



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE de Génie civil et d'Architecture

DEPARTEMENT de Génie civil

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par :

Bouazza Souaad

Djeldjeli Soumia

DOMAINE : Sciences et Technologie

FILIERE : Hydraulique

OPTION : Ressources Hydraulique

Thème

Effet du type du drain (tapis et drain-cheminée) sur le débit d'infiltration à travers un barrage en terre

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Lakhdari Med Fatah	MCA	Président
Gueddouda Med Kamal	Pr	Examineur
Djehich Abdelkader	Pr	Encadreur

Promotion : 2019 / 2020

Table des matières

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Liste des tableaux.....	III
Liste des figures.....	IV
Liste des photos.....	V
Liste des symboles.....	VI
Résumé.....	VII
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Etude Bibliographie

I.1. Introduction.....	3
I.2. Barrages en remblai.....	4
I.2.1. Barrage homogène.....	4
I.2.2. Barrage à noyau.....	4
I.2.3. Barrage à masque.....	5
I.3. Organes d'étanchéités des barrages en terre.....	5
I.3.1. Noyau en argile compacte.....	6
I.3.2. Diaphragme interne.....	6
I.3.3. Masque amont.....	7
I.4. Profil général du barrage.....	8

Table des matières

I.4.1. Hauteur de barrage.....	8
I.4.2. Hauteur normale de retenue des eaux.....	9
I.4.3 Hauteur maximale.....	9
I.4.4. Revanche.....	9
I.4.5. Largeur de crête de barrage.....	9
I.4.6. Pente des talus.....	9
I.5.DISPOSITION DE DRAINAGE DANS LES BARRAGES EN REMBLAIS.....	9
I.5.1. FILTRES.....	9
a) Définition des filtres.....	9
b) Rôle des filtres.....	10
c) Composition des filtres.....	10
d) Dimensionnement des filtres.....	10
e) Epaisseur du filtre.....	12
I.5.2. Drains	12
I.5.2.1.Role des drains.....	12
I.5.2.2. Différent type des drainages et leur dimensionnement.....	12
a) Prisme de drainage.....	12
b) Drainage de surface.....	13
c) Drain tapis interne.....	14
d) Prisme de drainage avec drain tapis interne.....	14
e) Drainage a bande.....	15
f) Drain vertical.....	16
II. Infiltrations à travers les barrages en remblais.....	17
II.1.FACTEURS INFLUENÇANT L'INFILTRATION.....	17
a) Ligne de saturation.....	17

Table des matières

b) Pression de l'eau interstitielle.....	18
II.2.Etude des réseaux d'infiltration dans un barrage en terre.....	18
Conclusion.....	18
Chapitre II	Caractérisation des matériaux
II.1 Introduction.....	19
II. 2. Caractéristique d'échantillon.....	19
II. 2. 1. Masse volumique.....	19
II. 2. 1. 1. Masse volumique absolue.....	19
II. 2. 1. 2. Masse volumique apparente.....	20
II. 2. 2. Analyse granulométrique.....	23
II. 2. 3. Analyse de courbe granulométrique.....	26
II. 2. 3. 1. Courbe granulométrique de sable.....	26
II.3. Application d'essai.....	26
II.3.1. Coefficients d'uniformité et de courbure.....	26
a) Coefficients d'uniformité.....	27
b) Coefficient de courbure.....	27
II.4.Description du bassin de perméabilité.....	28
II.4.1. Détermination de coefficient de perméabilité du matériau utilisé.....	30
II.4.1.1. Perméabilité horizontale.....	30
II.4.1.2. Perméabilité verticale.....	35
Conclusion.....	38

Table des matières

Chapitre III	Résultats finaux
III.1.Introduction.....	39
III.2. Méthodes de résolution des infiltrations.....	39
III.2.1.Méthodes expérimentales (modèle de bassin de perméabilité).....	39
III.2.2.Méthode analytique semi-empirique de Kozeny.....	43
III.3.Comparaison entre drain vertical et tapis horizontal.....	47
Conclusion.....	49
Conclusion générale	50
Références Bibliographiques.....	51



Remerciements

Nous tenons à remercier tout d'abord Dieu Tout-Puissant qui nous a donné, la santé, le courage et la volonté pour réaliser et terminer ce modeste travail, et qui a semé la foi dans nos cœurs et nous à dotés de la force tout au long de notre parcours.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur Mr. Djehich A.E.K pour sa sympathie, ses encouragements, son aide pour le travail et sa présence, au cours de cette modeste étude.

Nous tenons aussi à remercier également les membres du jury pour avoir eu l'extrême gentillesse de bien vouloir évaluer ce travail.

Enfin nous remercions vivement tous ceux qui ont participés de près ou de loin, ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mon père, mon seigneur, ayez pitié de lui et faites de sa tombe une école maternelle du Riad du Paradis.

A ma mère qui m'a encouragé durant toutes mes études, et qui sans elle, ma réussite n'aura pas en lieu.

*A celui que j'aime beaucoup et m'a soutenue tout au long de ce projet :
A mes frères et sœurs, et bien sur mon fiancé ABDEL KADER .K, sans
oublié ma grande -mère et mes beaux-parents qui j'aime.*

A mon binôme Soumia .

A toute ma famille, et mes amis,

*Et à tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du
secondaire ou de l'enseignement supérieur.*

A tous mes amis de ma promotion.

Je vous dis Merci.

Souaad





Dédicace :

Je tiens à dédier ce mémoire :

A mes chère parents sans qui je ne serai pas la où je suis, que je remercie pour leurs présences, leurs amour leurs soutient et leurs encouragements.

A ceux qui sont la source de mon inspiration et mon courage, à qui je dois de l'amour et de la reconnaissance :

A ma cher Grande Mère .

Une spéciale dédicace à mon fiancé .

A mes Chère Frère, et mes Sœurs(Nacira et Israa).

A mon binôme Souaad.

A toute ma famille.

A mes chers Amis(Rida,Hamza,Imad.Abd eldjabar).

A tous mes ami(e)s(Mebarka,Meriem,Amira ,Halima,Mounira,Khadedja).

A tous mes collègues(Omar,Marwa,Fatima..).

Et à tous ceux qui me sont chers.



Soumia

Liste des tableaux

Chapitre II	Caractérisation des matériaux
Tableau. II.1. : Masse volumique réelle (absolue) des éléments constituant le sol en fonction des types de matériaux.....	19
Tableau. II.2. Résultat de l'essai de masse volumique absolue.....	20
Tableau. II.3. Ordres de grandeur des masses volumiques apparentes pour différents types de sols.....	22
Tableau. II.4. Résultat de l'essai de masse volumique apparente.....	23
Tableau. II.5. Résultats de l'analyse granulométrique de sable.....	25
Tableau. II. 6 : Coefficients d'uniformité et de courbure.....	28
Tableau. II. 7 : Résultats de mesure de débit pour l'échantillon.....	32
Tableau II. 8 : Mesures de débit pour la perméabilité verticale.....	36
Chapitre III	Résultats finaux
Tableau III.1. Mesures de débit de fuite n=3.....	40
Tableau III.2. Mesures de débit de fuite n=2.5.....	41
Tableau III.3. Mesures de débit de fuite n=2.....	41
Tableau III.4. Mesures de débit de fuite n=1.5.....	42
Tableau. III.5. Différence des débits calculés avec $k_h=2.6 \cdot 10^{-6}$ (m^3/s)(n=3,n=2.5).....	44
Tableau. III.6. Différence des débits calculés avec $k_h=2.6 \cdot 10^{-6}$ (m^3/s)(n=2,n=1.5).....	45
Tableau. III. 8 : Mesure de débit collecté par tapis horizontal à différentes pentes.....	46
Tableau. III. 9 : Mesure de débit collecté par le drain vertical à différentes pentes.....	47

Liste des figures

Chapitre I : Etude Bibliographie

Figure I.1 : Barrage homogène.....	4
Figure I.2 : Barrage à noyau.....	5
Figure I.3 : Barrage à masque.....	5
Figure I.4 : Noyau vertical et incliné.....	6
Figure I.5 : Diaphragme interne.....	7
Figure I.6. : Masque en béton de ciment.....	7
Figure I.7 : Masque en béton bitumineux.....	8
Figure I.8 : Masque en membrane souple.....	8
Figure I.9 : Filtre répondant aux conditions de TERZAGHI visa vis des matériaux (1) à drainer et (3) drainant	11
Figure I.10. : Prisme de drainage aval.....	13
Figure I.11: Drainage de surface.....	13
Figure I.12 : Drain tapis interne.....	14
Figure I.13 : Prisme de drainage avec drain tapis interne sur fondations imperméables	15
Figure I.14 : Drainage à bande des barrages.....	15
Figure I.15 : Drain vertical pour barrage en terre.....	16

Chapitre II : Caractérisation des matériaux

Figure II.1. : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.....	22
Fig. II.2. Courbe granulométrique.....	26
Figure.II.3. Schéma représentant le dispositif hydraulique.....	28
Figure.II.4.Photo de description de bassin de perméabilité.....	29

Fig. II. 5. Schéma du bassin de perméabilité (écoulement horizontal).....	30
---	----

Liste des figures

Fig. II. 6. Courbe de $f(x) = Q_{20} (H_1^2 - H_2)$	33
Fig. II. 7. Courbe de $Q_{20} = f(H)$	37

Chapitre III : Résultat finaux

Figure.III.1. Variation des débits de drain à différentes pentes(n).....	43
Figure.III.2. Infiltration à travers barrage en terre homogène avec tapis horizontal....	44
Figure.III.3. Comparaison des débits de drain et base pour différentes pentes.....	45
Figure.III.4. Ligne de saturation pour barrage homogène.....	47
Figure.III.5. Comparaison entre tapis horizontal et drain vertical.....	48

Liste des photos

Chapitre II. Caractérisation des matériaux

Photos.II.1 : L'essai de la masse volumique absolue.....	22
photo.II.2.Refus dans les différents tamis.....	23
PhotoII.3. Bassin de perméabilité (écoulement horizontal).....	31
Photo. II.4. Mesure de la perméabilité verticale.....	35

Chapitre III. Résultat finaux

Photo.III.1.Modèle d'un barrage en terre avec un drain horizontal.	40
--	----

Liste des symboles

A	Section de l'échantillon	[L ²]
bc	Largeur de la crête du barrage	[L]
b	Largeur du bassin de perméabilité	[L]
B	Longueur du bassin de perméabilité	[L]
C _u	Coefficient d'uniformité	
C _C	Coefficient de courbure	
D ₁₀	Diamètre des grains (en mm) correspondant à 10 % de passant	
D ₃₀	Diamètre des grains (en mm) correspondant à 30 % de passant	
D ₆₀	Diamètre des grains (en mm) correspondant à 60 % de passant	
H ₁	Hauteur d'eau en amont	[L]
H ₂	Hauteur d'eau en aval	[L]
h	Hauteur d'eau	[L]
K _h	Coefficient de perméabilité horizontale	[L T ⁻¹]
K _v	Coefficient de perméabilité verticale	
L	Longueur de l'échantillon	[L]
M	Masse de sol	[M]
m _s	Masse du solide sec	[M]
m ₁	Pentes du talus aval	
n	Pentes du talus amont	
m/n	Facteur de forme	
P	Reste de refus du tamis	
Q	Débit	[L ³ T ⁻¹]
Q ₂₀	Débit à T= 20°C	[L ³ T ⁻¹]
R _n	Masse des différents refus cumulés	[M]
S	Somme des refus partiels	[M]
T	Température	(°C)
T	Temps	[T]
V'	Volume de sol	[L ³]
V _t	Volume total de l'échantillon de sol	[L ³]
V	Vitesse de filtration	[L T ⁻¹]

Liste des symboles

γ_{app}	Masse volumique apparente	$[M L^{-3}]$
γ_s	Masse volumique absolue	$[M L^{-3}]$
V_1	Volume d'eau initial	$[L^3]$
M	Viscosité dynamique	$[M L^{-1} T^{-1}]$
Y	Viscosité cinématique	$[L^2 T^{-1}]$
ν_{20}	Viscosité cinématique pour la température 20 °C	$[L^2 T^{-1}]$
ν_t	Viscosité cinématique pour la température T °C	$[L^2 T^{-1}]$

ملخص

من خلال هذا البحث في اطار تحضير لمشروع التخرج، كنا مهتمين بدراسة تسرب مياه خلال السدود الترابية المتجانسة ذات المصارف الأفقية ، حيث كان هدفنا الأول هو دراسة تأثير طول المصرف على كمية المياه المتسربة خلال السدود الترابية، و لكن بعد توقف الدراسة بسبب جائحة كرونة، تم دراسة نموذج واحد في المختبر وهو طول المصرف المنحدر الأمامي ($n = 3, n = 2.5, n = 2, n = 1.5$) ، وهذا النموذج يشمل أولا 16 بيزومتر على طول حوض النفاذية لمتابعة خطوط التسرب. ومن أجل التأكد من النتائج التجريبية قمنا بمقارنتها مع النتائج المحسوبة بواسطة الطريقة التحليلية باستعمال منحني كوزيني ،

الكلمات المفتاحية: السدود الترابية ، التسرب ، مصرف أفقي ، طريقة كوزيني.

Résumé

Dans le présent travail de recherche, nous nous sommes intéressées à l'étude des infiltrations à travers une digue en terre (tapis horizontal). L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet de la longueur du drain sur le débit de fuite à travers les barrages en terre, mais après l'arrêt du cours en raison de la pandémie Corona virus. Un seul modèle a été étudié en laboratoire où la longueur du drain $L = 0.4B$ ($B=150\text{cm}$: la longueur de la base du barrage) avec le changement de la pente amont ($n = 3, n = 2.5, n = 2, n = 1.5$), et ce modèle comporte 16 piézomètres le long du bassin de perméabilité pour suivre la ligne de saturation. Dans une seconde étape, pour bien analyser et valider notre travail expérimental on a comparés ces résultats avec des résultats calculés par la méthode analytique à l'aide de la courbe de Kozeney.

Mots clés : Barrage en terre, infiltrations, tapis horizontal, Méthode de Kozeney.

Abstract:

In this research work, we are interested in the study of seepage through an earth dam (horizontal drainage blanket). Our objective is to study the effect of the length of the horizontal blanket on the earth dams, but after the course was stopped due to the Corona virus pandemic. A single model has been studied in the laboratory where the length of the drain $L = 0.4B$ ($B = 150\text{cm}$: the length of the base of the dam) with the change in the upstream slope ($n = 3, n = 2.5, n = 2, n = 1.5$), and this model has 16 piezometers along the permeability basin to follow the saturation line. In a second step, to properly analyze and validate our experimental work, we compared these results with results calculated by the analytical method using the Kozeney curve.

Keys words: earth dam, seepage, horizontal blanket, Kozeny model

Introduction générale

Les barrages sont considérés comme l'un des moyens les plus anciens utilisés par les humains pour apprivoiser la violence des rivières et du reste des cours d'eau naturels. L'homme a commencé à les construire, soit dans le but d'organiser et de gérer les ressources en eau disponibles et de répondre à leurs besoins en eau potable et en agriculture, soit dans le but de prévenir et d'éviter le risque d'une occurrence récurrente telle que pour atteindre les deux objectifs ensemble.

Selon le type de matériau formant le barrage, les barrages sont divisés en deux types principaux, et chacun d'eux est divisé en d'autres types plus sophistiqués et il n'y a pas de place ici pour les mentionner. Le premier type est le type en béton, qui est généralement construit toutes ses parties en béton, et il est requis lors de la construction de ce type que le sol souterrain résiste à la pression énorme causée par le poids de ce béton.

Le deuxième type comprend des barrages en terre, ou en agrégats dont le matériau de construction de base est du gravier ou des agrégats en plus du sable, bien que ce bloc barrière soit dans tous les cas recouvert d'une couche de ciment. Ce type de barrage se caractérise par des coûts de construction relativement faibles par rapport au premier type. La construction des barrages en terre ne nécessite pas de travaux infrastructure massive comme dans le cas des barrages en béton. Elle est donc plus vulnérable à la fissuration ou à l'effondrement par rapport au premier type, bien qu'il existe plus d'un facteur régissant cette question, comme la puissance du facteur externe d'influence (tremblements de terre, explosifs, volcans), la nature du sous-sol et la nature de la région géologique, la conception technique de sécurité, etc.

La conception d'un barrage en terre vise à satisfaire les conditions de stabilité et d'étanchéité. Les conditions de stabilité dépendent fortement de deux aspects essentiels, le contrôle des pressions interstitielles et le contrôle du débit de fuite d'eau à travers le remblai. Cet écoulement risque de provoquer des érosions internes induisant par conséquent la ruine de l'ouvrage.

Notre travail de recherche entrepris dans le cadre de cette problématique vise un peu fort à améliorer les connaissances et à étudier les infiltrations à travers une digue en terre homogène avec un tapis de drainage. Notre objectif est en effet d'examiner l'influence des conditions de la longueur du tapis et de la pente du talus amont sur le processus de drainage. A cet effet, des comparaisons seront effectuées entre la méthode analytique et expérimentale pour chaque pente.

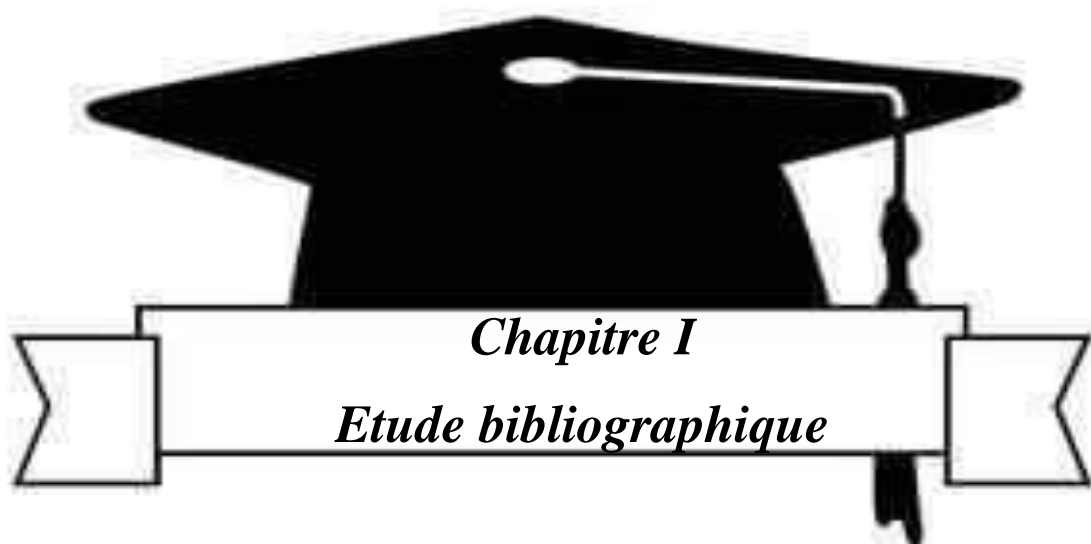
Le premier chapitre sera consacré à une synthèse bibliographique sur les barrages.

Dans le deuxième chapitre, les principaux travaux réalisés dans cet axe de recherche (Caractérisation des matériaux), avec une étude expérimentale des infiltrations à travers une digue en terre réalisée au laboratoire d'Hydraulique Générale de l'Université Ammar Teledji – Laghouat a été réalisée, elle sera exposé.

Introduction générale

Dans le troisième chapitre, nous retrouverons les principaux résultats trouvés dans le présent travail, en l'occurrence, les mesures expérimentales et le résultat analytique. Dans ce chapitre nous retrouverons les résultats obtenus qui sera par la suite analysés et interprété.

En dernier lieu, nous terminerons par une conclusion générale.



Chapitre I

Etude bibliographique

I.1. Introduction :

Le principe général d'un barrage est de barrer une vallée, plus ou moins encaissée, pour accumuler l'eau. Cette accumulation peut avoir plusieurs objectifs.

Leurs caractéristiques géométriques et le principe de leur conception permettent aussi de regrouper les barrages en grandes familles.

On distingue donc, de façon schématique, divers types de barrages :

Suivant leur fonction, sachant qu'un même ouvrage sert le plus souvent à plusieurs fonctions :

- Accumulation d'eau restituée pour la production d'énergie, l'alimentation en eau ou l'irrigation ;
- Régulation d'un cours d'eau pour la navigation ou la gestion des crues et des étiages.

Suivant leurs caractéristiques géométriques :

- Barrages réservoirs, de grande hauteur ;
- Barrages au fil de l'eau, sur le cours d'une rivière.

Suivant leur conception :

- Barrages poids, pour lesquels, comme leur nom l'indique, c'est la masse de l'ouvrage qui s'oppose à la pression de l'eau ;
- Barrages voutes, pour lesquels la pression de l'eau est transmise par l'ouvrage sur les parois latérales.

Un barrage comporte toujours divers composants :

- Le barrage proprement dit, qui retient l'eau, avec un masque d'étanchéité ;
- Un évacuateur de crues, évitant un excès d'eau dans le réservoir ;
- Des dispositifs de contrôle et de surveillance.

Pour les barrages réservoirs :

- Une prise d'eau, pour envoyer l'eau vers son utilisation ;
- Une vanne de fond, pour permettre la vidange du réservoir.

Pour les barrages au fil de l'eau :

- Des vannes de régulation du débit ;
- Souvent des écluses et des passes à poissons.

I.2. Barrages en remblai

Les barrages en terre présentent notamment l'avantage de pouvoir reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles.

Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrages-poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On en trouve de trois types :

- Homogène,
- à noyau,
- à masque.

I.2.1. Barrage homogène

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

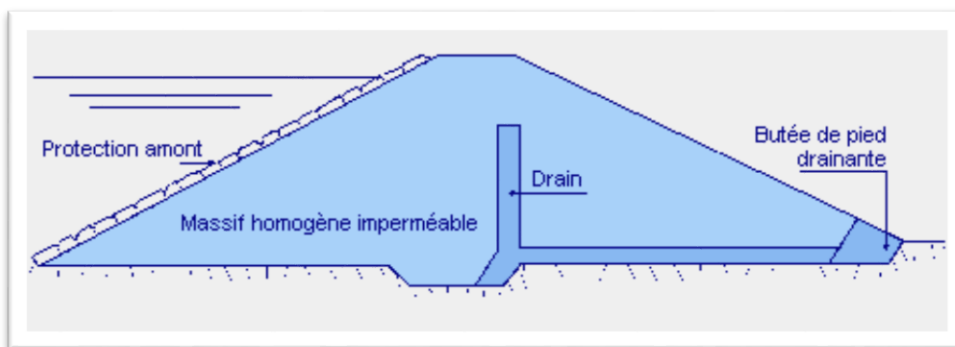


Figure I.1 : Barrage homogène

I.2.2 Barrage à noyau

Dans un barrage à noyau, les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central.

Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'enrochements.

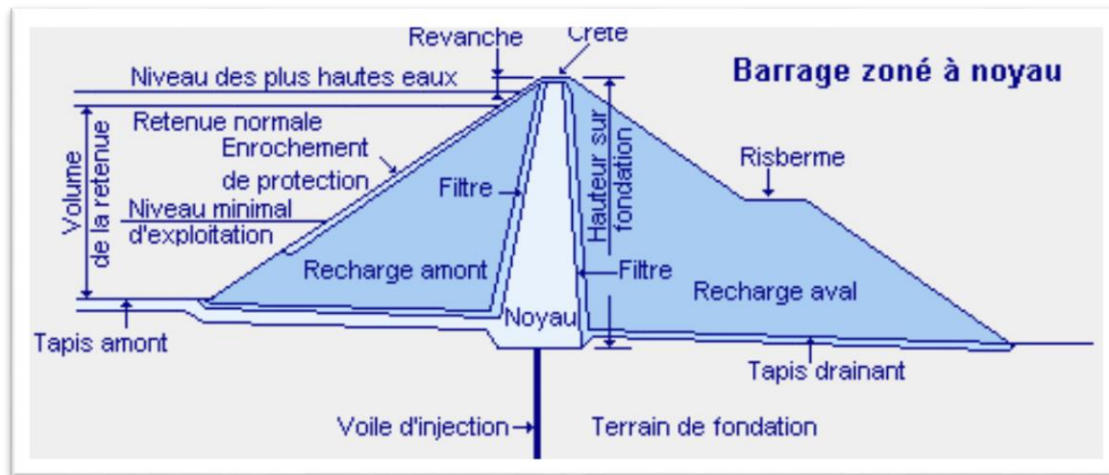


Figure I.2 : Barrage à noyau

I.2.3. Barrage à masque

Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des enrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, côté amont.

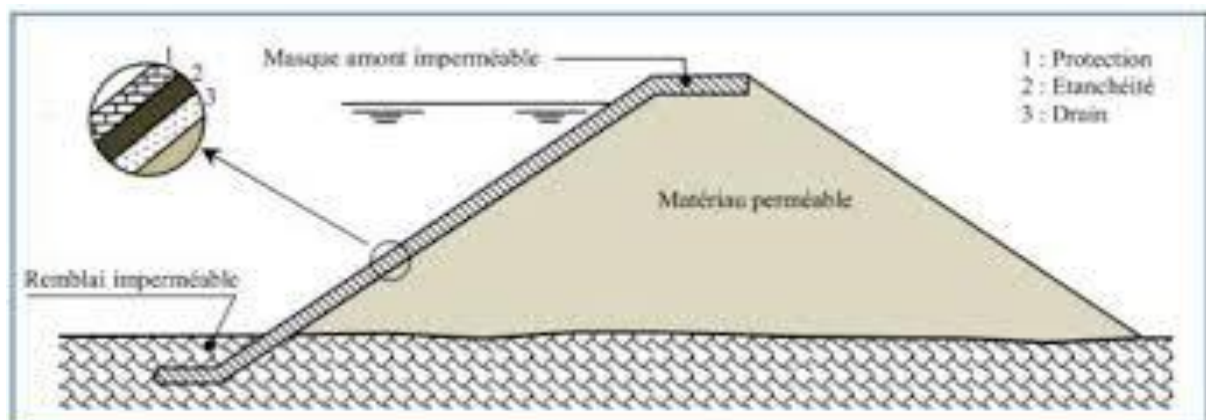


Figure I.3 : Barrage à masque

I.3. Organes d'étanchéités des barrages en terre

On prévoit un organe d'étanchéité dans un barrage en terre lorsque les matériaux constituant le remblai ne sont pas suffisamment imperméables pour empêcher de grandes pertes d'eau par infiltration.

On rencontre plusieurs types d'organes d'étanchéité, ceux réalisés en matériaux locaux et ceux en matériaux artificiels.

I.3.1. Noyau en argile compacte

Le noyau est construit en argile compactée, centré verticalement au milieu du barrage ou incliné à l'amont.

Son épaisseur est fixée en fonction de la hauteur du barrage et doit être vérifiée pour que le gradient hydraulique soit admissible et donc éviter l'érosion interne du noyau par les eaux d'infiltration.

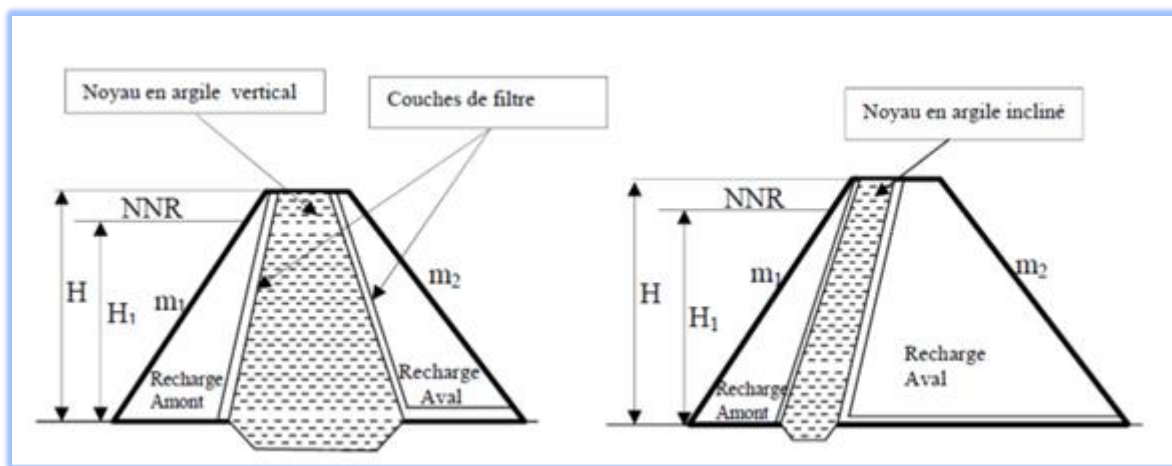


Figure I.4 : Noyau vertical et incliné

I.3.2. Diaphragme interne

Si l'on ne dispose pas de matériaux argileux pour réaliser un noyau assurant l'étanchéité, on peut recourir à la solution de diaphragme central qui est généralement exécuté sous forme d'une paroi moulée en béton armé ou en béton d'argile.

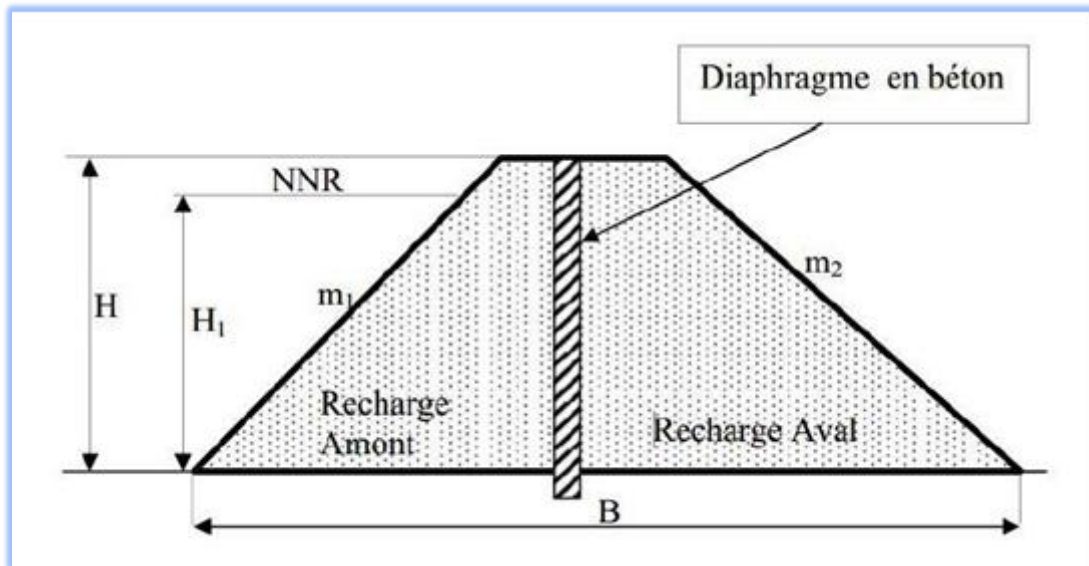


Figure I.5 : Diaphragme interne

I.3.3. Masque amont

Le masque amont qui constitue l'organe d'étanchéité est classiquement exécuté en béton de ciment, en béton bitumineux ou en géo-membrane. Il a une épaisseur réduite, ce qui lui permet de s'accommoder aux déformations du massif support.

On distingue trois types :

- Masque en béton de ciment ;
- Masque en béton bitumineux ;
- Masque en membrane souple.

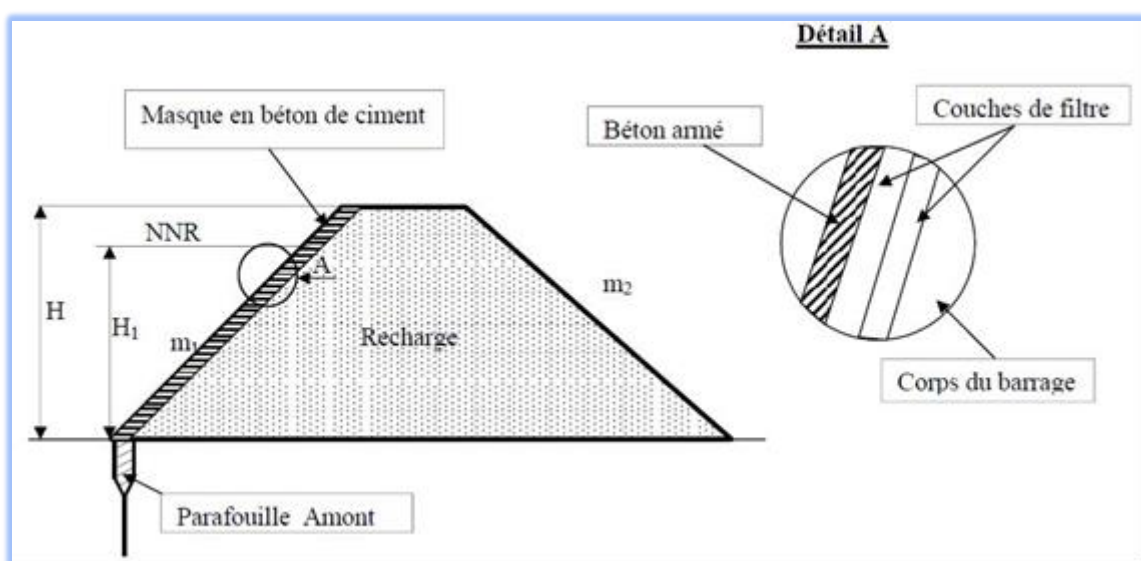


Figure I.6 : Masque en béton de ciment

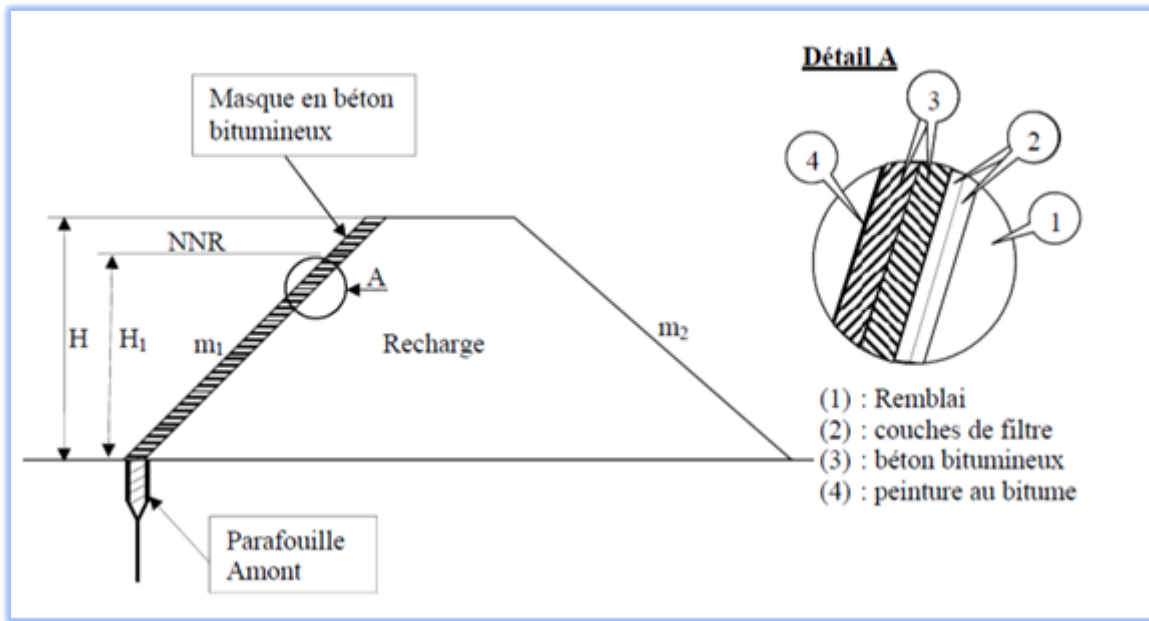


Figure I.7 : Masque en béton bitumineux

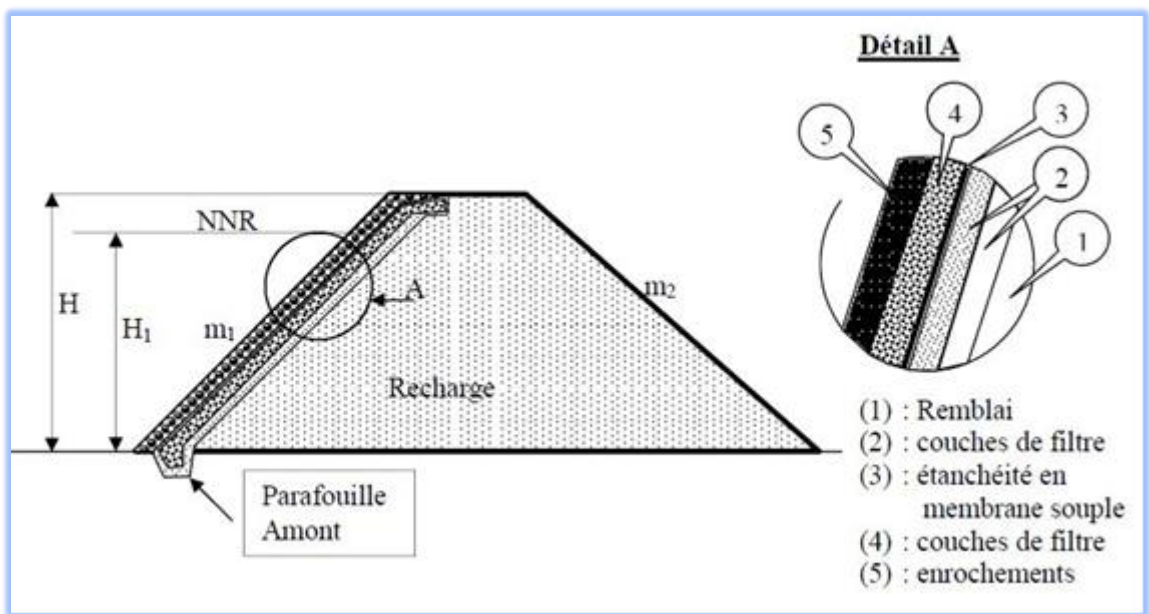


Figure I.8 : Masque en membrane souple

I.4. Profil général du barrage

I.4.1. Hauteur de barrage

Elle est donnée par la hauteur normale des eaux majorée de la charge maximale au-dessus du seuil du déversoir de crues et de la revanche.

I.4.2. Hauteur normale de retenue des eaux

Elle est fonction des pertes par infiltration et par évaporation, du comblement net, des apports solides, de l'eutrophisation du lac et de la capacité utile à stocker.

I.4.3. Hauteur maximale

Elle est la charge maximale au-dessus du déversoir de crues, elle dépend des caractéristiques de l'évacuateur de crues définies en fonction de l'hydrologie du bassin versant de la retenue et du laminage des crues de la retenue. Elle est déterminée par l'étude de l'évacuateur de crues. Le niveau des plus hautes eaux est donné par le niveau normal majoré de la charge sur le déversoir de crue.

I.4.4. Revanche

Est fonction de la hauteur et de la vitesse des vagues, du tassement après construction et de la marge de sécurité.

I.4.5. Largeur de crête de barrage

La largeur en crête d'un barrage en terre doit être suffisante pour qu'il n'y ait pas de circulation d'eau importante dans le barrage près de son couronnement lorsque la retenue est pleine.

I.4.6. Pente des talus

Elle est fixée par les conditions de stabilité mécanique du massif et de ses fondations. Dans la détermination de la pente du massif on doit toutefois se soucier de la nature des matériaux et vérifier la stabilité du barrage de ce point de vue.

I.5. DISPOSITION DE DRAINAGE DANS LES BARRAGES EN REMBLAIS

La présence d'une charge hydraulique à l'amont du remblai engendre une infiltration d'eau dans le barrage et ses fondations. Malgré l'attention accordée au dispositif d'étanchéité prévu, ces infiltrations peuvent être nuisibles à la stabilité tant hydraulique que mécanique de l'ouvrage. Pour y remédier on prévoit un dispositif de drainage souvent associé à des filtres.

I.5.1. FILTRES**a) Définition des filtres :**

Les filtres sont de minces couches successives de matériaux perméables dont la grosseur des éléments augmente dans la direction de l'écoulement. Ces filtres doivent assurer une transition entre une couche à granulométrie donnée vers une couche à granulométrie plus grossière. Si un filtre est constitué par plusieurs couches chacune doit jouer le rôle de filtre vis-à-vis de la précédente.

b) Rôle des filtres :

Le rôle des filtres est très important dans le fonctionnement d'un barrage en terre, particulièrement sur le plan de la sécurité de l'ouvrage, ainsi ils peuvent jouer de nombreuses fonctions complémentaires les unes aux autres, parfois les filtres peuvent jouer le rôle de drains surtout dans les petits barrages.

Parmi leurs rôles on peut citer :

- Entreposés entre deux couches à granulométrie différentes, ils évitent que les grains fins de la première couche ne soient entraînés par les eaux d'infiltration à travers les matériaux de gros diamètres.
- Entreposés de part et d'autre d'un noyau d'étanchéité ou sous un écran d'étanchéité, ils jouent le rôle de couches drainantes en évacuant les eaux d'infiltration vers l'aval du barrage.
- Intercalés entre un massif de barrage et sa fondation, si elle est argileuse, contribue grandement à activer sa consolidation grâce à leur rôle drainant qui réduit les pressions internes.

c) Composition des filtres :

Les filtres sont constitués de sables et de graviers dont les grains sont insolubles et non altérables en présence de l'eau. Ces dernières années les filtres granulaires sont de plus en plus remplacés par des géotextiles qui sont des produits industriels très économiques et faciles à mettre en œuvre.

Les filtres, pour être efficaces ne doivent pas se colmater ni se dégrader par entraînement de leurs propres grains. Ils doivent jouer le rôle pour lequel ils sont prévus à savoir éviter que les particules fines du matériau de base ne soient entraînées à travers les vides des couches perméables.

d) Dimensionnement des filtres :

Les paramètres de base de ces règles sont les caractéristiques granulométriques des matériaux. D_i représente le diamètre de la particule dans le filtre (le matériau plus grossier) pour lequel il existe un pourcentage de i % en poids de particules plus petites (Le Delliou, 2003). De la même façon, d_i est le paramètre correspondant pour le matériau de base (le matériau plus fin à protéger). En 1925, Terzaghi propose deux critères de dimensionnement des filtres :

- ✓ $D_{15} > 4 d_{15}$ condition de perméabilité.
- ✓ $D_{15} < 4 d_{85}$ condition de blocage.

Une formulation quasi-équivalente à celle de Terzaghi a été proposée par Sherard en 1963, en remplaçant le coefficient numérique 4 par 5. (Lautrin, 2002)

- ✓ Condition de perméabilité $D_{15}/d_{15} > 5$.
- ✓ Condition de non entrainement des fines $d_{85} > D_{15}/5$. Ces deux conditions se réunissent dans la formulation suivante : $5d_{85} > D_{15} > 5d_{15}$

Le plus souvent pour les petits barrages, on peut choisir un matériau drainant suffisamment perméable et satisfaisant directement à cette double condition : la mise en place d'un filtre est alors inutile.

En outre, pour s'assurer de la stabilité interne du matériau filtrant ou drainant, on devra vérifier la condition d'uniformité : $2 < D_{60}/D_{10} < 8$.

Parfois, on se voit contraint d'interposer, entre le remblai et le drain, de perméabilité et de granulométrie très différente une couche - filtre en prenant soin de vérifier les règles de filtre à chaque interface.

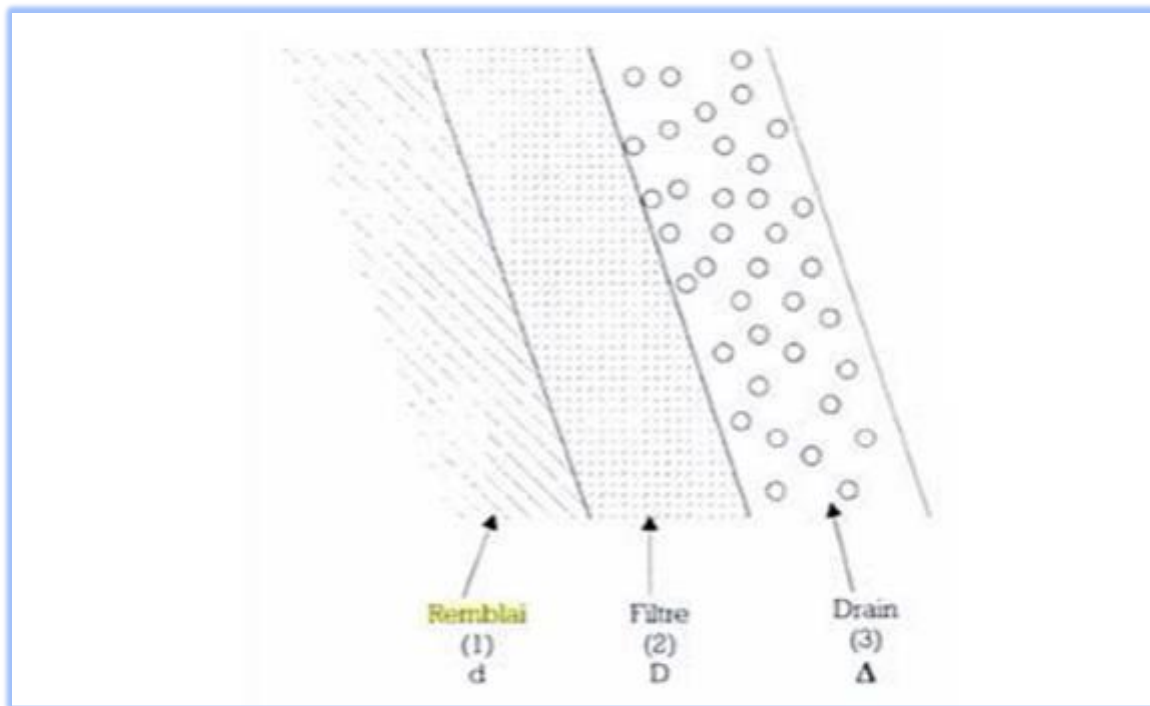


Figure I.9 : Filtre répondant aux conditions de TERZAGHI vis à vis des matériaux (1) à drainer et (3) drainant (Durand, et al., 1999)

d : pour le remblai

D : pour le filtre

Δ: pour le drain

e) Epaisseur du filtre :

L'épaisseur du filtre ne doit pas être inférieure à 25 cm pour tenir compte des tassements qui se produisent dans tout le remblai. Cette épaisseur doit être toujours supérieure ou égale à 50 D15.

Si la couche filtrante sert à drainer les eaux d'infiltration, sa capacité drainante doit être plus grande que le débit qui traverse le remblai et peut être vérifiée à l'aide de la loi de Darcy (CIGB, 1993).

I.5.2. Drains

Le drain est un organe fortement perméable incorporé dans le barrage en terre. Il est généralement constitué de graviers et d'enrochements avec des caractéristiques de non altération au contact de l'eau et résistant aux grandes compressions. Il est admis que la présence de drain dans les barrages en terre est indispensable pour leur stabilité. Parfois le drain classique est remplacé par des tuyaux poreux ou perforés en matière. On utilise également de plus en plus des géotextiles pour assurer le drainage des petits barrages.

I.5.2.1. Role des drains

Les drains dans les barrages en terre ont une multitude de fonctions très importantes.

- ❖ Intercepter les eaux d'infiltration et les évacuer à l'aval du barrage ;
- ❖ Abaisser la ligne de saturation et éviter les résurgences sur le talus aval ;
- ❖ Abaisser la ligne de saturation, pour garder une grande partie du remblai non saturé afin de conserver les caractéristiques géotechniques du matériau utilisé ;
- ❖ La présence du drain dans un barrage en terre sert à minimiser le débit de fuite sur l'ouvrage ;
- ❖ Il sert aussi à décompresser la fondation et donc à minimiser les pressions interstitielles ;
- ❖ La présence du drain permet d'activer la consolidation du remblai (CIGB, 1993).

I.5.2.2. Différent type des drainages et leur dimensionnement

On rencontre plusieurs types de drainages qui diffèrent les uns des autres par leurs formes constructives, leur emplacement dans le barrage et le rôle pour lequel ils ont été prévus.

a) Prisme de drainage

Il est prévu lorsqu'il y a une présence d'eau à l'aval du barrage avec une variation du niveau, mais il nécessite pour sa construction un volume d'enrochement important ce qui rend son choix fonction de la disponibilité à proximité du site de l'ouvrage de zones d'emprunts où les enrochements sont disponibles en quantité suffisante et qualité acceptable (CIGB, 1993).

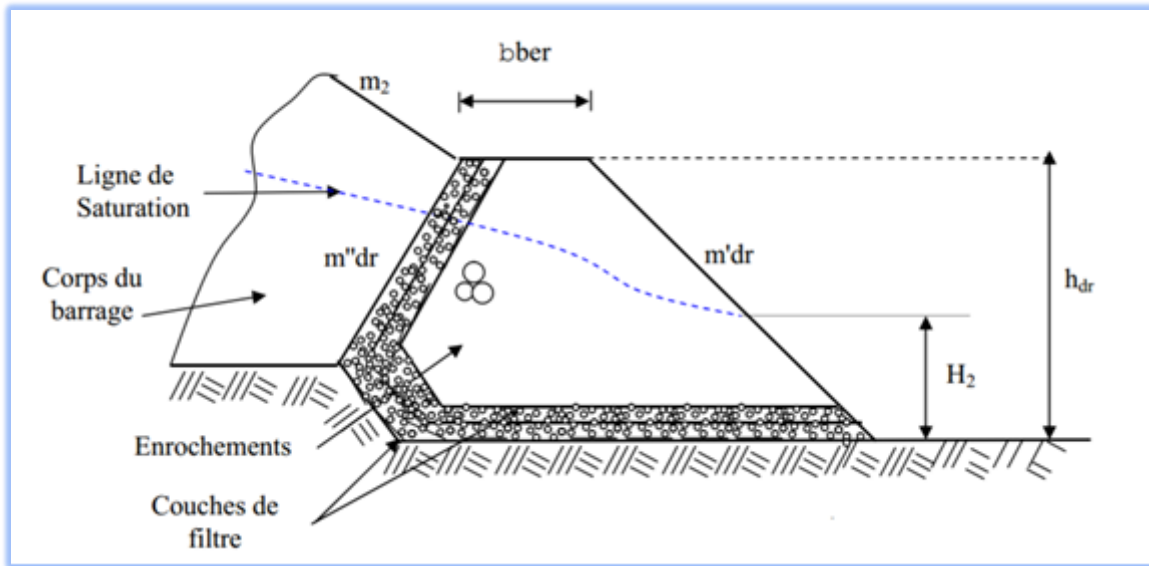


Figure I.10.Prisme de drainage aval

b) Drainage de surface

Ce type de drainage, est employé dans la construction de petites retenues collinaires. Il présente l'avantage de ne pas exiger de grandes quantités d'enrochement pour sa construction et d'être facilement réparable en cas d'avaries. Il présente l'inconvénient de ne pas influencer la ligne de saturation qui peut débaucher sur le talus aval du barrage.

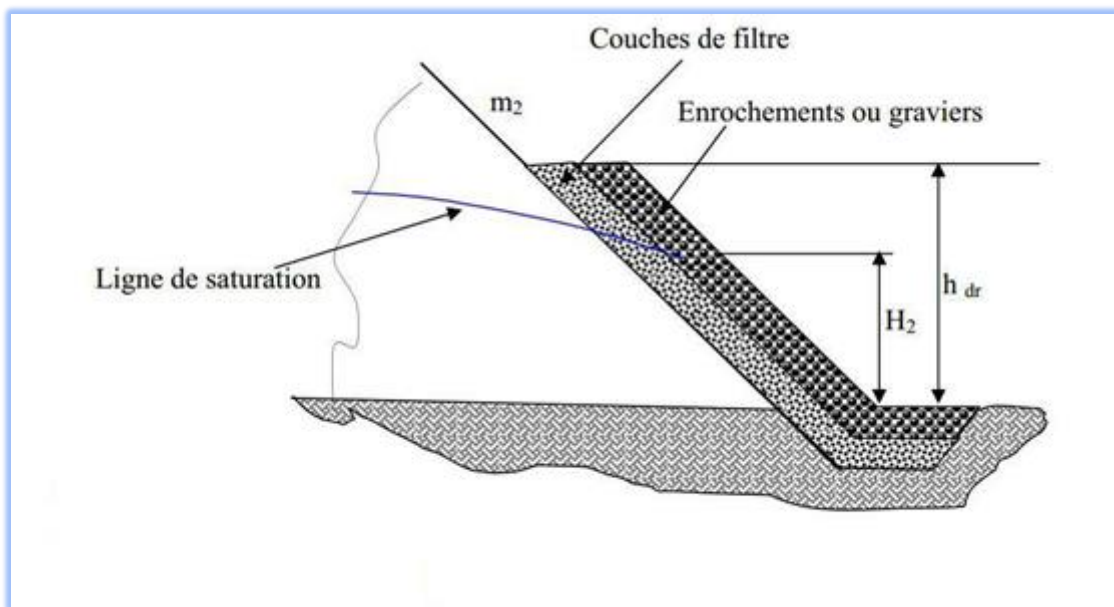


Figure I.11.drainage de surface

c) Drain tapis interne

C'est une bande drainante disposée dans la partie aval du massif et au contact avec sa fondation. Ce type de drainage assure le drainage du massif et de sa fondation et il présente l'avantage de rabattre la ligne de saturation à l'intérieur du massif. Sa réalisation est très facile mais sa réparation en cas d'avaries est impossible.

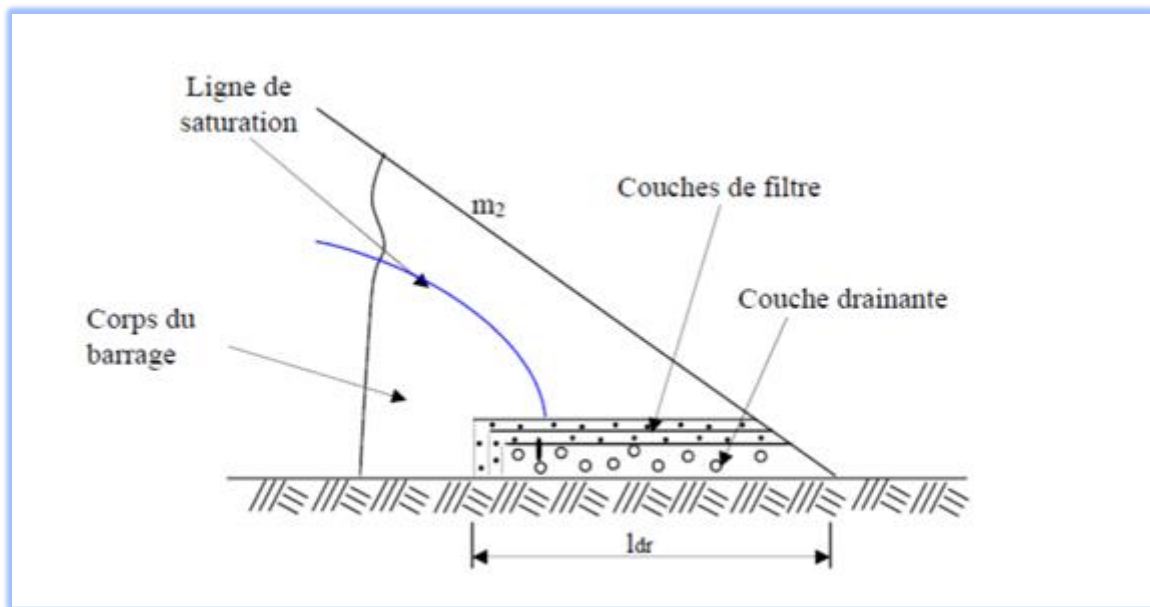


Figure I.12 : le drain tapis interne

d) Prisme de drainage avec drain tapis interne

Le plus souvent et pour des raisons de sécurité de l'ouvrage, on associe les deux variantes du prisme de drainage et du tapis interne. Ainsi le prisme de drainage est prolongé à l'intérieur du massif par un drain tapis interne. On rencontre deux variantes suivant qu'elles fondations sont perméables ou non.

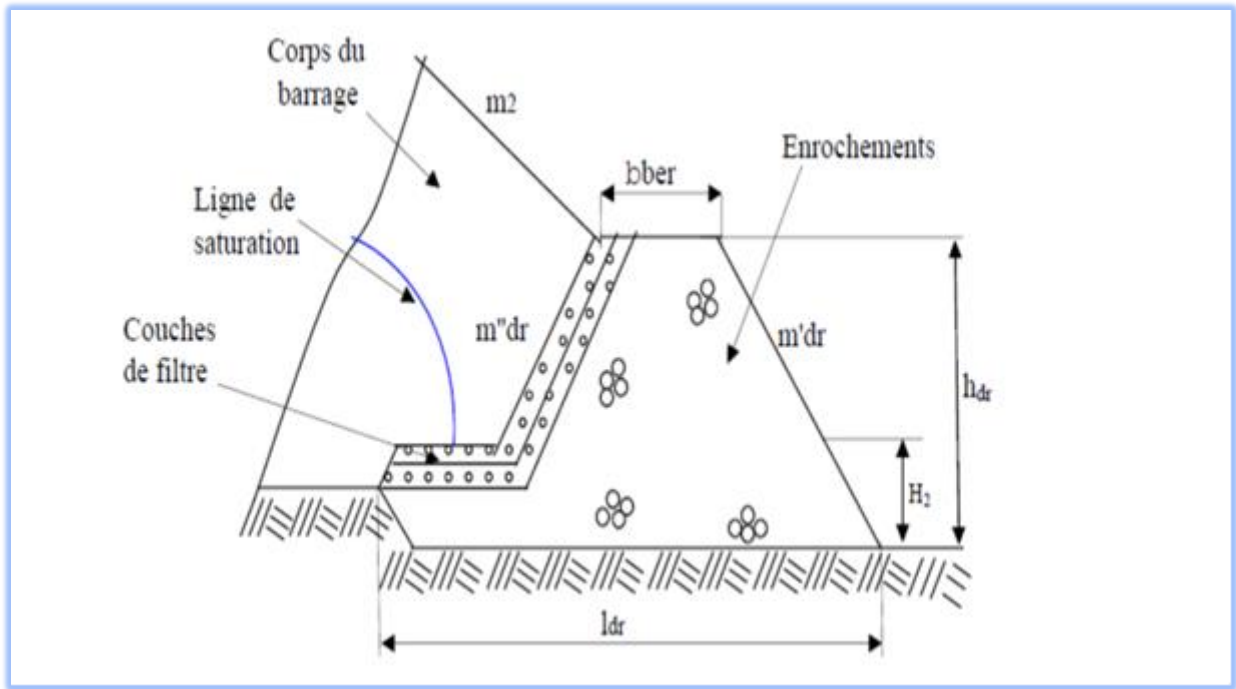


Figure I.13 : Prisme de drainage avec drain tapis interne sur fondations imperméable

e) Drainage a bande

C'est une variante du drain tapis interne mais la bande drainante n'est pas continue sur sa partie aval. Celle-ci est remplacée par des bandes discontinues.

Ce type de drainage est prévu quand la quantité des enrochements et graviers n'est pas suffisante et que la fondation est imperméable. La bande drainante peut être remplacée par des drains tuyaux.

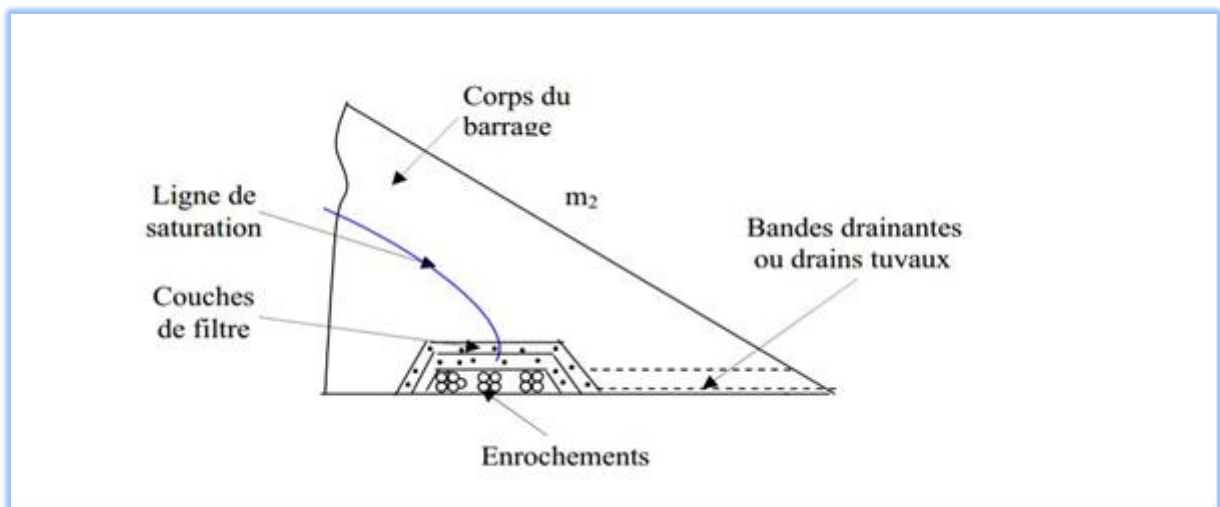


Figure I.14 : Drainage à bande des barrages

f) Drain vertical

Lorsqu'il y a de grands risques d'anisotropie, la seule solution valable est la projection d'un drainage vertical sous forme de bande d'enrochements ou de graviers protégée de part et d'autre par des filtres de transition (Figure. II.15). L'eau d'infiltration est acheminée vers l'aval du barrage par un réseau de tuyaux parallèles ou par un drain tapis filtrant s'il faut drainer la fondation.

Le dimensionnement du drain cheminé, qui représente à lui seul 79 % des systèmes drainants, est beaucoup plus complexe.

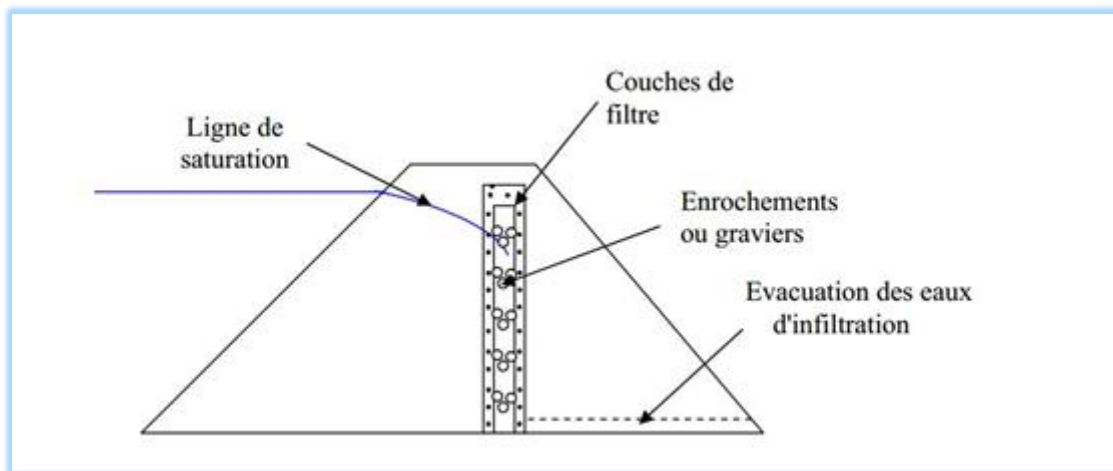


Figure I.15 : Drain vertical pour barrage en terre

Le drain vertical - ou drain cheminée - est une alternative intéressante au tapis drainant puisqu'elle permet d'éviter le dysfonctionnement potentiel du drainage consécutif à l'anisotropie de perméabilité mentionnée. L'épaisseur à retenir pour un tel drain est de l'ordre de 0,60 m et (l'implantation idéale se situe, un peu en aval de l'axe du remblai (afin de bénéficier au maximum de l'effet d'étanchéité)). Le sommet du drain est arasé au niveau normal du plan d'eau (NNE), il n'est pas nécessaire de le prolonger jusqu'au niveau des plus hautes eaux (PHE) qui est atteint à priori de façon trop temporaire pour affecter significativement l'état de saturation du remblai. Sa cote de base est calée de façon permettre l'évacuation gravitaire des eaux jusqu'en pied aval de digue. La pose, en fond de cheminée, d'un collecteur drainant facilite l'écoulement des eaux. Les exutoires peuvent être constitués de collecteurs PVC étanches débouchant dans le fossé de pied et espaces tous les 30 à 50 m dans le sens de la longueur du remblai. (CIGB, 1993).

Les drains peuvent être équipés de collecteurs qui sont des tuyaux drainants en plastique (PVC ou PEHD), souples ou rigides. Ces collecteurs drainants existent en deux types : circulaire doté de fentes sur l'ensemble du pourtour « drain agricole ». ou avec fentes seulement sur les 2/3 supérieurs « drain routier ».

II. Infiltrations à travers les barrages en remblais :

L'infiltration désigne le mouvement de l'eau pénétrant dans les couches superficielles du sol et l'écoulement de cette eau dans le sol et le sous-sol, sous l'action de la gravité et des effets de pression.

Le régime d'infiltration $i(t)$, nommé aussi taux d'infiltration, qui désigne le flux d'eau pénétrant dans le sol en surface. Il est généralement exprimé en mm/h. Le régime d'infiltration dépend avant tout du régime d'alimentation (irrigation, pluie), de l'état d'humidité et des propriétés du sol.

L'infiltration cumulative, notée $I(t)$, est le volume total d'eau infiltrée pendant une période donnée. Elle est égale à l'intégrale dans le temps du régime d'infiltration.

II.1.FACTEURS INFLUENÇANT L'INFILTRATION

L'infiltration est conditionnée par les principaux facteurs ci-dessous :

- **Le type de sol** (structure, texture, porosité) - Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration.
- **La compaction de la surface du sol** due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques et anthropiques) - L'utilisation de lourdes machines agricoles dans les champs peut par exemple avoir pour conséquence la dégradation de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur.
 - La topographie et la morphologie : Une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.
 - Le débit d'alimentation (intensité de la précipitation, débit d'irrigation).
 - La teneur en eau initiale du sol (conditions antécédentes d'humidité) L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol. Le régime d'infiltration au cours du temps évolue différemment selon que le sol est initialement sec ou humide.

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

- a- La ligne de saturation** : La ligne de saturation du massif du barrage, qui est en pratique confondue avec la ligne le long de laquelle la pression hydrostatique de l'eau au sein du massif est nulle. Cette dernière est appelée ligne phréatique et représente le niveau de la

surface libre dans le corps du barrage ou plus exactement elle représente la limite entre la partie sèche/humide et la partie saturée d'eau du barrage. La bonne connaissance de cette ligne est capitale pour pouvoir effectuer les calculs de stabilité de la digue.

- b- La pression de l'eau interstitielle :** La pression de l'eau interstitielle dans le massif, qui peut être déterminée à partir d'un réseau de lignes équipotentielles, c'est-à-dire de ligne reliant les points d'égal potentiel hydraulique au sein du barrage et des fondations.
- c- Le débit de fuite :** Le débit de fuite dû aux infiltrations, qui peut s'obtenir à partir du réseau de lignes de courant, orthogonales aux équipotentielles. Ces lignes de courant représentent la trajectoire de l'eau à travers le barrage.

II.2. Etude des réseaux d'infiltration dans un barrage en terre

La détermination des réseaux d'écoulement peut se faire de différentes façons :

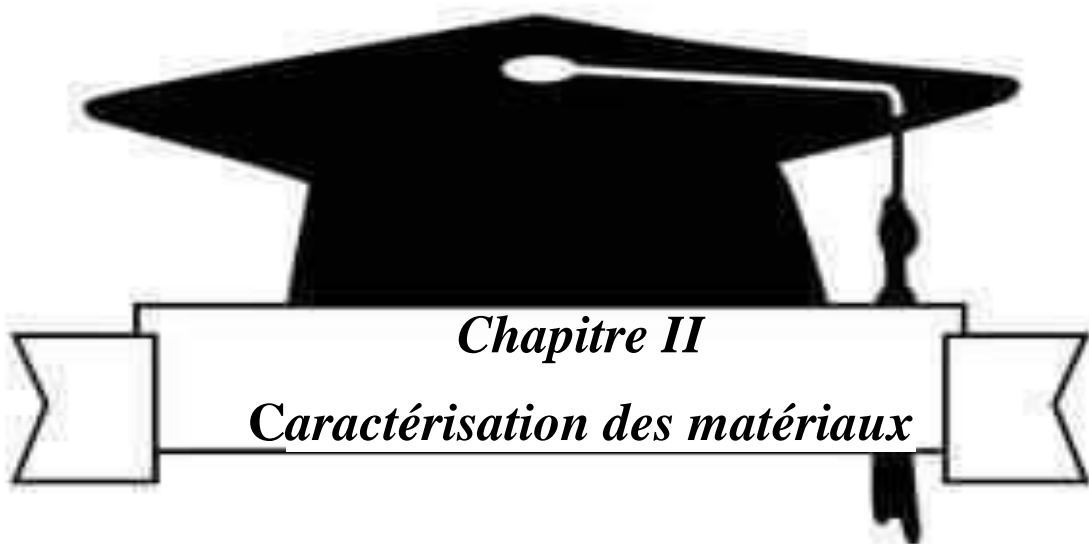
- ✓ Détermination par la recherche d'une solution analytique ;
- ✓ Détermination par la méthode graphique ;
- ✓ Détermination par la méthode analogique ;
- ✓ Détermination par la méthode numérique.

Conclusion

Au terme de ce chapitre consacré aux différents types de barrages en remblais, il importe de souligner l'extrême diversité de leur forme, du type de dispositif d'étanchéité adopté.

On peut dire que les filtres et les drains sont des organes indispensables pour le bon fonctionnement des barrages en terre mais leur efficacité est étroitement liée à leur dimensionnement et au choix de leur emplacement.

Certains types de drains ont des dimensions imposées par les conditions locales propres à chaque ouvrage tel que l'épaisseur de la zone imperméable sous le barrage, la hauteur du niveau aval ou encore le rôle du drain.



Chapitre II

Caractérisation des matériaux

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré en première partie à la présentation des équipements et du montage expérimental ainsi qu'à la description des matériaux utilisés et leurs différentes propriétés. Le modèle expérimental étudié consiste en un modèle de digue homogène construite par du sable lavé et d'une couche de sable grossier pour le drain. Les sections qui suivent décrivent en détail la géométrie et la composition de ce modèle.

Les essais expérimentaux ont été réalisés au laboratoire d'Hydraulique Générale de l'Université Amar Telidji Laghouat. Cependant, certaines manipulations, le tamisage et les essais de perméabilité.

II. 2. Caractéristique d'échantillon

II. 2. 1. Masse volumique

II. 2. 1. 1. Masse volumique absolue

Définition :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105 °C, notée ρ et exprimée en (g/cm³, kg/m³ ou T/m³).

Tableau. II.1. : Masse volumique réelle (absolue) des éléments constituant le sol est fonction des types de matériaux (www.grr.ulaval.ca).

Type de matériaux	La masse volumique réelle(absolue)
Minéraux argileux	2,00 – 2,65 g/cm ³
Quartz et feldspath (limon et sable)	2,50 – 2,60 g/cm ³
Minéraux contenant des éléments métalliques	4,90 – 5,30 g/cm ³
Fraction organique	1,30 – 1,40 g/cm ³

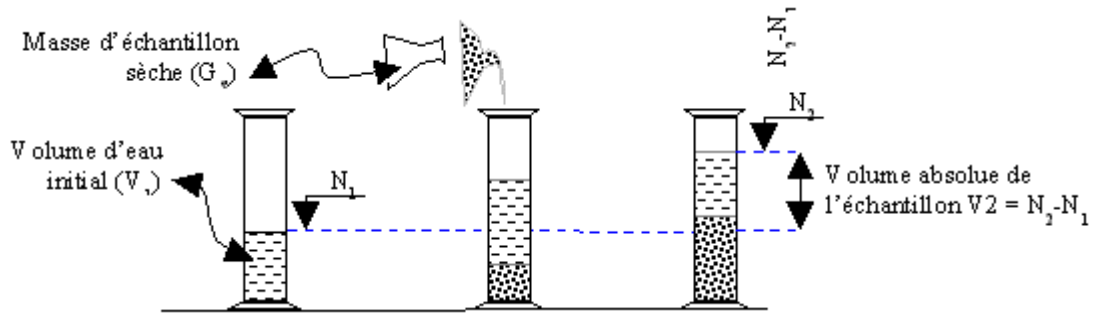


Figure II.1. Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

D'abord on va remplir une éprouvette gradué avec un volume (N_1) d'eau, ensuite on verse l'échantillon sec dans l'éprouvette et le niveau de l'eau va augmenter (N_2). La différence entre le niveau N_1 et N_2 est le volume absolu de l'échantillon. La masse volumique absolue peut se calcule :

$$\gamma = \frac{M_s}{N_2 - N_1} \tag{II.1}$$

γ : Masse volumique absolue du sol (g/cm^3) ;

M_s : Masse des solides sec (g).

On a fait l'essai pour deux masses solides sec 300g et 400g

Résultat des essais :

Tableau. II.2.Résultat de l'essai de masse volumique absolue.

Sable	Essais	M_{sec} (g)	N_1 (ml)	N_2 (ml)	γ (g/cm^3)	γ_{moy} (g/cm^3)
	1	300	500	620	2.5	2.5
	2	400	700	860	2.5	

Commentaire : Selon le tableau ci-dessus, nous concluons que l'échantillon étudié appartient à Quartz et feldspath (limon et sable) ($2,50 - 2,60 \text{ g/cm}^3$).

II. 2. 1. 2. Masse volumique apparente

Définition : C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, le résultat est exprimé en (kg/m^3 , T/m^3) et varie, de manière conséquente, en fonction de l'humidité de la matière. Par conséquent, il est indispensable d'associer la mesure de la masse volumique apparente à l'humidité de la matière au moment où la masse volumique a été déterminée.

La masse volumique apparente se mesure à l'aide d'un récipient-mesure.

La masse volumique apparente peut se calculer :

$$\gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}} \quad (\text{II.2})$$

γ_{ap} : la masse volumique apparente (kg/cm^3) ;

M_s : la masse d'un corps secs ;

V_{ap} : la masse volumique apparente.

Mode opératoire :

- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir,
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement,
- Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône,
- Araser à la règle,
- Peser le contenu.

Tableau. II.3. Ordres de grandeur des masses volumiques apparentes pour différents types de sols. ([Www.grr.ulaval.ca](http://www.grr.ulaval.ca)).

Types de sols	La masse volumique apparente
Sols sableux	1,40 – 1,70 g/cm
Sols argileux	1,00 – 1,50 g/cm
Sols tourbeux	0,30 – 1,00 g/cm

Résultat de l'essai

Tableau.II.4. Résultat de l'essai de masse volumique apparente.

V De ballon (cm ³)	M de ballon vide (g)	Essai	M De ballon Remplie (g)	M de sol net (g)	γ_{app} (g/cm ³)	γ_{app} moy (g/cm ³)
1000	2394.8	1	3947.4	1552.6	1.60	1.60
		2	3982.5	1587.7	1.60	
		3	3990.2	1595.4	1.60	

Commentaire :

Selon le tableau ci-dessus, nous concluons que l'échantillon étudié appartient à soles sableux (1.40– 1.70g/cm³).

II. 2. 2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et le pourcentage respectif de différentes familles de grains constituant un échantillon de sol. L'analyse consiste à séparer et à classer les grains selon leurs diamètres, à l'aide d'une série de tamis emboîtés les uns dans les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés.



photo.II.2.Refus dans les différents tamis

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- ✓ en abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes ;
- ✓ en ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total, de la fraction du sol dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant).

Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés (Norme NFP18-101) :

- ✓ Les fines $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm,
- ✓ Les sables $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm,
- ✓ Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm,
- ✓ Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
- ✓ Les graves d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm,

On détermine en particulier

- ✓ la dimension des plus gros éléments D_{\max} ;

- ✓ le pourcentage de tamis à 2mm, à 80µm ;
- ✓ les dimensions dN pour N fixé (N en pour cent désigne la dimension des grains dont le pourcentage N est de dimension inférieure ou égale à d) ;
- ✓ le facteur d'uniformité de Hazen : $C_u = d_{60} / d_{10}$;
- ✓ le facteur de courbure : $C_c = (d_{30})^2 / (d_{10} \cdot d_{60})$;
- ✓ **d₁₀ : diamètre efficace.**
- ✓ Pour accepter le résultat, il faut la perte < 4%.

$$S = R_n + P$$

Avec :

S : somme des refus partiels.

R_n : masses des différents refus cumulés.

P : reste de refus du tamis.

M : masse total d'échantillon.

$$\text{La perte} = ((M - S) / M) \cdot 100 \tag{II.3}$$

Mode opératoire

L'expérience se fait en mettant une quantité d'échantillon (sable) dans une série des tamis à des dimensions croissantes de bas en haut, on prévoit en dessous un récipient à font plein pour recueillir les éléments fins et en dessus un couvercle pour éviter la dispersion des poussières.

Dans notre travail on utilise une série de tamis de maillage métallique carré compris entre d et D, avec un fond et un couvercle. Les tamis sont de dimensions :

0.08mm ; 0.1mm ; 0.125mm ; 0.16mm ; 0.2mm ; 0.25mm ; 0.315mm ; 0.4mm ; 0.5mm ; 0.63mm ; 0.8mm.

Résultat d'analyse granulométrique de sable :

Le résultat de l'analyse granulométrique de sable est représenté dans le tableau ci-dessous :

$$t = 11s \quad M = 4000g$$

Tableau.II.5. Résultats de l'analyse granulométrique de sable.

Tamis (mm)	Poids refus partiel (kg)	Poids refus partiel (g)	Poids refus (%)	Poids refus Cumulé (g)	Poids refus Cumulé (%)	Tamisât (%)
0.8	0	0	0	0	0	100

0.63	0.002	2	0.05	2	0.05	99.95
0.5	0.009	9	0.225	11	0.275	99.725
0.4	0.039	39	0.975	50	1.25	98.75
0.315	0.042	42	1.05	92	2.3	97.7
0.25	0.051	51	1.275	143	3.575	96.425
0.2	0.045	45	1.125	188	4.7	95.3
0.16	0.058	58	1.45	246	6.15	93.85
0.125	0.070	70	1.75	316	7.9	92.1
0.1	2.32705	2327.05	58.18	2643.05	66.08	33.92
0.08	1.345	1345	33.63	3988.05	99.71	0.29
Reste	0.01	10	0.25	3998.05	99.96	0.04
Σ	3.99805	3998.05	100			

D'après l'équation (II.3) et les résultats de tableau au-dessus on trouve :

$$\begin{aligned}
 \text{La perte} &= ((M - S) / M) \cdot 100 \\
 &= ((4000 - 3998.05) / 4000) \cdot 100 \\
 &= \mathbf{0.04 = 4\%}
 \end{aligned}$$

Commentaire :

Donc on peut dire que les résultats de l'analyse granulométrique de sable est acceptable

II. 2. 3. Analyse de courbe granulométrique

II. 2. 3. 1. Courbe granulométrique de sable

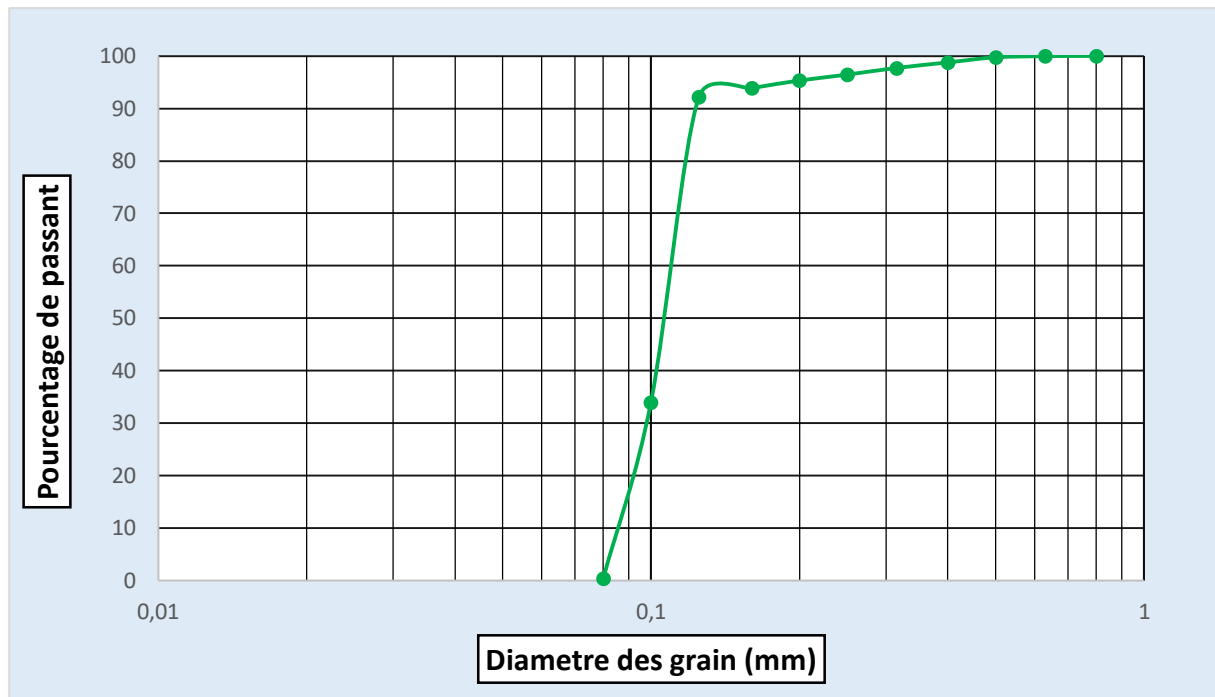


Fig. II.2. Courbe granulométrique

II.3. Application d'essai :

II.3.1. Coefficients d'uniformité et de courbure

Les courbes granulométriques obtenues et leurs pentes moyennes permettent de caractériser le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux du sol. D'où la définition de deux caractéristiques. Il s'agit du rapport de Hazen ou coefficient d'uniformité de Hazen (C_u) et le coefficient de classement (C_c).

a) Coefficients d'uniformité

Le coefficient d'uniformité caractérise la répartition en taille des éléments qui composent un matériau de type sol. Il se calcule de la façon suivant :

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

C_u : le coefficient d'uniformité ;

d_{60} : le tamis correspondant à 60% du passant cumulé sur la courbe granulométrique ;

d_{10} : le tamis correspondant à 10% du passant cumulé sur la courbe granulométrique.

Selon la valeur du coefficient d'uniformité, on reconnaît cinq classes de granulométrie

(Robitaille, V., 1997) :

- ✓ $C_u \leq 2$ granulométrie très serrée ;
- ✓ $2 < C_u \leq 5$ granulométrie serrée ;
- ✓ $5 < C_u \leq 20$ granulométrie semi-étalée ;
- ✓ $20 < C_u \leq 200$ granulométrie étalée ;
- ✓ $200 < C_u$ granulométrie très étalée.

b) Coefficient de courbure

Le coefficient de classement ou de courbure (C_c) quant à lui, permet de décrire la forme de la courbe granulométrique entre D_{10} et D_{60} . Le coefficient de classement fait appel à la notion de diamètre effectif correspondant au pourcentage (%) de passants placés en indice déterminé à l'aide de la courbe granulométrique. D_{60} est le diamètre effectif des particules qui correspond à 60 % de passants, D_{10} est le diamètre effectif des particules qui correspond à 10 % de passants et D_{30} le diamètre effectif des particules qui correspond à 30 % du passant.

Ainsi, si le sol est bien gradué, on a la présence d'une grande variété de diamètres. Lorsque $1 < C_c < 3$, la courbe granulométrique descend d'une façon assez régulière, indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres. Un C_c trop grand ou trop petit indique l'absence de certains diamètres entre les diamètres effectifs D_{10} et D_{60} , la granulométrie est alors mal graduée.

La détermination du coefficient de classement est donnée par la formule suivante :

$$C_c = (d_{30})^2 / (d_{10} * d_{60}) \quad (II.5)$$

Avec :

d_{30} : diamètre effectif des particules qui correspond à 30% du passant.

Ce coefficient constitue un indice de la variation relative de la pente de la courbe. Les plages du littoral de la Casamance étant essentiellement sableuses, sa référence est :

$1 < C_c < 3$ et $C_u > 6$, témoin d'un sol bien gradué expliquant la présence d'une grande variété de diamètres.

Tableau. II. 6 : Coefficients d'uniformité et de courbure.

Courbe	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _u	C _c	Classement selon C _u	Classement selon C _c
Sable	0.09	0.1	0.11	1.29	1.01	granulométrie très serrée	Bien graduée

Commentaire :

$1 < C_c = 1.01 < 3$ et $C_u = 1.29 < 3$, alors la courbe granulométrique est uniforme descend d'une façon assez régulière, indiquant ainsi la présence d'une grande variété de diamètres.

II.4. Description du bassin de perméabilité

L'image de la figure (II.3) et le schéma de la figure (II.3) montrent la configuration du dispositif expérimental. La digue a été construite sous forme rectangulaire dans un dispositif de 150 cm de longueur, de 60 cm de hauteur (profondeur) et de 10 cm de largeur.

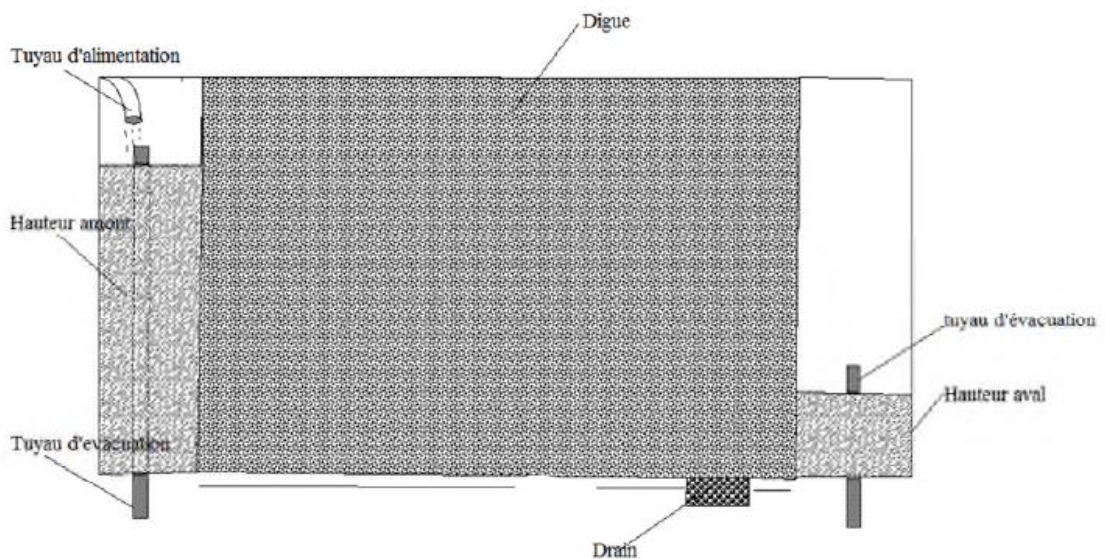


Figure.II.3. Schéma représentant le dispositif hydraulique

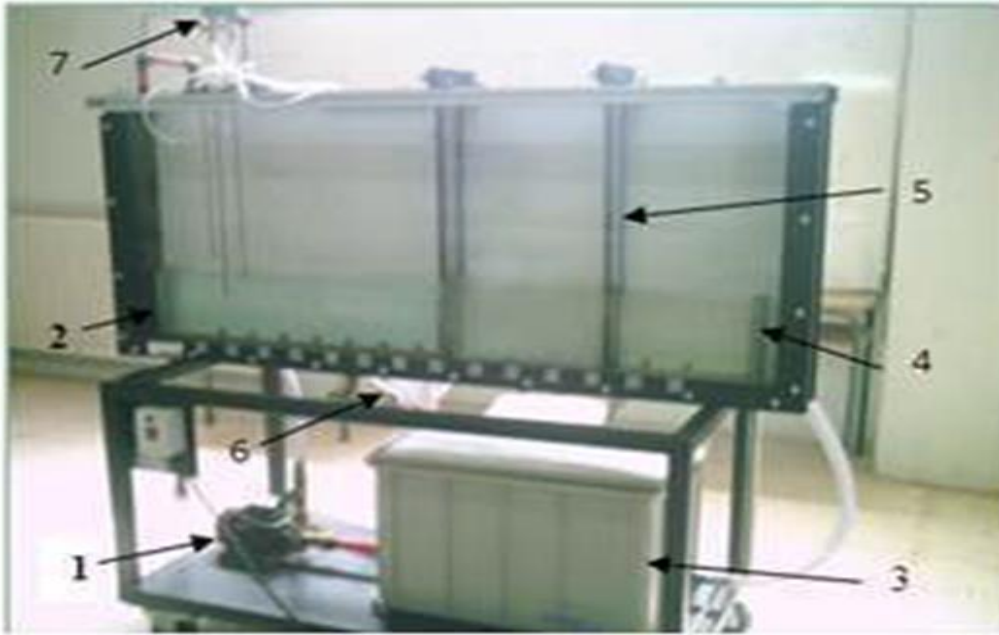


Figure.II.4.photo de description de bassin de perméabilité

- 1-Pompe ;
- 2-Trop plein amont ;
- 3-Trop plein aval ;
- 4-Plaque ;
- 6-Piézomètre ;
- 7-Réserveur de colorant.

Le dispositif est partagé en trois parties, la première représente le réservoir de stockage qui est alimenté par un circuit fermé constitué d'une pompe centrifuge pour assurer une charge constante dans le réservoir, la hauteur de l'eau dans ce dernier est de 150cm, l'eau en excès se déverse à travers un tuyau d'évacuation. La deuxième est le barrage homogène construit par du sable homogène et qui est constitué d'un drain horizontal au pied. La troisième partie est la hauteur aval du barrage. Le long de cette expérience nous allons varier cette hauteur. Les infiltrations qui s'effectuent du côté amont vers le côté aval font augmenter la charge à l'aval, cette charge se déverse par un tuyau d'évacuation, le débit qui sort est le débit de fuite.

II.4.1. Détermination de coefficient de perméabilité du matériau utilisé**II.4.1.1. Perméabilité horizontale**

Pour déterminer le coefficient de perméabilité horizontale on procède de la manière suivante (Figure .II.5).

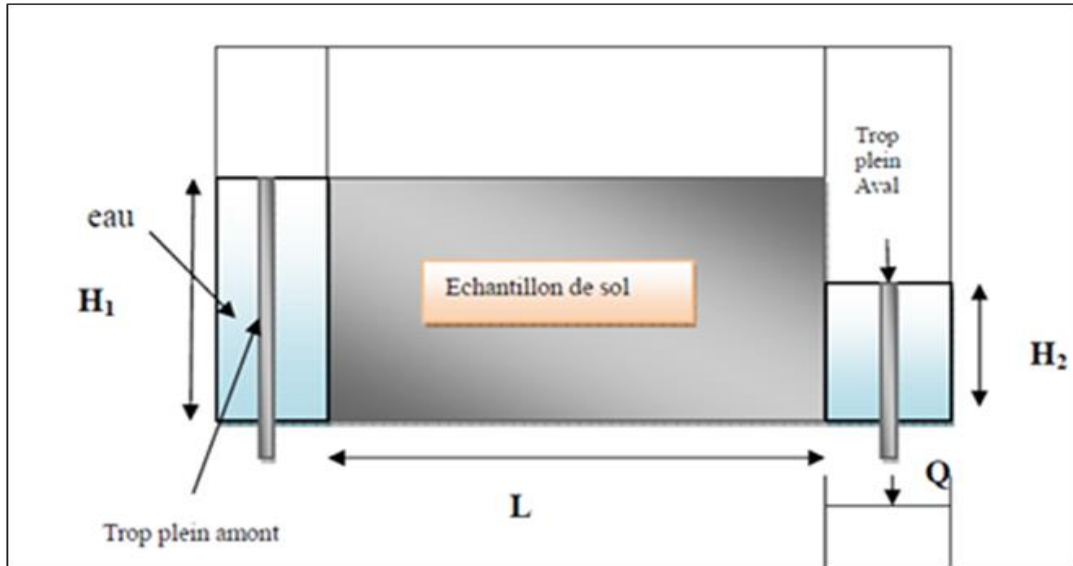
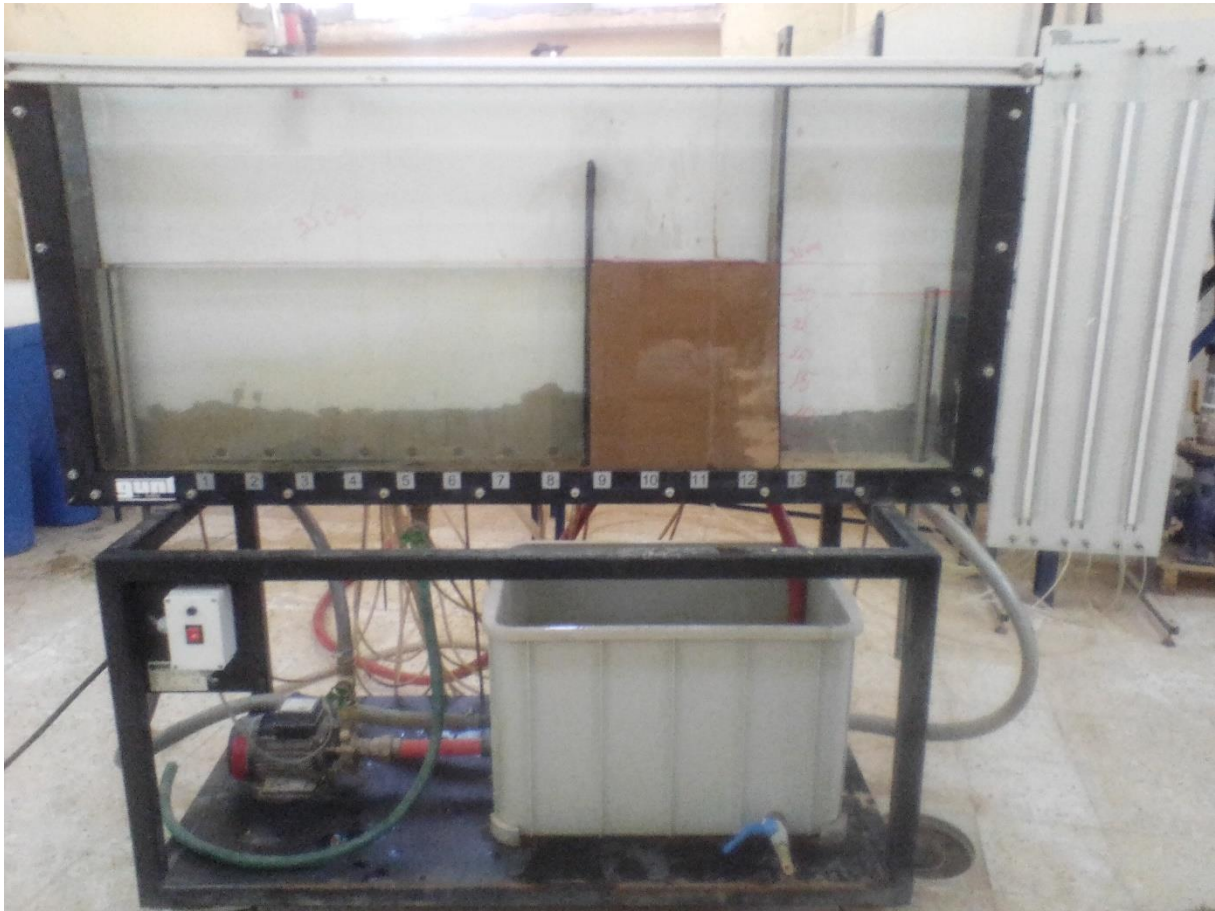


Fig. II. 5. Schéma du bassin de perméabilité (écoulement horizontal)



PhotoII.3. bassin de perméabilité (écoulement horizontal)

On pose à l'intérieur du bassin de perméabilité, le premier échantillon (sable) entre deux plaque perforé ; pour déterminer son perméabilité. La hauteur et la longueur de l'échantillon sont respectivement $H_{\text{amont}} = 35 \text{ cm}$, $L = 30 \text{ cm}$.

Pour obtenir la valeur de coefficient de perméabilité, il faut garder les mêmes conditions thermiques, c'est-à-dire faire une correction de chaque débit d'infiltration à une température constante $T = 20^\circ\text{C}$.

On utilise la relation qui relie le coefficient de perméabilité à l'inverse du coefficient de viscosité :

$$k = \frac{k_g}{\vartheta} \quad (\text{II.6})$$

Sachant que le débit est proportionnel au coefficient de la perméabilité, donc le débit à $T = 20^\circ\text{C}$ est donné par :

$$\frac{Q_{20}}{Q_t} = \frac{\vartheta_t}{\vartheta_{20}} \quad (\text{II.7})$$

$$Q_{20} = Q_t \frac{\vartheta_t}{\vartheta_{20}} \quad (II.8)$$

Ou :

Q_t : débit d'infiltration (cm³/s) ;

Q_{20} : débit d'infiltration (cm³/s) ;

ϑ_t : viscosité cinématique en (Stokes) [1stokes=10⁻⁴ m²/s] à T (°C) ;

T : température (°c).

La viscosité cinématique est donnée par la relation suivante :

$$\vartheta = \frac{0.0178}{(1+0.337T+0.000221T^2)} \text{ (stokes)} \quad (II.9)$$

Mesures de débit pour l'échantillon

Chaque fois nous mesurons la quantité d'eau infiltrée Q à travers l'échantillon en fonction de la variation de la charge en aval.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau. II. 7 : Résultats de mesure de débit pour l'échantillon.

H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	T (°C)	H ₁ ² -H ₂ ² (cm ²)	t (s)	V (cm ³)	Q (cm ³ /s)	Q _{moy} (cm ³ /s)	Q _{moy} (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)
35	30	18	325	120	83	0.692	0.69	0.692	0.758
					82.5	0.688			
				180	129.5	0.719	0.721		
					130	0.722			
				240	160	0.667	0.665		
					159	0.663			
	25	22	600	120	148	1.233	1.240	1.217	1.119
					149.5	1.246			
				180	218.5	1.214	1.212		
					218	1.211			
				240	288	1.20	1.190		
					287.5	1.198			
20	25	825	120	193.5	1.613	1.609	1.610	1.320	
				192.5	1.604				
			180	290.5	1.614	1.611			
				289.5	1.608				
			240	387.5	1.615	1.611			
				385.5	1.606				

	15	26	1000	120	235.5	1.963	1.969	1.937	1.533
					237.0	1.975			
				180	345.5	1.919	1.919		
					345.5	1.919			
				240	461.5	1.923	1.923		
					461.5	1.923			
	10	26	1125	120	274.0	2.283	2.275	2.231	1.766
					272.0	2.267			
				180	405.5	2.253	2.248		
					403.5	2.242			
				240	521.5	2.173	2.169		
					519.5	2.165			
5	24	1200	120	285.5	2.379	2.371	2.353	2.001	
				283.5	2.363				
			180	424.0	2.356	2.353			
				423.0	2.350				
			240	561.0	2.338	2.336			
				560	2.333				

Présentation le courbe $Q_{20} (H_1^2 - H_2^2)$

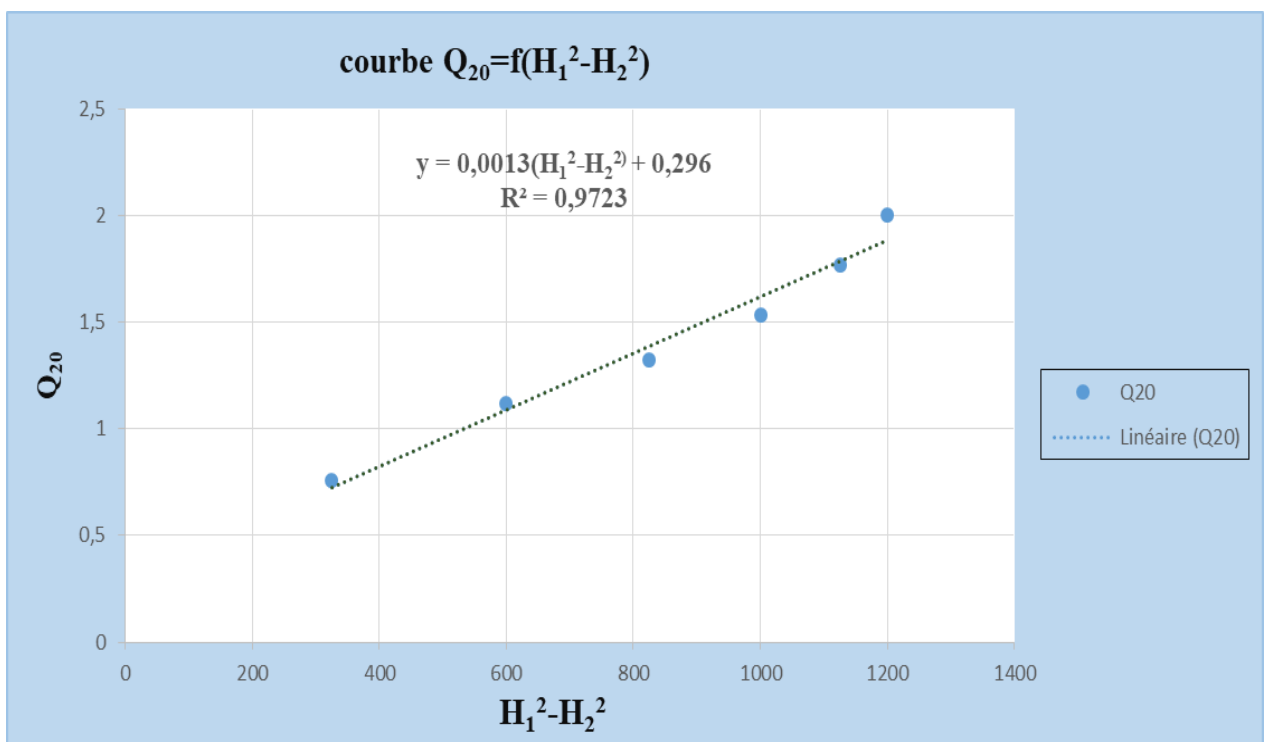


Fig. II. 6. Courbe de $f(x) = Q20 (H_1^2-H_2^2)$

On utilise la formule de **Dupuit** pour déterminer le coefficient de perméabilité horizontale :

$$Q = K_h \frac{(H_1^2 - H_2^2) b}{2L} \quad (\text{II.10})$$

Avec :

Q : débit (cm³/s) ;

K_h : perméabilité horizontale (cm/s) ;

H₁ : hauteur de l'eau à l'amont (cm) ;

H₂ : hauteur de l'eau à l'aval (cm) ;

b : largeur du bassin de perméabilité (cm) ;

L : longueur de l'échantillon (cm).

D'après l'équation (II.10), on détermine graphiquement le coefficient de perméabilité horizontale (figure.II.6) :

$$Q = A(H_1^2 - H_2^2) \quad \text{Tel que } A = \frac{K_h b}{2L} \quad (\text{II.11})$$

A est la pente (la tangente).

$$k_h = A \frac{2L}{b} \quad (\text{II.12})$$

On déduit la tangente de courbe :

Sable :

$$A = 0.0013$$

D'après l'équation II.12 :

$$K_h = 0.026 \text{ cm/s}$$

$$K_v = 2.6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

II.4.1.2. Perméabilité verticale

Le principe de la mesure consiste à relier le débit Q traversant un échantillon de sol saturé (écoulement permanent) à la charge H sous laquelle se produit l'écoulement suivant l'ordre de grandeur de la perméabilité du sol étudié. (Jacques, L., 2005).

Le coefficient de perméabilité, appelé perméabilité dans la suite, est calculé à partir de la loi de Darcy exprimant la proportionnalité entre le gradient hydraulique $\Delta H/L$ et le débit Q d'un fluide incompressible visqueux traversant un milieu poreux homogène

$$\frac{Q}{s} = \frac{k_v \cdot \Delta H}{\Delta L} \quad (\text{II.13})$$

$$k_v = \frac{\Delta L}{\Delta H} \cdot \frac{Q}{s} \quad (\text{II.14})$$

Pour déterminer la perméabilité verticale du sable, on utilise le bassin de perméabilité à charge constante, l'expérience a donné ce qui suit :

- ❖ $S = 265 \text{ cm}^2$;
- ❖ $\Delta L = 35 \text{ cm}$;

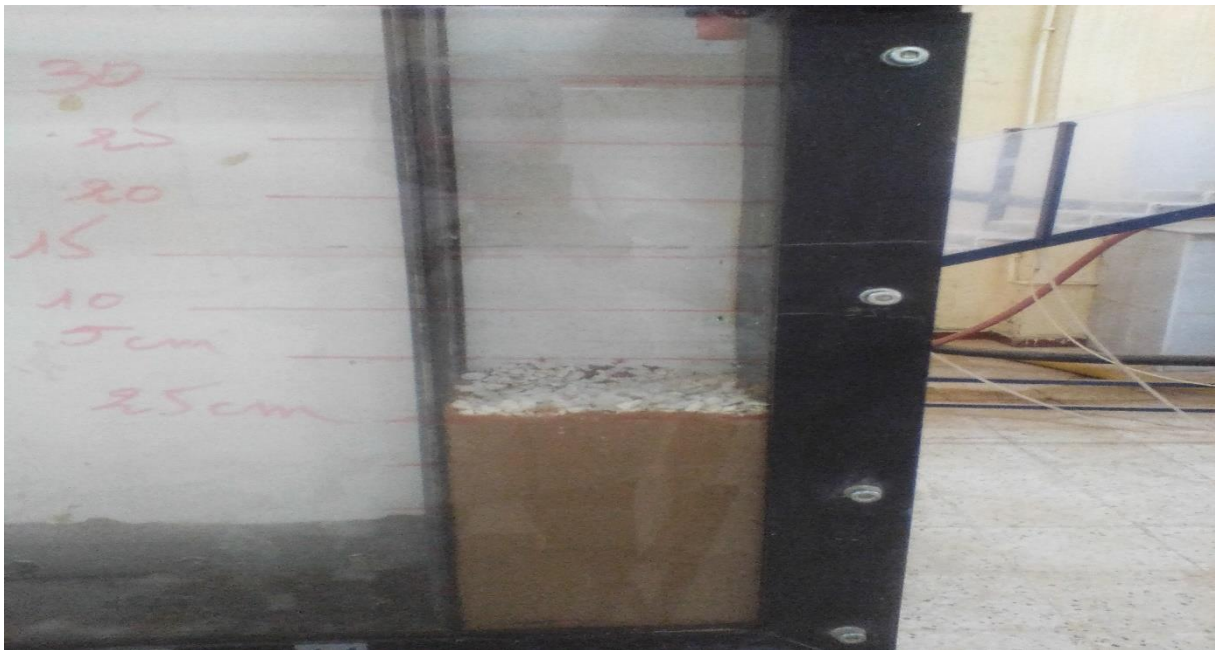


Photo. II.4. Mesure de la perméabilité verticale

La quantité d'eau infiltrée Q à travers l'échantillon en fonction de la variation de la charge est mesurée. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II. 8 : Mesures de débit pour la perméabilité verticale.

H (cm)	T (°C)	t (s)	V (cm ³)	Q (cm ³ /s)	Q _{T moy} (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)
60.4	21	120	221.5	1.846	1.833	1.755
		240	436.5	1.819		
		300	550	1.833		
55	18	120	188	1.567	1.560	1.711
		240	374.5	1.560		
		300	464.5	1.552		
50	29	120	187.5	1.563	1.570	1.112
		240	376.5	1.569		
		300	473	1.577		
45	26	120	162	1.35	1.354	1.069
		240	322.5	1.344		
		300	410.5	1.368		
40	24	120	143	1.192	1.197	1.017
		240	289.5	1.192		
		300	358	1.193		
35	22	120	132	1.1	1.073	0.986
		240	256	1.067		
		300	315.5	1.052		
30	21	120	147	0.850	0.963	0.922
		240	200	0.833		
		300	249	0.83		

Les résultats obtenus sont traduits graphiquement dans la figure suivante :

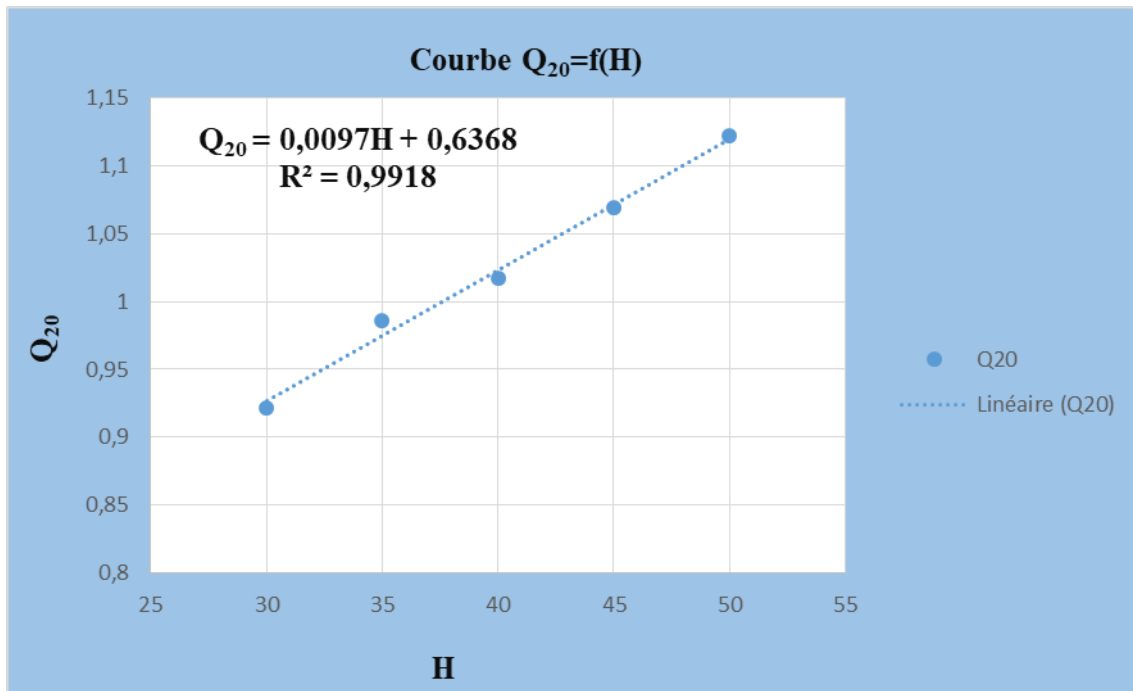


Fig. II. 7. Courbe de Q₂₀= f (H)

Nous déterminons graphiquement le coefficient de perméabilité verticale (figure II. 5) :

$$Q = A \cdot \Delta H \quad \text{Tel-que } A = k_v \cdot \frac{S}{\Delta L} \quad (\text{II.15})$$

A est la pente (la tangente).

$$k_v = A \frac{\Delta L}{S} \quad (\text{II.16})$$

On déduit la tangente de courbe

Sable :

$$A=0.0097$$

D'après la formule (II.16) :

$$K_v= 0.0013 \text{ cm/s}$$

$$K_v=1.3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Conclusion :

Ce chapitre a permis d'illustrer le montage expérimental et les équipements utilisés lors de la réalisation des essais expérimentaux. La géométrie du modèle qui a été utilisé dans l'étude et leur composition a été présentée. De plus, on a déterminé les différentes propriétés physiques des matériaux utilisés, tels que la distribution granulométrique et la perméabilité. Les essais ont été réalisés sur un modèle de digue en terre composé d'un drain horizontal.

Notre objectif est le développement d'un modèle physique simple permettant d'étudier les infiltrations à travers un barrage en terre homogène avec drain horizontal, et de voir l'effet de la dimension du drain sur la ligne de saturation et sur le débit de fuite. Les résultats obtenus, leur exploitation et leur interprétation sont présentées dans le chapitre suivant.



Chapitre III

Résultats finaux

III.1.Introduction

La quantité d'eau s'infiltrant à travers et sous un barrage en terre ainsi que la distribution de la pression interstitielle peuvent être déterminées par la théorie de l'écoulement dans les milieux poreux, la quantité d'eau ainsi déterminée est utilisée pour l'estimation des pertes d'eau à partir de la retenue. La distribution des pressions interstitielles, quant à elle, est utilisée en premier lieu pour l'analyse de stabilité contre le glissement et aussi parfois pour l'étude du gradient hydraulique à l'exutoire des eaux d'infiltration et qui donne une idée sur le potentiel érosif.

Nous allons étudier les fuites à l'intérieur des barrages en terre et cela se fait de deux manières : une méthode expérimentale qui a lieu en laboratoire et une méthode de calcul (Méthode de Kozeny).

Ces méthodes sont employées pour déterminer les paramètres hydrauliques de l'infiltration (la construction du réseau d'écoulement, débit d'infiltration.) De nombreux chercheurs ont étudiés les problèmes d'infiltration dans les milieux poreux. Il existe différentes techniques traitant de ce problème chacun d'eux est adapté à certains types de problèmes.

III.2. Méthodes de résolution des infiltrations

Il existe plusieurs méthodes pour la résolution des infiltrations à travers un barrage en terre :

- Méthodes expérimentales ;
- Méthodes graphiques ;
- Méthodes analytiques ;
- Méthodes numériques.

Mais dans notre travail on a utilisée deux méthodes :

III.2.1.Méthodes expérimentales (modèle de bassin de perméabilité)

En principe, les expériences de bassin de perméabilité représentent des reproductions à petite échelle des systèmes d'écoulement à grande échelle. En substance, on construit une maquette (généralement du sable) du prototype dans un bassin équipé de l'avant perforé et permet le passage de l'eau, lorsque l'état d'équilibre des flux est atteinte, un colorant est introduit à divers en droit se long de la limite amont à proximité de la paroi transparente pour former les traces des lignes de courant.

Nous avons utilisé un modèle de bassin de perméabilité, afin d'évaluer la longueur du drain horizontal dans les barrages en terre homogène, repose sur une base perméable.



Photo.III.1.Modèle d'un barrage en terre avec un drain horizontal

Description des essais

Pour obtenir les résultats du débit d'infiltration nous somme construire une petite modèle du barrage avec les dimensions suivantes :

❖ **Essai I**

n=3 l=60cm

Nous somme résumées les résultats dans les tableaux suivants :

Tableau III.1.les mesures de débit dans la base perméable n=3

H (cm)	T (°C)	t (s)	V (cm³)	Q (cm³/s)	Q_T (cm³/s)	Q₂₀ (cm³/s)	Q₂₀/10⁻⁶ (m³/s.ml)
15	16	120	22.5	0.19	0.19	0.23	2.3
		180	35	0.19			
		240	49	0.20			
19	19	120	64	0.53	0.55	0.58	5.8
		180	98.5	0.55			
		240	134.5	0.56			
23	19	120	142.5	1.19	1.20	1.26	12.6
		180	211	1.17			
		240	301.5	1.25			
26	20	120	237.5	1.98	2.02	20.2	20.2
		180	363.5	2.02			
		240	498.5	2.07			
28	20	120	300	2.5	2.53	2.53	25.3
		180	455.5	2.53			
		240	613.5	2.55			

❖ Essai II

n=2.5

l=60cm

Tableau III.2. les mesures de débit dans la base perméable n=2

H (cm)	T (°C)	t (s)	V (cm ³)	Q (cm ³ /s)	Q _T (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ /10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)
15	16	120	72.5	0.61	0.62	0.753	7.53
		180	113.5	0.63			
		240	148	0.62			
19	17	120	118	0.98	0.99	1.141	11.41
		180	181.5	1			
		240	242	1			
23	18	120	179.5	1.5	1.52	1.67	16.7
		180	273.5	1.52			
		240	372	1.55			
26	19	120	260.5	2.17	2.15	2.25	22.5
		180	385	2.14			
		240	515.5	2.15			
28	19	120	305	2.54	2.56	2.68	26.8
		180	460	2.56			
		240	616	2.57			

❖ Essai III

n=2

l=60

Tableau.III.3. les mesures de débit dans la base perméable n=2

H (cm)	T (°C)	t (s)	V (cm ³)	Q (cm ³ /s)	Q _T (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ /10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)
15	20	120	84	0.7	0.71	0.71	7.1
		180	129.5	0.72			
		240	169.5	0.71			
19	20	120	135	1.13	1.13	1.13	11.3
		180	205.5	1.14			
		240	270	1.13			
23	20	120	207	1.73	1.71	1.71	17.1
		180	308	1.71			
		240	408.5	1.70			
26	21	120	264	2.2	2.23	2.14	21.4
		180	402.5	2.24			
		240	536.5	2.24			
28	21	120	318	2.65	2.67	2.56	25.6
		180	484.5	2.69			
		240	643.5	2.68			

❖ Essai IV

n=1.5

l=60

Tableau.III.4.les mesures de débit dans la base perméable n=1.5

H (cm)	T (°C)	t (s)	V (cm ³)	Q (cm ³ /s)	Q _T (cm ³ /s)	Q ₂₀ (cm ³ /s)	Q ₂₀ /10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)
15	21	120	120	1	1	0.96	9.6
		180	180	1			
		240	241.5	1			
19	22	120	175.5	1.46	1.46	1.34	13.4
		180	263	1.46			
		240	352.5	1.47			
23	22	120	252	2.1	2.11	1.94	19.4
		180	381	2.12			
		240	508.5	2.12			
26	22	120	312	2.6	2.62	2.41	24.1
		180	474.5	2.63			
		240	631.5	2.63			
26	22	120	370.5	3.09	3.10	2.85	28.5
		180	585	3.1			
		240	746.5	3.11			

Présentation graphique :

Les résultats obtenus sont traduits graphiquement dans la figure suivante :

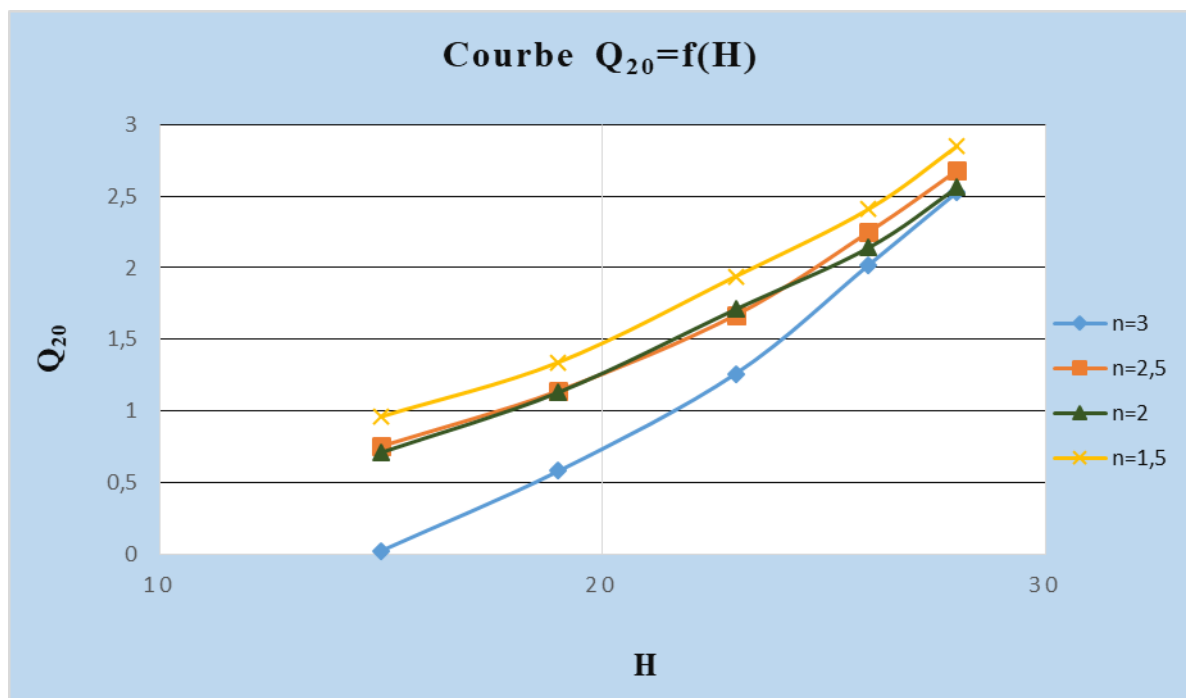


Figure.III.1.Variation des débits de drain à différentes pentes(n)

Commentaire :

A partir de graphe ci-dessus (fig.III.1), nous remarquons que le débit du drain diminue avec l'augmentation de n , ceci est due à la quantité du sol qui gêne l'écoulement et augmente la perte de charge à travers le barrage, donc c'est dû à l'augmentation de la longueur de l'écoulement donc une diminution du gradient hydraulique. Nous constatons aussi que le débit de fuite augmente avec l'augmentation de la charge, c'est-à-dire l'augmentation du gradient hydraulique.

III.2.2.Méthode analytique semi-empirique de Kozeny

Pour un barrage en terre constitué de matériaux homogènes assis sur une fondation imperméable, la ligne de saturation coupe la face aval du massif.

Cette position n'est pas influencée par la perméabilité du matériau composant le massif. Elle ne dépend que de la forme géométrique du massif. Ceci bien entendu dans le cas de l'isotropie.

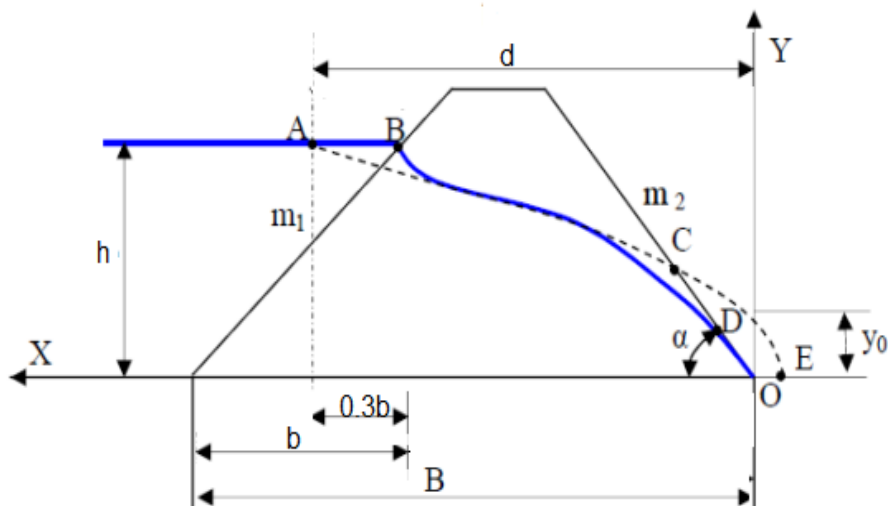


Figure.III.2. Ligne de saturation pour barrage homogène

Kozeny a montré que pour les conditions énoncées ci-dessus la ligne de saturation, s'il n'y avait pas d'influence à l'entrée et la sortie de massif serait une courbe parabolique de foyer A et d'axe A_x représentée en tirets sur le schéma et d'équation :

$$(x + y_0)^2 = x^2 + y^2 \tag{III.1}$$

Pour des valeurs données de y les paraboles coupent la ligne délimitant le plan d'eau de la retenue en des points tels que B_2 de coordonnées $y = h$ et $x = d$.

La ligne de saturation d'après Kozeny :

Parabole de base :

$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \tag{III.2}$$

Avec :

$$b = h * n$$

$$d = B - 0.7b$$

$$Q = \sqrt{k_v * k_h} * y_0 \tag{III.3}$$

Notre barrage est homogène isotrope c'est-à-dire $K_h = k_v$

$$Q = k_h * y_0 \tag{III.4}$$

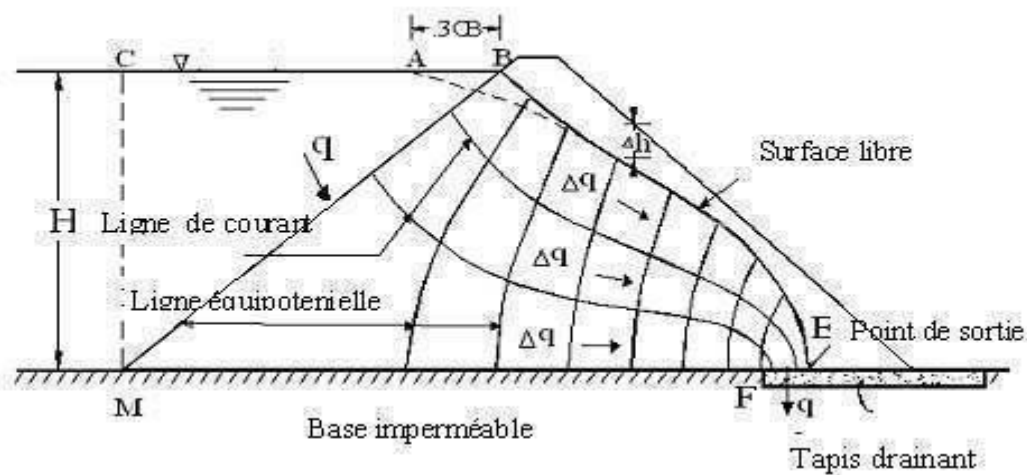


Figure.III.3. Infiltration à travers barrage en terre homogène avec tapis horizontal

D'après les équations III.2 et III.4 nous sommes résumés les résultats dans les tableaux suivants :

Tableau.III.5. différence des débits calculés avec $k_h = 2.6 * 10^{-6} \text{ (m}^3\text{/s.ml)}$ ($n=3, n=2.5$)

H (cm)	n=3			n=2.5		
	Y_0	$Q_{ex} * 10^{-6}$ (m ³ /s.ml)	$Q_{th} * 10^{-6}$ (m ³ /s.ml)	Y_0	$Q_{ex} * 10^{-6}$ (m ³ /s.ml)	$Q_{th} * 10^{-6}$ (m ³ /s.ml)
15	1.89	2.30	4.91	1.74	7.53	45.24
19	3.48	5.80	9.04	3.09	11.41	8.034

23	5.92	12.6	15.39	5.05	16.7	13.13
26	8.52	20.2	22.15	7.03	22.5	18.28
28	10.72	25.3	21.44	8.64	26.8	22.46

Tableau.III.6.différence des débits calculées avec $k_h=2.6*10^{-6} (m^3/s)(n=2,n=1.5)$

H (cm)	n=2			n=1.5		
	Y ₀	Q _{ex} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{th} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Y ₀	Q _{ex} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{th} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)
15	1.61	7.1	4.186	1.5	9.6	3.9
19	2.78	11.3	7.228	2.53	13.4	6.578
23	4.4	17.1	11.44	3.90	19.4	10.14
26	5.97	21.4	15.522	5.17	24.1	13.442
28	7.20	25.6	18.72		28.5	16.016

Commentaire :

À partir des tableaux ci-dessus, nous sommes remarqué qu'il y a une grande différence entre le débit dans l'expérience (**bassin de perméabilité**) et le débit calculé (**méthode de kozeny**), et en conséquence nous avons décidé le changement de la perméabilité horizontale K_h , nous obtenons donc les résultats suivants résumés dans les tableaux sous :

Tableau.III.7.les débits corrigées.

H (cm)	$K_h=2*10^{-6}(m^3/s)$		$K_h=3.24*10^{-6}(m^3/s)$		$K_h=3.74*10^{-6}(m^3/s)$		$K_h=4.87*10^{-6}(m^3/s)$	
	Q _{ex} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{th} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{ex} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{th} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{ex} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{th} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{ex} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)	Q _{th} *10 ⁻⁶ (m ³ /s.ml)
15	2.3	3.78	7.53	5.63	7.1	6.02	9.6	7.31
19	5.8	6.96	11.41	10.01	11.3	10.39	13.4	12.32
23	12.6	11.84	16.7	16.36	17.1	16.45	19.4	19
26	20.2	17.04	22.5	22.77	21.4	22.32	24.1	25.18
28	25.3	21.44	26.8	27.9	25.6	26.92	28.5	29.9

Nous résumons les résultats obtenus sous forme de graphiques :

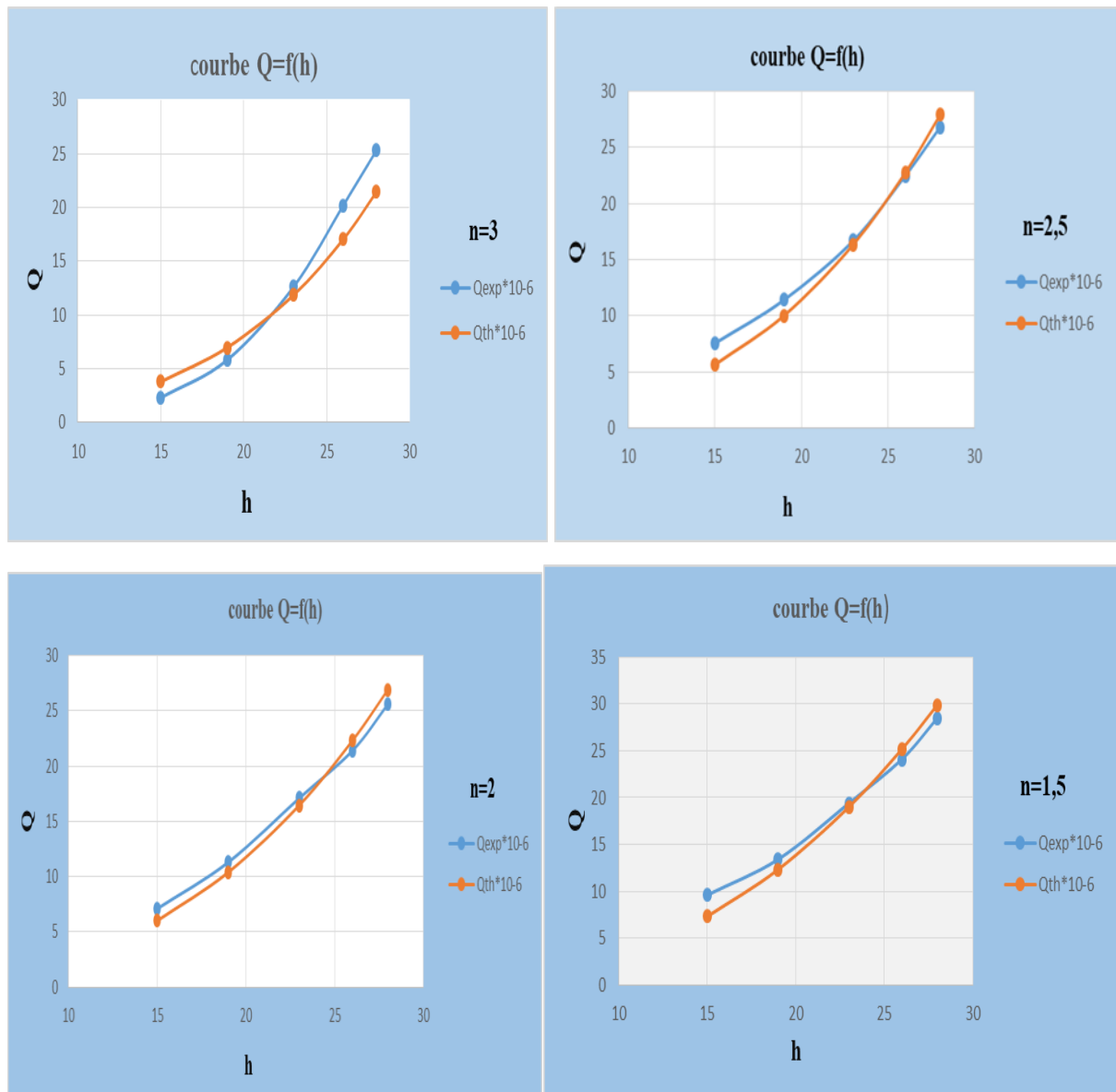


Figure.III.4. Comparaison entre les débits théoriques et expérimentaux pour différentes pentes

Commentaire :

D’après ces graphes nous sommes constatés que les perméabilités horizontales obtenues donnent des résultats acceptables

III.3.Comparaison entre drain vertical et tapis horizontal

On a fait une comparaison entre le tapis horizontal de notre travail et le travail de l’année passée de notre collège Labiadh Soumia (drain vertical), qui a été résumé dans les tableaux ci-dessous.

Tapis horizontal :**Tableau. III. 8 :** Mesure de débit collecté par le drain horizontal à différentes pentes.

H (cm)	Q ₂₀ (cm ³ /s)			
	n=3	n=2.5	n=2	n=1.5
15	0.23	0.753	0.71	0.96
19	0.58	1.141	1.13	1.34
23	1.26	1.67	1.71	1.41
26	2.02	2.25	2.14	1.94
28	2.53	2.68	2.56	2.85

Drain vertical :**Tableau. III. 9 :** Mesure de débit collecté par le drain vertical à différentes pentes.

H (cm)	Q ₂₀ (cm ³ /s)			
	n=3	n=2.5	n=2	n=1.5
38	1.746	1.833	2.440	2.355
35	1.383	1.513	1.861	1.777
32	1.075	1.103	1.370	1.395
30	0.915	0.942	1.149	1.181
25	0.580	0.584	0.721	0.796
22	0.418	0.421	0.457	0.595
20	0.346	0.347	0.371	0.480

A partir les tableaux on trace les graphes ci-dessous :

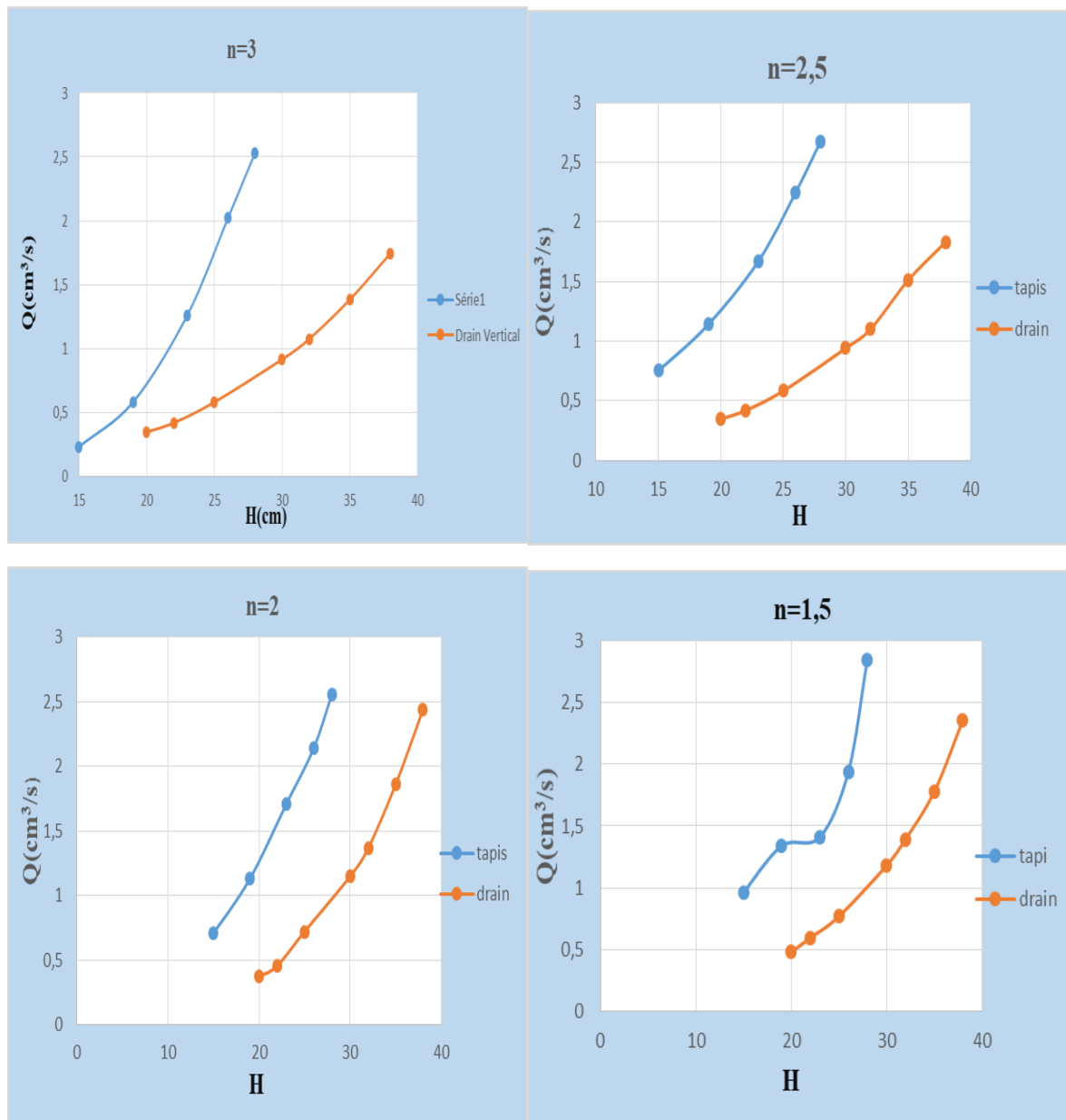


Figure.III.5.Comparaison entre tapis horizontal et drain vertical

Commentaire :

D'après ces figures ci-dessus nous sommes noté que le débit de drainage d'un tapis horizontal est supérieur au débit de drainage d'un drain vertical, et ceci due à la section d'écoulement du tapis ($L=60\text{cm}$) est plus grande que la section du drain vertical ($H_d=40\text{cm}$).

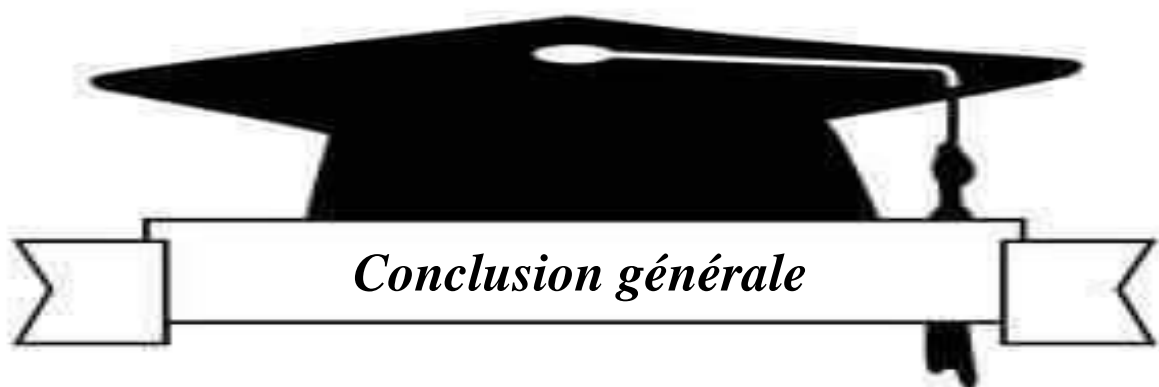
Conclusion :

Au terme de ce chapitre, nous sommes conclues que l'étude des infiltrations n'est pas une tâche facile. Quelle que soit la méthode utilisée, elle se base sur des hypothèses simplificatrices, ce qui ne conduit pas à l'étude du problème réel dans son intégralité, mais à étudier un problème bien particulier qu'on réalise seulement au laboratoire.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats des expériences réalisées et leur discussion. Nous avons présenté, des graphiques illustrant les résultats obtenus lors des essais de l'écoulement sur un modèle réduit d'un barrage en terre avec un tapis horizontal sur une assise imperméable.

Dans la première partie du chapitre, nous avons présenté les résultats des expériences pour un barrage avec une pente variable et une longueur du tapis constante ($L_t/B=0,4$). On a noté que le débit du drain diminue avec la diminution de la pente ($1/n$).

Dans la deuxième partie du chapitre, une comparaison entre les résultats des essais, expérimentales et les résultats analytiques exprimant l'écoulement à travers un barrage en terre homogène est effectuée. Nous avons constaté une bonne cohérence entre les résultats obtenus par les deux méthodes (expérimentale et analytique).



Conclusion générale

Conclusion générale

Le phénomène d'écoulement en milieux poreux, notamment à travers les digues en terre, est un problème très complexe. A travers de longues études faite dans ce domaine de recherche, plusieurs lois physiques ont été établies, telle que de KOZENY.

Il existe plusieurs méthodes de résolution des problèmes d'écoulement en milieux poreux , dans notre travail de recherche entrepris dans le cadre de cette problématique nous avons utilisé deux méthodes à savoir , une étude expérimentale en réalisant un modèle d'une digue au laboratoire, une méthode analytique en résolvant l'équation de KOZENY .

Dans un premier temps nous avons constaté que la courbe de saturation est bien rabattue à l'intérieur du barrage. Ce fait permet de postuler que nous avons bien choisies les dimensions et la position du drain,

En second lieu, à partir du changement de la pente et de la charge d'eau en amont nous avons mesuré le débit de fuite.

Les principaux résultats présentés dans ce travail peuvent se résumer de la manière suivante :

- Les résultats des expériences pour un barrage avec une pente variable et une longueur du tapis constante ($L/B=0.4$). On a noté que le débit du drain diminue avec l'augmentation de la pente ($1/n$).
- Une comparaison entre les différentes méthodes utilisée, méthodes expérimentales et analytiques. On a pu constater une bonne cohérence entre les résultats obtenus par les deux méthodes.

On conclue que l'étude des infiltrations n'est pas une tâche facile, quelle que soit la méthode utilisée, elle se base sur des hypothèses simplificatrices.

Les infiltrations à travers les barrages en terre ne sont pas bien cernées, des études supplémentaires doivent être faites pour enrichir notre connaissance dans ce domaine.

Références Bibliographiques

Ammari-Ishak, Benrebiaa-rebeh (2018). Etude de la position efficace d'un noyau argileux dans les barrages en terre.

BIGOT G. et ZERHOUNI M.I. (2000) : Retrait, gonflement et tassement des sols fins. Bull. Lab. Ponts et Chaussées, 229, p. 105-114.

Collectif (1974) - Mécanique des sols. Eyrolles, 173 p

Ghomari. F et Bendi-Ouis. A., (2008). Science des matériaux de construction Travaux pratiques.

Guesmia Samira., (2015). Analyse numérique de la Stabilité d'un barrage en terre, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master. Université Larbi Ben M'hidi - Oum El Bouaghi. 49 pages. Vol 85.

Herrouz-Safia, Mouali Lila (2015). Etude expérimentale et simulation numérique des infiltrations à travers les barrages en terre. Mémoire de Master. Université Abderrahmane MIRA de Bejaia. 69pages.

Labiadh Soumia,(2019). Effet de la dimension de la crête sur le débit d'infiltration à travers un barrage en terre.

Messaïd Belkacem., (2009). Etude de la position efficace des drains dans les barrages en terre. Thèse doctorat, université colonel hadj-Lakhdar- Batna.

Références Bibliographiques

Web références :

Source d'internet n°1 :

B6 Chapitre2(version 25.07.02) CNAM-GEOTECHIQUE.C-PLUMELLE.

Source d'internet n°2 :
www.grr.ulaval.ca/gae_3001/Documents/Notes_2011/CH_01_Lois.pdf.

Source d'internet n°3 :

www.grr.ulaval.ca/gae_3001/Documents/Notes_2011/CH_05_Lois.pdf.

Source d'internet n°4 :
www.idroprojet.com/uploads/1/5/0/9/15095244/analyse_granulometrie.pdf.

Source d'internet n°5 :

www.prodidace.fr/Bassin de permeabilité.