristiques hydrauliques et mécaniques qui permettent d'adopter en toute sécurité des pentes d'éboulis en amont et aval, de forme trapézoïdale et un coefficient de perméabilité d'environ 10^{-7} à 10^{-8} m/s, équipées d'un système de drainage aval[1].



Figure I-5: Barrage homogène

I.2.2.1.3 Barrage zoné avec un noyau étanche

Si les matériaux imperméables sont insuffisants pour les barrages, un noyau d'argile est généralement utilisé pour assurer la stabilité. Les recharges, appelées zones perméables, stabilisent le massif et peuvent varier en fonction des conditions de matériaux et de barrages. Le noyau imperméable peut être vertical ou incliné.

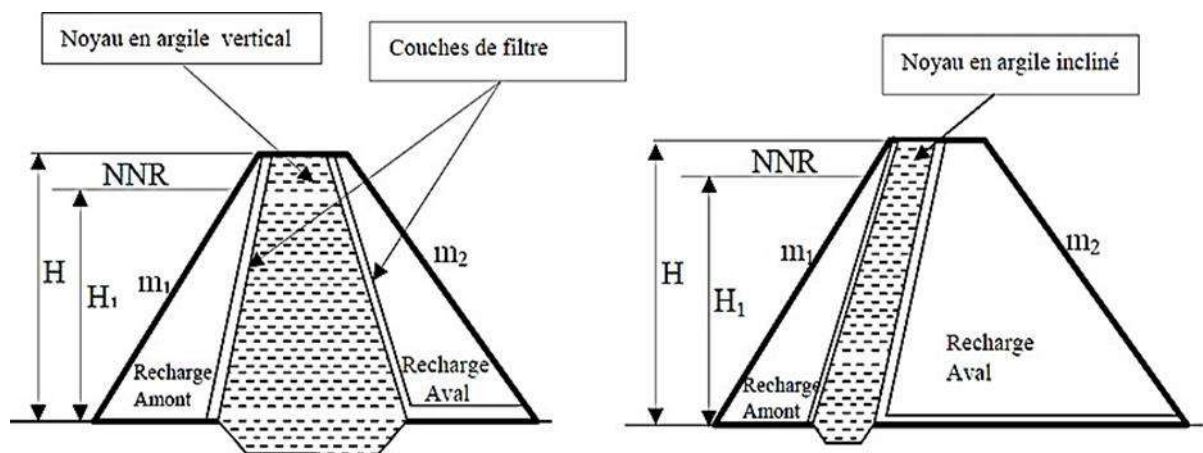


Figure I-6: barrage à noyau central et incliné.

I.2.2.1.4 Barrage à masque amont

Les barrages à masque sont structurés en remblai flexible et utilisés pour garantir la stabilité globale. Un masque placé, également appelé l'écran imperméable, est installé sur le parement amont pour assurer l'étanchéité et l'eau de l'eau. Les barrages sont fabriqués à partir de matériaux quelconques, tels que béton, bitumineux ou géo membrane. La présence de ce masque sur le parement amont a des avantages réparer en cas de détérioration et faciliter les vidages rapides[1].

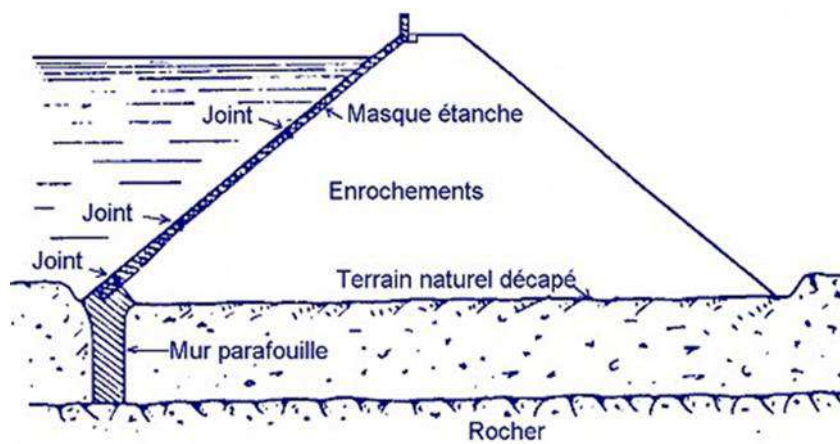


Figure I-7: Barrage à masque amont.

I.2.2.2 Les barrages en enrochement

Un barrage d'enrochement est un barrage cailloux important qui résiste aux forces et est souvent louable dans des zones difficiles d'accès, en raison d'un mouvement minimal. Cependant, il nécessite un dispositif de sécurité d'enrochement pour une sécurité maximale pendant le projet.

Tableau I-4: Les avantages et les inconvénients des barrages enrochement à noyau.

Les avantages des barrages en terre / Enrochement à noyau	Les inconvénients des barrages en terre / Enrochement à noyau
❖ Le corps du barrage est très flexible et adaptable aux conditions de terrain. ❖ Structure très peu sensible aux tassements et aux séismes. ❖ Excavations limitées. ❖ Contraintes très faibles sur le sol de fondation. ❖ Gradient hydraulique faible dans le noyau et dans la fondation.	❖ Volume de matériau à mettre en place très important. ❖ Disponibilité de matériau argileux en grande quantité à proximité du site. ❖ Mise en place du noyau argileux impossible lors de conditions météorologiques défavorables.

I.3 Conclusion

Ce chapitre examine diverses catégories de barrages et critères de sélection du type et de l'emplacement du barrage. Il identifie les avantages et les inconvénients de chaque type, tels que leur aptitude à des fondations non rocheuses et leur capacité à s'adapter à une grande variété de sols, la structure en terre étant la plus sensible.

Chapitre II: Etude hydrologique

II.1 Introduction

Une évaluation correcte de la plage d'inondation est directement liée aux dimensions, à la sécurité et au bon fonctionnement des structures hydrauliques. Dans ce cas, nous menons l'étude hydrologique du bassin versant du Wadi Djadra afin de déterminer certains paramètres de base. Afin de réaliser la construction d'un petit barrage, comme le volume mort, le volume utile, le débit ordonné... etc.

II.2 DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRO-MORPHOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT

Le bassin de l'oued Djedra est situé dans la partie est du Nord de l'Algérie et se rapporte, suivant le relief, au type montagneux.

Les altitudes les plus basses du bassin versant de l'oued Djedra se trouvant dans le parcours aval sont de 500 - 550 m et les lignes de partage des eaux au Nord et à l'Est s'élèvent jusqu'à 1300 - 1550m.

Les principales caractéristiques morphométriques du bassin sont exposées dans Tableau II.1

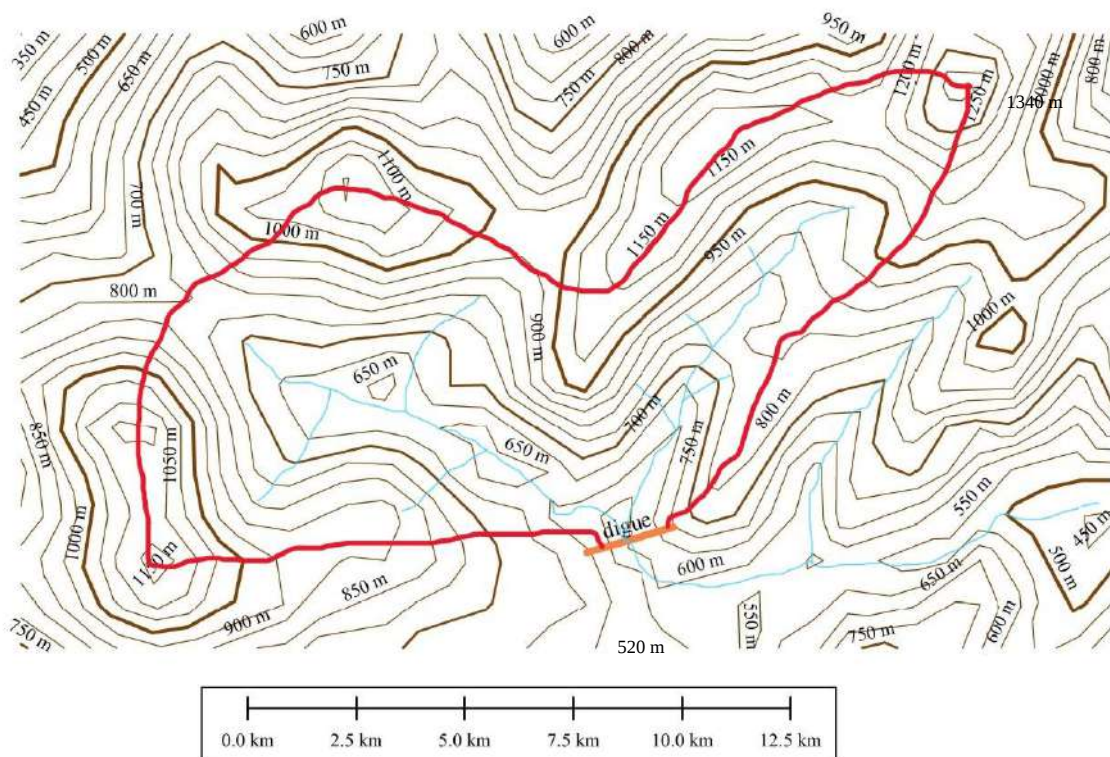


Figure II-1: Carte topographique du site

Tableau II-1: Caractéristiques morphométriques:

Caractéristiques	S	P	L	H _{max}	H _{min}
Valeur	168km ²	55.2km	12.50km	1250m	510m

II.2.1 La Pente Moyenne " I" :

Une valeur approchée de la pente moyenne d'un bassin versant est donnée par la relation suivante :

$$I_{moy} = \frac{(H_{max} - H_{min})}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (II.1)$$

Où

I_{moy} : Pente moyenne (m/m)

H_{max} : Altitude maximale dans le bassin versant

H_{min} : Altitude minimale dans le bassin versant

A.N :

$$I_{moy} = \frac{(1250 - 510)}{\sqrt{1.68 \times 10^8}}$$

$$I_{moy} = 0.057$$

II.2.2 Temps de concentration " t_c " :

C'est le temps que met la particule d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. Selon la formule de Ventura :

$$T_c = 0.1275 * \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I_{moy}}} \dots\dots\dots (II.2)$$

Où

T_c : Temps de concentration (h)

S : Surface du bassin versant (Km²) ;

I_{moy} : Pente moyenne (m/m) ;

A.N :

$$T_c = 0.1275 * \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{I_{moy}}}$$

$$T_c = 5(h)$$

II.3 ESTIMATION DES APPORTS LIQUIDES AU SITE :

l'apport liquide moyen annuel pour une pluie moyenne interannuelle de 780mm. L'apport liquide moyen annuel est calculé en connaissant la lame d'eau écoulée :

$$L_e = P_{moy} - D \dots\dots\dots (II.3)$$

$$A_{moy} = L_e * S \dots\dots\dots (II.4)$$

Où

L_e : la lame d'eau écoulée en (mm).

P_{moy} : la pluie moyenne interannuelle en (mm).

S : la superficie du bassin versant en (Km²).

D : déficit d'écoulement en (mm).

- ❖ Il est possible d'utiliser la formule de **L'ANRH**, pour estimer la lame d'eau écoulée. Elle s'exprime comme suit [3]:

$$L_e = P_{moy} \cdot (1 - 10^{-k \cdot P_{moy}}) \dots\dots (II.5)$$

Où

L_e : la lame d'eau écoulée en (mm).

$K = a - 0.01 \log(s)$

S : la superficie du bassin versant en (Km²).

$a = 0.18$ condition favorable

l'écoulement.

P_{moy} : la pluie moyenne interannuelle en (m).

$a = 0.2$ condition défavorable

l'écoulement

$$A.N : 780 \cdot (1 - 10^{-0.157 \cdot 780})$$

$$L_e = 0.191 \text{ (m)}$$

- ❖ On peut également utiliser la formule de **MEDINGERII**, qui s'exprime comme suit [3]:

$$L_e = 1.024 \cdot (P_{moy} - 0.26)^2 \dots\dots\dots (II.6)$$

Où

L_e : la lame d'eau écoulée en (mm).

S : la superficie du bassin versant en (Km²).

P_{moy} : la pluie moyenne interannuelle en mm (780mm).

$$A.N : 1.024 \cdot (780 - 0.26)^2$$

$$L_e = 0.276 \text{ (m)}$$

❖ Ou bien la formule de **DERI** :

$$L_e = 0.915 \cdot P_{moy}^{2.694} \cdot S^{-0.158} \dots\dots\dots \text{(II.7)}$$

L_e : la lame d'eau écoulée en (m).

S : la superficie du bassin versant en (Km²).

P_{moy} : la pluie moyenne interannuelle en (m).

$$A.N : L_e = 0.915 \cdot 0.780^{2.694} \cdot 168^{-0.158}$$

$$L_e = 0.208 \text{ (m)}$$

Les estimations de la lame d'eau écoulée par les 3 formules suscitées sont présentées dans le tableau ci-dessous

Formule	L'ANRH	MEDINGER II	DERI
L_e	0.191 m	0.276 m	0.208 m

Pour ne pas surestimer ou sous-estimer l'apport moyen annuel on prend la moyenne de ces estimations. Dans notre cas :

$$A.N : L_e = \frac{0.191 + 0.276 + 0.208}{3}$$

$$L_e = 0.225 \text{ (m)}$$

Alors : $A_{moy} = 168 \cdot 0.225$

$$A_{moy} = 37.8 \text{ Hm}^3$$

II.3.1 Répartition mensuelle des apports liquides :

Le caractère général du régime des apports du bassin versant donne les rapports 'apports mensuels/ apports annuels' suivants :

Tableau II-2: Répartition mensuelle des apports liquides :

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul
% A_{moy}	0.3%	0.5%	1.2%	14.0%	31.3%	33.4%	11.3%	4.6%	2.3%	0.8%	0.2%
A_{moy} (Hm ³)	0.1134	0.189	0.454	5.29	11.831	12.625	4.271	1.739	0.869	0.302	0.0756

II.4 DEPOUILLEMENT DU LEVE TOPOGRAPHIQUE DE LA CUVETTE :

La figure suivante présente la carte topographique de la cuvette du barrage.

- Dans un premier lieu, on va tracer la courbe qui représente la variation de la superficie de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau. $S=f(cote)$

- Ensuite on vas s'en servir de ces résultats pour tracer la courbe qui représente la variation du volume de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau $V=f(cote)$

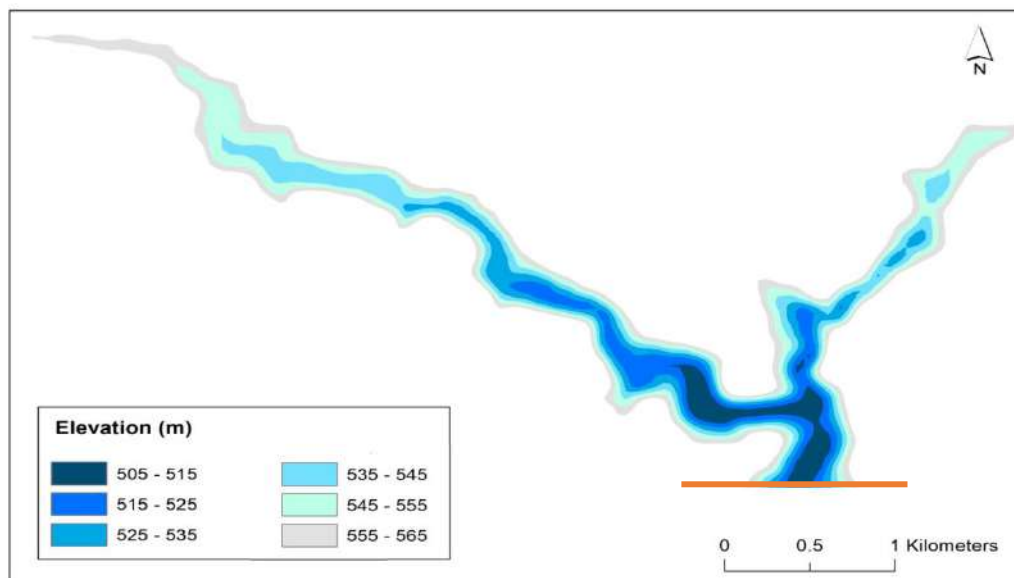
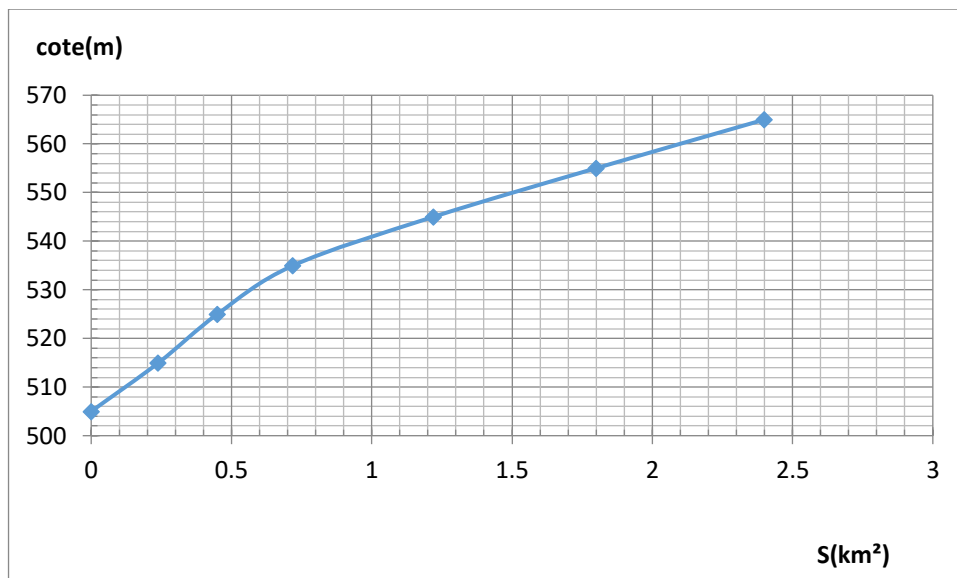
**Figure II-2:** Levé topographique de la cuvette

Tableau II-3: dépouillement du levé topographique de la cuvette

Elévation (m)	S (Km ²)	V ₀ (Hm ³)	V (Hm ³)
505	0	0	0
515	0.24	1.2	1.2
525	0.45	3.45	4.65
535	0.72	5.85	10.5
545	1.22	9.7	20.2
555	1.8	15.1	35.3
565	2.4	21	56.3

Où V_0 est le volume compris entre deux courbes de niveau voisines V est le volume cumulé

**Figure II-3:** Superficie de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau, $S=f(\text{cote})$

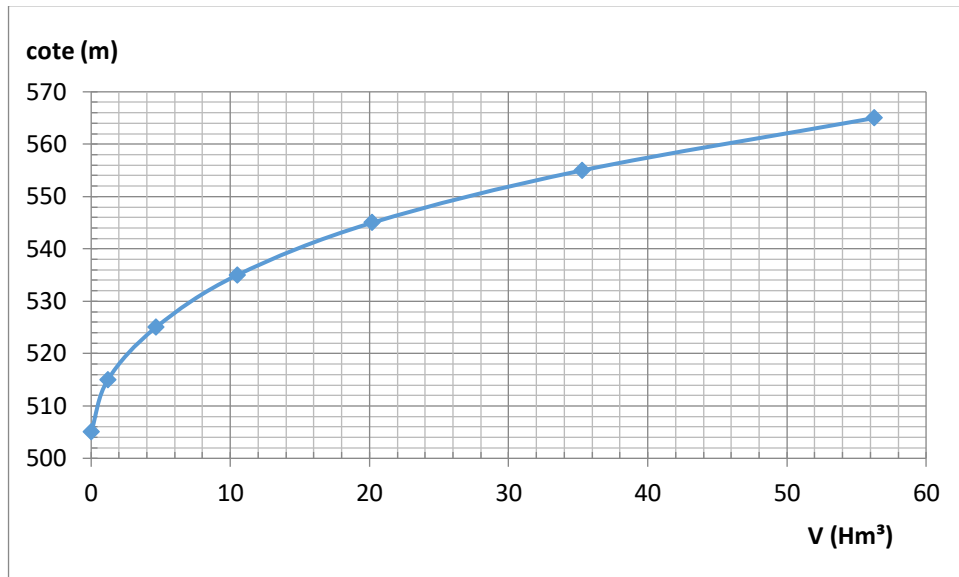


Figure II-4: Volume de la retenue en fonction du niveau du plan d'eau, $V=f(\text{cote})$

II.5 DETERMINATION DU VOLUME MORT ET DE SA HAUTEUR

II.5.1 Le volume mort d'un barrage est généralement estimé à l'aide de la formule suivante :

$$V_{mort} = \frac{E_s * T * S}{\gamma_s} \dots \dots \dots \text{(II.8)}$$

Avec :

V_{mort} : Volume mort (en m^3) ;

E_s : Erosion spécifique (en $\text{t}/\text{km}^2/\text{an}$) ;

T : Durée d'exploitation du barrage avant dévasement (en Année) ; (on prend $T=50$ ans)

γ_s : Poids spécifique du transport solide (en t/m^3) ; (on prend $\gamma_s= 1.5 \text{ t}/\text{m}^3$)

S_{bv} : Superficie du bassin versant (en km^2).

Tixeront 1960 a proposé la relation suivante pour estimer l'érosion spécifique[4]

$$E_s = 354E^{0.15} \dots \dots \dots \text{(II.9)} \text{ Pour les bassins Tunisiens.}$$

$$E_s = 92 * E^{0.21} \dots \dots \dots \text{(II.10)} \text{ pour la région Est Algérien.}$$

$$E_s = 200E \dots \dots \dots \text{(II.11)} \text{ pour la région center Algérien.}$$

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

E: écoulement en mm (L_e).

On peut alors déterminer le volume mort :

$$V_{mort} = 1.585 \text{ Hm}^3$$

Par projection sur la courbe $V=f(H)$ le niveau qui correspond à cette valeur est projection courb II

Donc la hauteur du volume mort est de :

$$H_{v-mort} = 5 \text{ (m)}$$

II.6 REGULARISATION DE LA RETENUE (BILAN HYDRIQUE)

II.6.1 Les données de base nécessaires à la régularisation sont :

II.6.1.1 Répartition mensuelle des apports liquides :

Ces résultats ont été abordés dans notre discussion (Tableau II.2).

II.6.1.2 Répartition mensuelle des pertes par infiltration :

L'intensité des pertes par infiltration depuis la retenue à travers son fond et ses bords établie en fonction de la charge (niveau de l'eau) est donnée par le tableau suivant :

Tableau II-4: La gravité des pertes résultant de l'infiltration du réservoir

Cote, m	510	520	535	540	550	560	570
Pertes (Hm ³)	0.002	0.007	0.043	0.060	0.113	0.177	0.262

II.6.1.3 Répartition mensuelle des pertes par évaporation à partir de la surface de la retenue :

Les répartitions des valeurs de l'évaporation en fonction des mois sont données par le tableau suivant :

Tableau II-5: Répartition des valeurs d'évaporation par mois

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
Evap (mm)	138	92	57	42	44	52	75	85	122	160	209	191
Evap (m)	0.138	0.092	0.057	0.042	0.044	0.52	0.075	0.085	0.122	0.160	0.209	0.191

II.6.1.4 Répartition mensuelle des besoins :

La retenue est destinée principalement à l'alimentation en eau potable. La répartition mensuelle des besoins en eau est donnée par le tableau suivant :

Tableau II-6: Distribution mensuelle des besoins en eau

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
Besoins (Hm ³)	1.25	1.3	1.04	1.2	1.44	1.56	1.74	1.53	1.43	1.36	1.31	1.28

II.6.2 Volume utile du barrage :

Il représente le volume d'eau dans la retenue réellement exploitable (tranche d'eau située au-dessus du volume mort).

Pour évaluer le volume utile d'un barrage il faut faire une étude de régularisation (bilan hydrique) en tenant en compte les apports et les pertes (pertes due à la consommation, l'évaporation et l'infiltration).

À la fin de chaque mois on estime le volume d'eau dans la retenue selon la formule suivante :

$$Cr = V_{\text{initial}} + AL - \sum_{\text{pertes}} (Bi + V_{\text{ev}} + V_{\text{inf}})$$

Avec,

Cr : Capacité de la retenue à la fin du moi ; **V_{initial}** : Volume au début du mois ; **AL** : Apport liquide mensuel ; **Bi** : Besoin mensuel ; **V_{ev}** : Volume évaporé **V_{inf}** : Volume infiltré

Le tableau ci-dessous présente les estimations des bilans hydriques à la fin de chaque mois dans l'éventuelle retenue.

MOIS	C _{DM} (Hm ³)	AL (Hm ³)	VN (Hm ³)	COTE (m)	H _{EV} (m)	S (Km ²)	V _{EV} (Hm ³)	V _{INF} (Hm ³)	Bi (Hm ³)	C _{FM} (Hm ³)	COTE (m)
JAN	1.585	11.831	13.416	539	0.044	0.9	0.0396	0.055	1.44	11.881	536
FEB	11.881	12.625	24.506	548	0.052	0.85	0.0442	0.105	1.56	22.797	547
MAR	22.797	4.271	27.068	550	0.075	1.5	0.113	0.115	1.74	25.1	549
APR	25.1	1.739	26.839	549.6	0.085	1.48	0.126	0.11	1.53	25.073	548.3
MAY	25.073	0.869	25.942	549	0.122	1.45	0.177	0.109	1.43	24.226	548
JUN	24.226	0.302	24.528	548.3	0.160	1.4	0.224	0.107	1.36	22.837	547
JUL	22.837	0.0576	22.895	547	0.209	1.3	0.282	0.1	1.31	21.203	546
AUG	21.203	0.038	21.241	546	0.191	1.28	0.272	0.095	1.28	19.594	543.8
SEP	19.594	0.113	19.707	544.3	0.138	1.18	0.163	0.087	1.25	18.207	542.1
OCT	18.207	0.189	18.405	543.7	0.092	1.11	0.102	0.074	1.3	16.929	541.8
NOV	16.929	0.454	17.383	542.1	0.057	1.07	0.061	0.071	1.04	16.211	541
DEC	16.211	5.29	21.501	546	0.042	1.25	0.053	0.095	1.2	20.153	545

C_{DM} : capacité de la retenue au début du mois.

VN : nouveau volume.

H_{EV} : hauteur d'évaporation.C_{FM} : capacité de la retenue à la fin du mois.

D'après les résultats illustres dans le tableau précèdent :

II.6.2.1 La capacité totale de la retenue est de :

$$C_t = 25.1 \text{ (Hm}^3\text{)}$$

II.6.2.2 Est son niveau normale est de

$$NNR = 549 \text{ (m)}$$

II.6.2.3 Ainsi on peut déterminer le volume utile, tel que :

$$A.N : V_u = 25.1 - 1.585$$

$$V_{utile} = 23.515 \text{ (Hm}^3\text{)}$$

✚ Graphique du tableau II.4 Gravité des pertes dues aux fuites dans les réservoirs

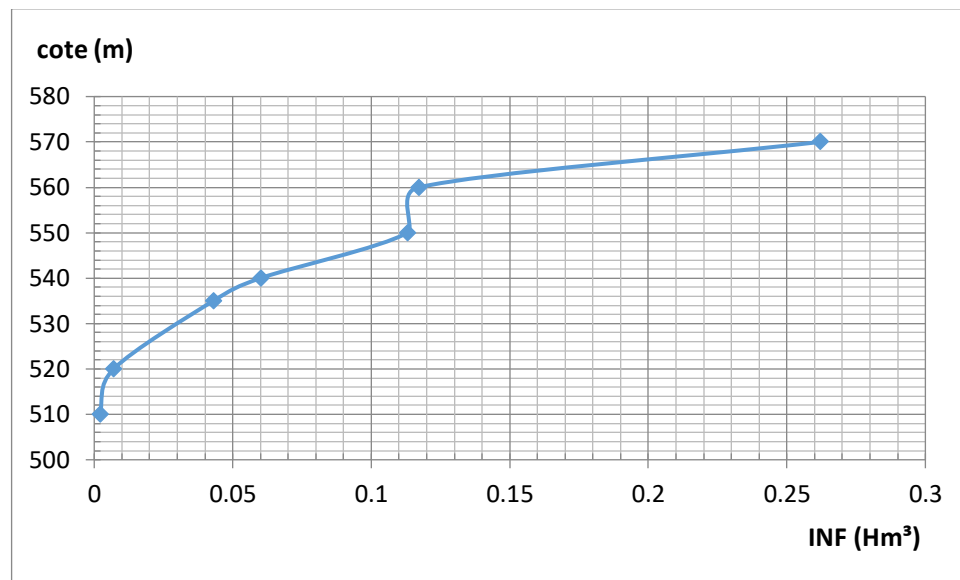


Figure II-5: Volume des pertes par infiltration en fonction du niveau du plan d'eau, $INF=f(cote)$

II.7 ESTIMATION DES CRUES RARES

II.7.1 Débits de pointe des crues fréquentielles :

La formule (**de Mallet et Gautier 1947**) qui a été établie sur la base d'observations faites au Nord de l'Algérie et en Tunisie permet d'estimer les débits de pointe pour des périodes de retour de 50, 100 et 1000 ans[5].

$$Q_{max} = 2 * K * \log(1 + A * P_{moy}) * \frac{S}{\sqrt{L}} * \sqrt{1 + 4 \log T - \log S} \dots \dots \dots \text{(II.12)}$$

Q_{max} : débit max instantané (m³/s).

K et A : coefficients topographiques (on prend **A =20 et K =1**).

P_{moy} : pluie moyenne annuelle (mm).

S : surface du bassin versant (km²).

L : longueur du talweg principal (km).

T : période de retour (ans).

$$Q_{max (50)} = 723.574 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q_{max (100)} = 797.954 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$Q_{max (1000)} = 1006.318 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

II.7.2 Traçage des hydrogrammes de crues :

SOKOLOVSKI[6] a proposé une schématisation géométrique pour le tracé des hydrogrammes de crues. Cette schématisation donne à l'hydrogramme de crue la forme d'une courbe fermée par deux paraboles jointes au sommet dont les équations sont les suivantes :[6]

- ✓ Equation de la courbe de montée :

$$Q_t = Q_{max} \left(\frac{t}{t_m} \right)^m \dots\dots\dots (II.13)$$

Avec :

Q_t : Débit à l'instant t en heures après le début de la crue ($\frac{m^3}{s}$).

Q_{max} : Débit maximal de la crue ($\frac{m^3}{s}$).

t_m : Temps de montée de la crue en heures. L'auteur préconise pour.

Les petits bassins ($t_m = T_c$).

m: Exposant de la parabole, pour les crues pluviales m=2.

- ✓ Equation de la courbe de décrue :

$$Q_{(t')} = Q_{max} \left(\frac{t_d - t'}{t_d} \right)^n \left(\frac{m^3}{s} \right) \dots\dots\dots (II.14)$$

Avec :

$Q_{(t')}$: Débit à l'instant (t') en heures, après la pointe de la crue ($\frac{m^3}{s}$)

t_d : Durée de la décrue en heures. $t_d = \delta \times t_m$, pour les petits bassins peu perméables on prend $\delta=2$ et donc $t_d = 2 \cdot t_m$

n : Exposant de la parabole pour les crues pluviales, n=3.

t (h)	Q (m ³ /s)
0	0
1	40.253
2	161.011
3	362.274
4	644.044
5	1006.318
6	733.606
7	515.234
8	345.167
9	217.364
10	125.790
11	64.404
12	27.171
13	8.051
14	1.006
15	0

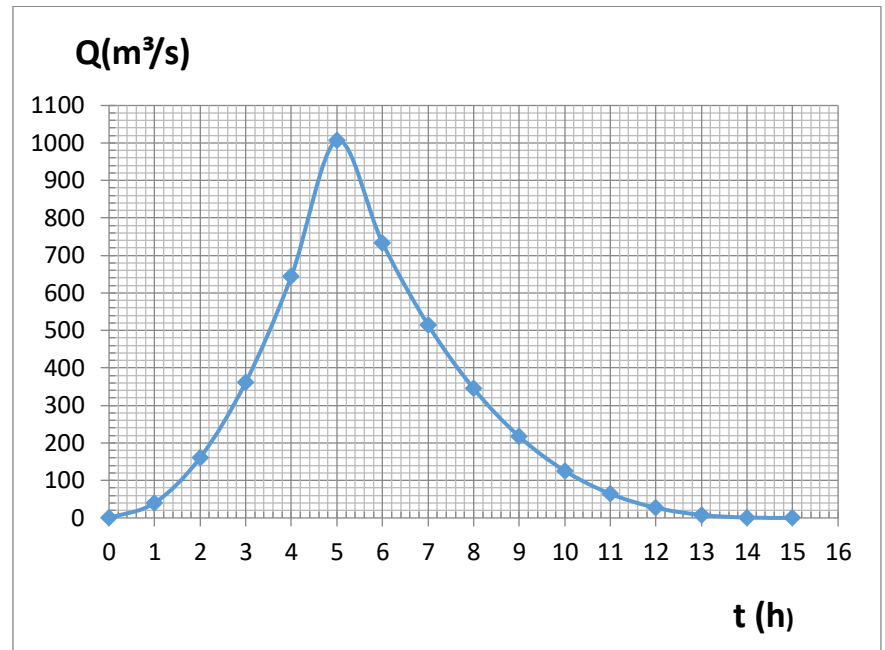


Figure II-6: Hydrogramme de la crue millénaire

II.8 LAMINAGE DES CRUES

En utilisant les informations sur les inondations mentionnées précédemment, nous avons arrondi l'inondation Millénaire (inondation du projet) et établi la hauteur maximale des vagues tombantes (H_{dmx}) ainsi que le niveau d'eau le plus élevé (NPHE).

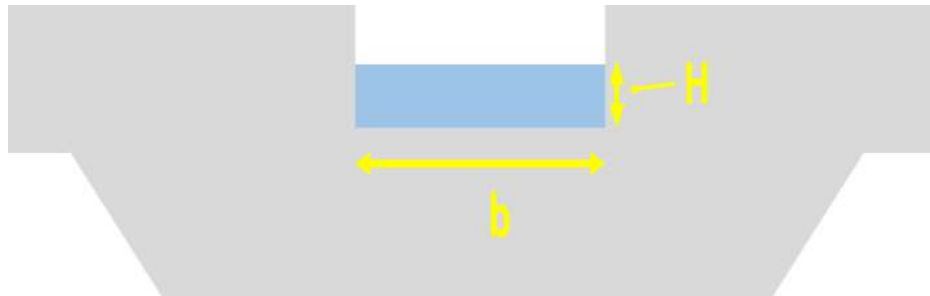


Figure II-7: Dépeint le déversoir du barrage.

Le déversoir choisi est de forme rectangulaire (de type Creager) d'une largeur $b=30\text{m}$, le débit du déversoir se calcule par :

❖ la formule : $Q_d = 0.49 * b * (2g)^{1/2} * H^{3/2}$ (II.15)

✚ D'après les résultats illustrées dans le tableau ci-dessous :

- ✓ La hauteur maximale de la lame déversante :

$$H_{dmx} = 4.7 \text{ (m)}$$

- ✓ Le niveau des plus hautes eaux :

$$\text{NPHE} = 554 \text{ (m)}$$

Dt (h)	t (s)	Qe (m ³ /s)	Ve (Hm ³)	Vi (Hm ³)	Vn (Hm ³)	Cote (m)	Hd(m)	Qd (m ³ /s)	Vd (Hm ³)	Vr (Hm ³)
0-1	3600	20.127	0.072	25.1	25.172	549.1	0.1	2.059	0.007	25.165
1-2	3600	100.632	0.362	25.165	25.527	549.25	0.25	8.139	0.029	25.498
2-3	3600	261.643	0.942	25.498	26.440	549.4	0.4	16.472	0.059	26.381
3-4	3600	503.159	1.811	26.381	28.192	550.2	1.2	85.593	0.308	27.884
4-5	3600	825.181	2.971	27.884	30.855	551.9	2.9	321.561	1.158	29.697
5-6	3600	869.962	3.132	29.697	32.829	553.7	4.7	663.458	2.288	30.541
6-7	3600	624.425	2.248	30.541	32.789	553.5	4.5	621.564	2.238	30.551
7-8	3600	430.206	1.549	30.551	32.1	553	4	520.903	1.875	30.225
8-9	3600	281.256	1.013	30.225	31.238	552.1	3.1	355.393	1.279	29.959
9-10	3600	171.568	0.618	29.959	30.577	551.6	2.6	272.978	1.218	29.359
10-11	3600	95.097	0.342	29.359	29.701	551.3	2.3	227.122	0.818	28.883
11-12	3600	45.788	0.165	28.883	29.048	551	2	184.167	0.663	28.385
12-13	3600	17.611	0.063	28.385	28.448	550.4	1.4	107.860	0.388	28.06
13-14	3600	4.529	0.016	28.06	28.076	550.1	1.1	75.120	0.270	27.806
14-15	3600	0.503	0.002	27.806	27.808	550	1	65.234	0.235	27.573
15-16	3600	0	0	27.573	27.573	549.95	0.95	60.291	0.217	27.356
16-17	3600	0	0	27.356	27.356	549.9	0.9	55.594	0.200	27.156
17-18	3600	0	0	27.156	27.156	549.85	0.85	51.026	0.184	26.972
18-19	3600	0	0	26.972	26.972	549.8	0.8	46.591	0.168	26.804
19-20	3600	0	0	26.804	26.804	549.7	0.7	38.134	0.137	26.667
20-21	3600	0	0	26.667	26.667	549.6	0.6	30.262	0.109	26.558
21-22	3600	0	0	26.558	26.558	549.55	0.55	26.559	0.096	26.462
22-23	3600	0	0	26.462	26.462	549.5	0.5	23.021	0.083	26.379
22-24	3600	0	0	26.379	26.379	549.45	0.45	19.656	0.071	26.308

Qe: Débit moyen entrant. Ve: volume entrant. Vi: volume initial. Vn: nouveau volume. Vd: volume déversé

Hd: hauteur au-dessus du seuil du déversoir. Qd: débit capable du déversoir. Vr: volume restant.

II.8.1 REVANCHE ET HAUTEUR DU BARRAGE

La revanche est la distance entre le niveau des plus hautes eaux et le la crête du barrage, elle sert à éviter que les eaux ne débordent pas sur la crête du barrage sous l'effet des vagues.

Pour la détermination du niveau de la crête de la digue, on peut utiliser la formule de (**MALLET ET DE PAQUANT**) :

$$R_v = h_v + \frac{V_v^2}{2g} \dots\dots\dots (\text{II.16})$$

Avec :

$$h_v = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} F^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (\text{II.17})$$

$$V_v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} h_v \dots\dots\dots (\text{II.18})$$

Où :

RV : revanche (m).

F : longueur maximale de la surface d'eau du lac en suivant la direction du vent (km).

On l'appelle « Fetch » ; h_v : hauteur de la vague (m).

V_v : vitesse de propagation de la vague (m/s) et g : accélération de la gravité ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

F	h_v	V_v	R_v
12.5 (km)	1.641 (m)	2.62 (m)	2.03 (m)

La hauteur d'un barrage est déterminée selon la relation suivante:

$$H_B = H_{NNR} + H_{dmax} + R_v \dots\dots\dots (\text{II.19})$$

H_{NNR} : Hauteur correspondante au niveau normale de la retenue (m)

H_{dmax} : Hauteur maximale de la lame déversante (m)

A.N $HB = 39 + 4.7 + 1.983 = 45.683 \text{ (m)}$

On trouve alors

$$HB \simeq 46 \text{ (m)}$$

II.8.2 Détermination de la largeur en crête

* Formule d'E.F.PREECE : $b = 1.1\sqrt{H_b} + 1 \dots \dots \dots \text{(II.20)}$

A.N: $b = 1.1\sqrt{46} + 1$

On trouve alors

$$b \simeq 8 \text{ (m)}$$

II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu identifier les caractéristiques essentielles du bassin versant alimentant le barrage étudié, suite au processus de sélection du site. Sur cette base, une étude hydrologique détaillée a été menée pour déterminer les apports solides et liquides dans différents scénarios, en tenant compte de divers paramètres climatiques et anthropiques tels que le vent et l'évaporation. Cette étude a permis de déterminer la hauteur du barrage que l'on prévoit de le construire sur l'Oued Djerda à Souk-Ahras.

Chapitre III: Etude de Stabilité

III.1 Définition La pente des talus

La pente du talus est la pente qui résulte de la hauteur sur sa projection horizontale à la surface du sol. Elle est gouvernée par les propriétés mécaniques du massif et de ses fondations. En général, pour la conception de la pente des parements, on préconise des pentes qui semblent idéales, compte tenu de la nature des matériaux de construction et de la hauteur du barrage. Même si les pentes recommandées suivantes le sont, elles doivent être confirmées par une analyse de stabilité. Par exemple, le tableau suivant nous donne quelques valeurs[7].

Tableau III-1: pente des talus en fonction de la nature des matériaux (THERZAGUE).

Matériaux de remblai (corps d'appui)	Elément étanche	Pente amont	Pente aval
Enrochements	Noyau central	1 : 1.80	1 : 1.80
	Noyau incliné	1 : 2.10	1 : 1.80
	Masque amont	1 : 1.50	1 : 1.40
Alluvions perméables	Noyau central	1 : 2.00	1 : 2.00
	Noyau incliné	1 : 2.30	1 : 2.00
Alluvions fins (moins perméable)	Noyau central	1 : 3.00	1 : 2.50
	Noyau incliné	1 : 3.30	1 : 2.50
Digue homogène		1 : 3.00	1 : 3.00

Notre barrage est homogène avec une grande proportion d'argile et une hauteur de 46 mètres, donc selon le tableau (III-1), les pentes des barrages sont, Sachant que nous avons pris la même pente des deux côtés :

- 1/3 pour le talus amont ;
- 1/3 pour le talus aval.

III.2 Protection de l'ouvrage :

III.2.1 Protection des talus

Lors de la construction du barrage en terre, les talus amont et aval doivent être protégés contre l'érosion causée par les vents et les pluies.

La protection de la digue contre le renard et la résurgence est également essentielle pour assurer la stabilité du barrage.

III.2.1.1 Talus aval

Le talus inférieur est couvert d'une couche de terre végétale d'une épaisseur de 15 cm. Toutefois, les infiltrations d'eaux peuvent également représenter un risque pour la stabilité de l'ouvrage, ce qui justifie la présence d'un drain aux pieds de la digue.

III.2.1.2 Talus amont

Ce versant est sécurisé contre les vagues en utilisant une couche d'enrochement (pour protéger les pierres) ou en utilisant un revêtement imperméable (comme du béton bitumineux). Si le terrain est perméable ou présente une grande variabilité hydraulique (digue ou sol de fondation), l'écran peut être placé en parement du talus amont et éventuellement prolongé verticalement à travers la fondation jusqu'au centre de la digue.

III.3 Protection par un système de drainage interne :

Il est composé de matériaux de drainage placés en contact avec le sol de fondation en partie aval sur une distance allant de 50 % à 70 % de l'emprise totale du corps de la digue à sa base. L'anisotropie hydraulique du corps de la digue K_h/K_v (rapport des coefficients de perméabilité horizontale et verticale) joue un rôle crucial dans l'efficacité du tapis drainant. Elle est maximale lorsque celui-ci est isotrope ($k_h/k_v = 1$).

III.3.1 Drain cheminé vertical où incliné vers l'amont

Un tapis drainant horizontal est ajouté à ce type de drain. La totalité du débit d'infiltration est interceptée, peu importe l'anisotropie du corps de la digue. A l'aval du drain, il n'y a aucune pression interstitielle, ce qui évite toute résurgence et érosion agressive.

III.4 Etude des infiltrations à travers le corps du barrage :

- Les infiltrations dans les barrages en terre doivent être abordées sous trois angles différents où on devait aboutir à :
- La détermination de la ligne de saturation.
- La détermination des pressions interstitielles.
- Le calcul du débit de fuite.

III.4.1 La ligne de saturation :

La ligne de saturation correspond à la ligne où la pression hydrostatique est nulle, également connue sous le nom de (ligne phréatique).

Selon les caractéristiques des matériaux de construction, elle est calculée en se basant sur la parabole de KOZENY, ce qui nous permet de déterminer si la partie saturée d'eau du barrage est sèche ou humide.

Grâce à son tracé, il est possible d'évaluer le débit de fuite à travers le barrage et de localiser, le cas échéant, la zone d'émergence de l'eau le long du talus amont, qui présente un danger particulier.

Des systèmes de drainage permettant de maintenir la ligne de saturation à l'intérieur du massif sont nécessaires[8].

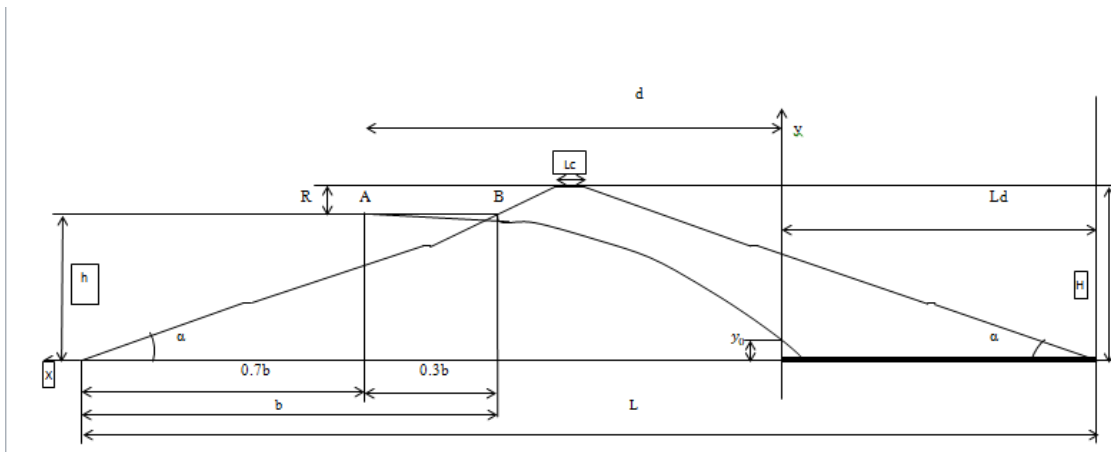


Figure III-1: La ligne de saturation

Selon KOZENY, la ligne phréatique est une parabole dont l'équation est la suivante :

$$X = \frac{y^2 - y_0^2}{2 \cdot y_0} \dots \dots \dots \text{(III.1)}$$

En se reportant à la figure on a : $Y_0 = \sqrt{h^2 + b^2} - b \dots \dots \dots \text{(III.2)}$

Et $\alpha = \frac{y_0}{2}$ d'où $Y = \sqrt{2XY_0 + Y_0^2} \dots \dots \dots \text{(III.3)}$

La ligne de saturation est calculée pour une hauteur d'eau qui correspond à la retenue normale. Et en ce qui concerne la pente des eaux les plus élevées, qui est un cas exceptionnel et de durée relativement brève.

$h = 46 \text{ m}$ $h_e = 39 \text{ m}$

$d = \frac{L}{3}$ d'où $d = 90 \text{ m}$

$b = 35.1 + 7 \times 3 + 8 + 3 \times 46 - 90 = 112.1 \text{ m}$

D'où : $b = 112.1 \text{ m}$

On aura donc : $Y_0 = 9.07 \text{ m}$

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

$$Y^2 = 18.14.X + 82.26 \dots\dots\dots(III.4)$$

À partir de cette équation, nous pouvons déterminer les coordonnées de la parabole données par le tableau suivant :

Tableau III-2:Coordonnées de la parabole de KOZENY

X[m]	Y[m]
0	9.07
10	16.23
20	21.1
30	25.03
40	28.42
50	31.45
60	34.21
70	36.8
80	39.16

Le plan d'eau amont est coupé par la parabole en un point A qui se trouve à une distance horizontale du talus : $AB = 0,3 b$.

La ligne de saturation est obtenue en raccordant la parabole de KOZENY au point B du plan d'eau amont par une courbe normale au talus amont en B et tangente à la parabole.

III.5 Stabilité

III.6 Introduction :

Il est clair que l'utilisation d'un remblai mal dimensionné et instable peut, d'une part, compromettre la sécurité des populations, des exploitations agricoles et des aménagements situés à son aval, et, d'autre part, nécessiter des travaux d'entretien.

La méthode des tranches (Méthode de FELLENIUS) a été utilisée pour évaluer la stabilité du remblai et vérifier les valeurs des fruits des parements utilisés. Le calcul détaillé de cette vérification a été réalisé manuellement. Ce calcul manuel a été effectué en utilisant un logiciel Excel .

III.7 Définition du coefficient de sécurité :

En général, on estime la stabilité des talus en utilisant un coefficient appelé coefficient de sécurité F_s . On peut définir ce coefficient comme le rapport entre le moment et un point fixe, la résultante des forces résistantes au glissement et les forces qui provoquent le glissement[9].

$$F_s = \frac{\sum \text{Moments des forces résistant au mouvement}}{\sum \text{Moments des forces provoquant le mouvement}}$$

En théorie, on qualifie le talus de stable si $F_s > 1$. On obtient l'état d'équilibre limite (rupture) lorsque $F_s = 1$. Cependant, en pratique, le coefficient F varie de 1,15 à 1,30 en prenant en considération les éléments suivants:

- Les inexactitudes des méthodes de calcul de la stabilité du bord.
- Les incertitudes expérimentales dans la détermination des propriétés physico-mécaniques des roches, telles que la valeur moyenne du poids volumique des roches constituant le massif.
- Les difficultés à évaluer l'impact de la fissurité.
- L'impact des charges dynamiques engendrées par le tir, le mouvement des moyens de transport et les tremblements de terre.

III.8 Méthodes de calcul de la stabilité :

Les approches principales pour évaluer la stabilité des talus sont :

- Les approches basées sur l'équilibre limite.
- Les techniques des composants finis.
- Les techniques d'abaques.

Concernant les approches de l'équilibre limite. Le problème de l'équilibre d'une masse de sol peut être résolu de deux façons:

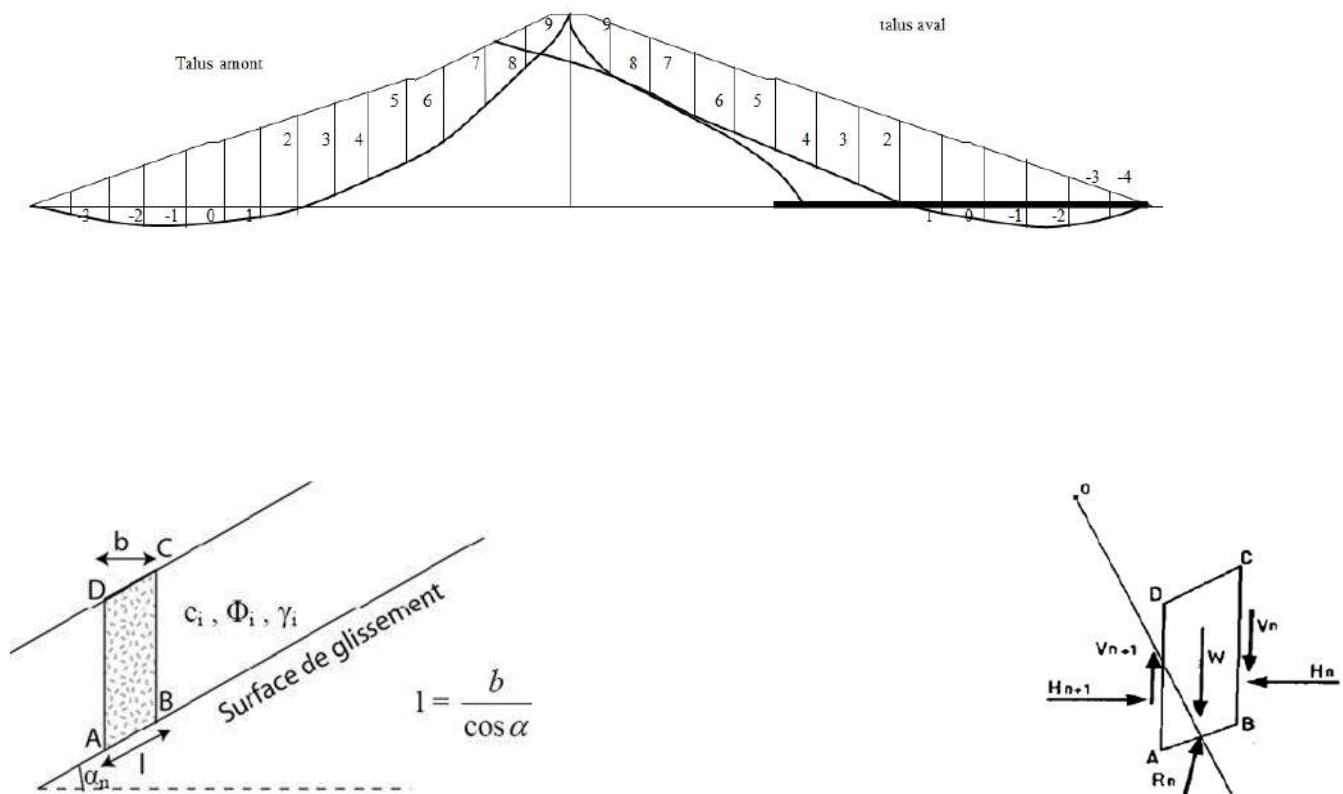
Ou bien on étudie l'équilibre de l'ensemble de la zone de glissement. La ligne de rupture est ; la plupart du temps supposé circulaire. C'est la « méthode globale » (méthode de TAYLOR ; de CAQUOT ; de BIAREZ....).

Ou bien on décompose le talus en tranches dont on étudie d'abord l'équilibre individuel, avant de globaliser le résultat en faisant intervenir certaines hypothèses simplificatrices ; c'est la « méthode des tranches » (méthode de FELLENIUS, méthode de BISHOP....).

Dans la section suivante, nous examinerons la méthode des tranches, qui sera employée lors de notre travail.

III.9 Méthode des tranches :

Cette approche implique de prendre en compte les forces qui ont tendance à maintenir un volume de terrain spécifique, défini par les forces libres du talus et une surface de rupture potentielle, ainsi que celles qui ont tendance à le déplacer.



III.9.1 Calcul stabilité

✚ Selon la méthode de **FELLENIOUS** (1936), également connue sous le nom de méthode suédoise, on estime que [10] :

- La ligne de glissement est circulaire.
- Les efforts inter-tranches sont totalement ignorés.
- La seule force qui agit sur l'arc AB est le poids W.
- En ce qui concerne le centre O, il est possible de définir :
 - Le moment moteur comme celui du poids des terrains W qui cherche à entraîner le mouvement.
 - La valeur maximale de la composante tangentielle de R fournit le moment résistant maximal.

III.9.1.1 La force de pesanteur est appliquée au centre de gravité pour chaque tranche :

La formule s'écrit : $G_n = b (\gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2 \cdot h_2 + \gamma_3 \cdot h_3) \dots \dots \dots$ (III.5)

h_1, h_2, h_3 : hauteurs des tranches.

γ_1 : densité de la zone du massif située au dessous de la ligne de saturation.

γ_2 : densité de la zone du massif située au dessus de la ligne de saturation.

γ_3 : densité de l'assise.

b : largeur de la tranche.

✚ D'après l'équation de Coulomb, la résistance maximale mobilisable en cisaillement le long de AB est :

$$R_n = c_n \cdot AB + N_n \cdot \tan \phi_n \dots \dots \dots \text{ (III.6)}$$

Par ailleurs :

$$N_n = W_n \cos \alpha_n \dots \dots \dots \text{ (III.7)}$$

Donc :

$$R_n = c_n \cdot AB + W_n \cos \alpha_n \tan \phi_n \dots \dots \dots \text{ (III.8)}$$

D'autre part :

$$AB = l_n = b_n / \cos \alpha \dots \dots \dots \text{ (III.9)}$$

La somme des moments résistants maximaux s'écrit donc :

$$\sum_1^m R \cdot \left(c_i \cdot \frac{b_n}{\cos \alpha_n} + w_n \cos \alpha_n \tan \phi_i \right) \dots \dots \dots \text{ (III.10)}$$

Où : m: nombre total de tranches.

C_i, Φ_i : caractéristiques mécaniques de la couche dans laquelle est situé l'arc AB.

- Le moment moteur est dû à T et égal à T .R.

Par ailleurs : $T_n = W_n \sin \alpha_n \dots \dots \dots (III.11)$

III.9.1.1.1 L'équation du coefficient de sécurité est donnée[10]:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^m (c_i \cdot \frac{b_n}{\cos \alpha_n} + w_n \cos \alpha_n \tan \phi_i)}{\sum_{n=1}^m w_n \sin \alpha_n} \dots \dots \dots (III.12)$$

Les paramètres intervenant dans le calcul de F_s sont donc:

- ✓ b, la largeur des tranches.
- ✓ α , l'angle orienté que fait le rayon du cercle passant par le milieu de la base de la tranche avec la verticale.
- ✓ la hauteur de la tranche pour le calcul du poids W.

III.9.1.1.2 En présence de pression d'eau, l'équation du facteur de sécurité est la suivante :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^m (c_i \cdot \frac{b_n}{\cos \alpha_n} + (w_n \cos \alpha_n - \frac{b}{\cos \alpha} \cdot h_1 \cdot 9.81) \tan \phi_i)}{\sum_{n=1}^m w_n \sin \alpha_n} \dots \dots \dots (III.13)$$

Pour vérifier la stabilité de la pente entourée dans le diagramme précédent en utilisant la méthode des tranches, nous considérons les données suivantes pour le barrage de 46 mètres de hauteur, construit à partir d'un sol homogène:

➤ Sol Mouillé:

-Angle de frottement interne (ϕ_1) = 29°

-Poids spécifique (γ_1) = 20 kN/m³

-Cohésion (c_1) = 35 kPa

➤ Sol Sec:

-Angle de frottement interne (ϕ_2) = 30°

-Poids spécifique (γ_2) = 25 kN/m³

-Cohésion (c_2) = 32 kPa

➤ Fondations:

-Poids spécifique (γ_3) = 30 kN/m³

-Angle de frottement interne (ϕ_3) = 31°

- Cohésion (c_3) = 37 kPa

Calcul de stabilité pour talus amont normal																	
n	b	h1	H2	h3	γ_1	γ_2	γ_3	GK(KN)	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	Tn	Nn	b/cos α	tg $\emptyset$	c	C.l	(Nn-l)*9.81*h1)*tg $\emptyset$
-4	10	2.6	0	2	20	25	30	1120	-0.4	0.916	-448	1026.5	10.911	0.6	37	403.7	448.922
-3	10	6.3	0	4	20	25	30	2460	-0.3	0.954	-738	2346.7	10.483	0.6	37	387.87	1019.29
-2	10	9	0	5	20	25	30	3300	-0.2	0.98	-660	3233.33	10.206	0.6	37	377.63	1399.332
-1	10	12.4	0	5.3	20	25	30	4070	-0.1	0.995	-407	4049.6	10.05	0.6	37	371.86	1696.218
0	10	15.8	0	4.9	20	25	30	4630	0	1	0	4630	10	0.6	37	370	1848.012
1	10	17.7	0	3.7	20	25	30	4650	0.1	0.995	465	4626.7	10.05	0.6	37	371.864	1728.944
2	10	20.3	0	3.1	20	25	30	4990	0.2	0.98	998	4889.2	10.206	0.55	35	357.22	1571.18
3	10	22.9	0	0	20	25	30	4580	0.3	0.954	1374	4369.04	10.483	0.55	35	366.9	1107.744
4	10	21.8	0	0	20	25	30	4360	0.4	0.92	1744	3996.01	10.911	0.55	35	381.9	914.443
5	10	21.8	0	0	20	25	30	4360	0.5	0.87	2180	3775.9	11.55	0.55	35	404.16	718.55
6	10	19.1	0	0	20	25	30	3820	0.6	0.8	2292	3056	12.5	0.55	35	437.5	392.624
7	10	17.8	0	0	20	25	30	3560	0.7	0.714	2492	2542.35	14.003	0.55	35	490.1	53.464
8	10	10.6	4.4	0	20	25	30	3220	0.8	0.6	2576	1932	16.7	0.58	32	533.333	115.362
9	10	0	8.3	0	20	25	30	2075	0.9	0.436	1867.5	904.5	22.941	0.58	32	734.13	524.593
											13735.5					5988.14	13538.678

$F_s \geq 1.5$
$F_s = 1.4$

Calcul de stabilité pour talus aval normal																	
n	b	h1	h2	h3	γ_1	γ_2	γ_3	GK(KN)	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	Tn	Nn	b/cos α	tg $\emptyset$	c	C.l	Nn*tg $\emptyset$
-4	10	0	2	1	20	25	30	800	-0.4	0.916	-320	733.212	10.911	0.6	37	403.7	439.93
-3	10	0	5	3	20	25	30	2150	-0.3	0.954	-645	2050.97	10.483	0.6	37	387.87	1230.581
-2	10	0	9	3	20	25	30	3150	-0.2	0.98	-630	3086.36	10.206	0.6	37	377.63	1851.814
-1	10	0	13	4	20	25	30	4450	-0.1	0.995	-445	4427.7	10.05	0.6	37	371.86	2656.616
0	10	0	15	3	20	25	30	4650	0	1	0	4650	10	0.6	37	370	2790
1	10	0	18	2	20	25	30	5100	0.1	0.995	510	5074.44	10.05	0.6	37	371.864	3044.661
2	10	0	23	0	20	25	30	5750	0.2	0.98	1150	5633.83	10.206	0.58	32	326.6	3267.62
3	10	0	23.5	0	20	25	30	5875	0.3	0.954	1762.5	5604.4	10.483	0.58	32	335.451	3250.55
4	10	0	23	0	20	25	30	5750	0.4	0.92	2300	5269.96	10.911	0.58	32	349.15	3056.578
5	10	0	21	0	20	25	30	5250	0.5	0.87	2625	4546.633	11.55	0.58	32	369.504	2637.05
6	10	0	19	0	20	25	30	4750	0.6	0.8	2850	3800	12.5	0.58	32	400	2204
7	10	0	16	0	20	25	30	4000	0.7	0.714	2800	2856.571	14.003	0.58	32	448.1	1656.811
8	10	0	12	0	20	25	30	300	0.8	0.6	2400	1800	16.7	0.58	32	533.333	1044
9	10	0	5	0	20	25	30	1250	0.9	0.436	1125	544.862	22.941	0.58	32	734.13	316.02
											15482.5					5779.182	29446.225

$$F_s \geq 1.5$$

$$F_s = 2.27$$

III.10 Conclusion :

Selon les résultats obtenus, il est évident que le facteur de sécurité minimum calculé pour nos différentes conditions de contrainte est entièrement supérieur ou proche du coefficient de sécurité autorisé.

De cette manière, nous garantissons la stabilité des pentes de notre barrage.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le barrage de Oued Djedra à Souk Ahras représente un projet vital pour la gestion des ressources en eau dans la région. En fournissant de l'eau pour l'irrigation, la consommation humaine et d'autres usages, il contribuera de manière significative au développement socio-économique de la wilaya. La construction du barrage, basée sur des analyses géologiques, géotechniques et hydrologiques rigoureuses, garantit non seulement sa stabilité et sa sécurité, mais aussi son efficacité opérationnelle à long terme.

Les barrages en remblai, grâce à leur adaptabilité et à l'utilisation de matériaux locaux, offrent une solution viable et économique pour les régions aux fondations meubles. L'étude approfondie des différents aspects de la conception et de la construction du barrage de Oued Djedra met en lumière les défis techniques et les solutions innovantes mises en œuvre pour assurer la durabilité et la fiabilité de cette infrastructure critique.

En conclusion, le barrage de Oued Djedra est non seulement une réponse aux besoins actuels en eau de la région, mais aussi une infrastructure stratégique pour les générations futures. Grâce à une planification et une exécution soignées, il deviendra un pilier du développement durable à Souk Ahras, contribuant à la résilience face aux défis climatiques et à l'amélioration de la qualité de vie des habitants.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] « Aimene Ouassama. Étude de stabilité d'un barrage en terre. Jijel: Université Mohamed Seddik BENYAHIA. 2020. »
- [2] « NOUAOUI ABD ELMALEK. Dimensionnement et stabilité: d'un petite barrage en béton sur oued SIDI ALI à Saggana Wilaya de Batna. M'sila. Université Mohamed Boudiaf. 2015/2016. »
- [3] « Mlle BELKAS Meriem et Mr HADDADEN Ilyes. Etude hydrologique, dimensionnement du réservoir et laminage des crues du futur barrage Sidi-Khelifa (Wilaya de Tizi Ouzou). Blida: Université Blida 1. 2016 - 2017 ».
- [4] « Mémoire Online - Etude de l'envasement de quelques lacs collinaires au bassin versant de la Medjerda - Soumaya Younsi », Mémoire Online. Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.memoireonline.com/01/16/9396/m_Etude-de-lenvasement-de-quelques-lacs-collinaires-au-bassin-versant-de-la-Medjerda8.html
- [5] « 1.article_samie_1962.pdf ». Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/houichi_larbi/files/1.article_samie_1962.pdf
- [6] « Chapitre 4. Etude des crues.pdf ». Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/218560/mod_resource/content/1/Chapitre%204.%20Etude%20des%20crues.pdf
- [7] H. Sounny, « CONCEPTION DES BARRAGES EN ».
- [8] « Chapitre 3. Détermination de la hauteur du barrage et dimensionnement du réservoir.pdf ». Consulté le: 29 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/279201/mod_resource/content/1/Chapitre%203.%20D%C3%A9termination%20de%20la%20hauteur%20du%20barrage%20et%20dimensionnement%20du%20r%C3%A9servoir.pdf
- [9] « cours-STABILITE-DES-TALUS-barrage-en-terre.pdf ». Consulté le: 27 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.univ-chlef.dz/FGCA/wp-content/uploads/2019/06/cours-STABILITE-DES-TALUS-barrage-en-terre.pdf>
- [10] « BOUDJOUHER Salim et BENAZIBA Anis. Etude géotechnique d'un pont rail situé entre les deux gares de l'Oued Sly et Yellel au PK 252+107 (Wilaya de Ghilizane).BLIDA. UNIVERSITÉ DE BLIDA 1. 2021.pdf ».